



## Nardın Mağarası (Bilecik) dolgusunun paleoortamsal koşullar açısından değerlendirilmesi

### *Evaluation of Nardın cave (Bilecik) deposits in relation to paleoenvironmental conditions*

**M. Evren SOYLU<sup>1</sup>, Mehmet EKMEKÇİ<sup>1</sup>, Harun AYDIN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), 06800 Beytepe, ANKARA

<sup>2</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Zeve Kampüsü, 65080, VAN

Geliş (received) : 31 Ekim (October) 2006  
Kabul (accepted) : 21 Şubat (February) 2007

### ÖZ

Orta Batı Anadolu Bölgesi'nde yayılım gösteren kireçtaşları parçalanmış, kalıntı karst türüne özgü tipik örnekler sunmaktadır. Türkiye'nin diğer bölgelerinde gözlenen karst tiplerinden farklı gelişim gösteren bu bölgede, karst evriminde etkili süreçlerin anlaşılması büyük önem taşımaktadır. Söz konusu farklılıkların, karstlaşmaya etki eden süreçlerin en önemlilerinden olan iklim ve hidroloji açısından irdelenmesine yönelik olarak Nardın Mağarası çökelleri incelenmiştir. Bu kapsamda, Üst Kretase'ye ait Vezirhan formasyonu içinde gelişmiş olan Nardın Mağarası çökellerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, bölgenin geçirdiği iklimsel ve hidrolojik süreçlerin belirlenmesine ilişkin olarak değerlendirilmiştir. İncelenen mağaranın duvarlarında korunmuş mağara çökellerinin tanımlanabilir olduğu kesimlerin kesitleri çizilerek renk, doku, kalınlık, yaş ve demir içerikleri belirlenmiştir. Yapılan kimyasal analizler sonunda, kahverenkli seviyelerde demir, sarımsı renklere sahip düzeylerde ise organik madde içeriğinin yüksek olduğu anlaşılmıştır. Yapılan U/Th yaş belirlemelerinden mağaranın yaklaşık 150 bin yıl önce çökellerle tamamen dolarak kapandığı anlaşılmıştır. Nardın Mağarası'nda bulunan, tektonik hareketlerin etkili olduğu ve oldukça yağışlı bir dönemin izlerini taşıyan yığılı malzemesiyle başlayan ve günümüzden 150 bin yıl öncesine kadar süren çökel birikmesinde stratigrafik, morfolojik ve kimyasal analizler, paleohidrolojik ve paleoiklimsel açıdan incelenmiş ve birbirini izleyen iki kez soğuk ve bir kez ılıman iklimin hüküm sürdüğü dönemin yaşandığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilecik, DİD – 6, karst, mağara çökelleri, Nardın, paleoortam.

### ABSTRACT

*The limestone, cropping out in the Western-Central Anatolian Region represents a unique example of dissected and relict karst types. It is important evidence the processes that affected the evolution of karstic rocks in this region which has distinctive characteristics compared with the other karst regions of Turkey. The Nardın cave deposits were examined in relation to processes which control karstification of the region. In this*

*framework, chemical and physical properties of the deposits in Nardın cave, which formed in Bilecik limestone of Jurassic age, were evaluated in relation to determination of climatic and hydrologic processes of the region. Identifiable columnar sections of cave deposits preserved on the cave walls were drawn. Color, texture, age of the formation and iron contents of the deposits were investigated. According to chemical analyses performed, brown colored deposits have high iron content and yellowish colored deposits have high organic matter content. U/Th dating analyses indicate that the cave was completely closed by interior deposits about 150 ky before present. Cave morphology, stratigraphy of the cave interior deposits and chemical analyses suggest that after catastrophic rainy period, two cold climatic spells and one mild climatic spell prevailed successively in the region.*

**Keywords:** Bilecik, MIS – 6, karst, cave deposits, Nardın, paleoenvironment.

## GİRİŞ

Parçalanmış–kalıntı karst türünün en iyi örneklerinin gözlemlendiği Eskişehir–Bilecik bölgesinde yazarlar tarafından gerçekleştirilen hidrojeoloji amaçlı arazi çalışmaları sırasında, haritalanan Nardın Mağarası'nın bölgesel paleohidrolojik ve paleoortamsal koşullar açısından değerlendirilebilecek niteliklere sahip bir “doğal arşiv” olduğu belirlenmiştir. Bilecik iline bağlı Yenipazar ilçesinin, Yukarı Nardın Köyü sınırları içinde yer alan söz konusu arşiv, Vezirhan formasyonunda (Saner, 1977) gelişmiş Nardın Mağarasının işlevini tamamlamış/açılmış bir bölümünden oluşmaktadır.

Mağara çökellerinden oluşan doğal arşivin bulunduğu Nardın Mağarası, Ekmekçi vd. (2006) tarafından Harmanköy – Beyayla Karst Sistemi (HBKS) olarak tanımlanan kütlenin kuzey kesiminde yer almaktadır. HBKS, Batı Karadeniz Bölgesi'nin yaklaşık olarak güneybatı kesiminde Marmara, İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinin geçiş alanı içinde bulunmaktadır. Orta Sakarya Vadisi'nin Harmanköy – Beyayla köyleri arasındaki kesimini oluşturan bölge, Bilecik il merkezinin 40 km doğusunda ve Eskişehir il merkezinin 50 km kuzeyinde yer alır (Şekil 1). Doğu – batı yönünde yaklaşık 30 km uzanım ve kuzey – güney yönünde 2 – 3 km yayılımla yüzeylenmiş olan kütle yaklaşık 50 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir.

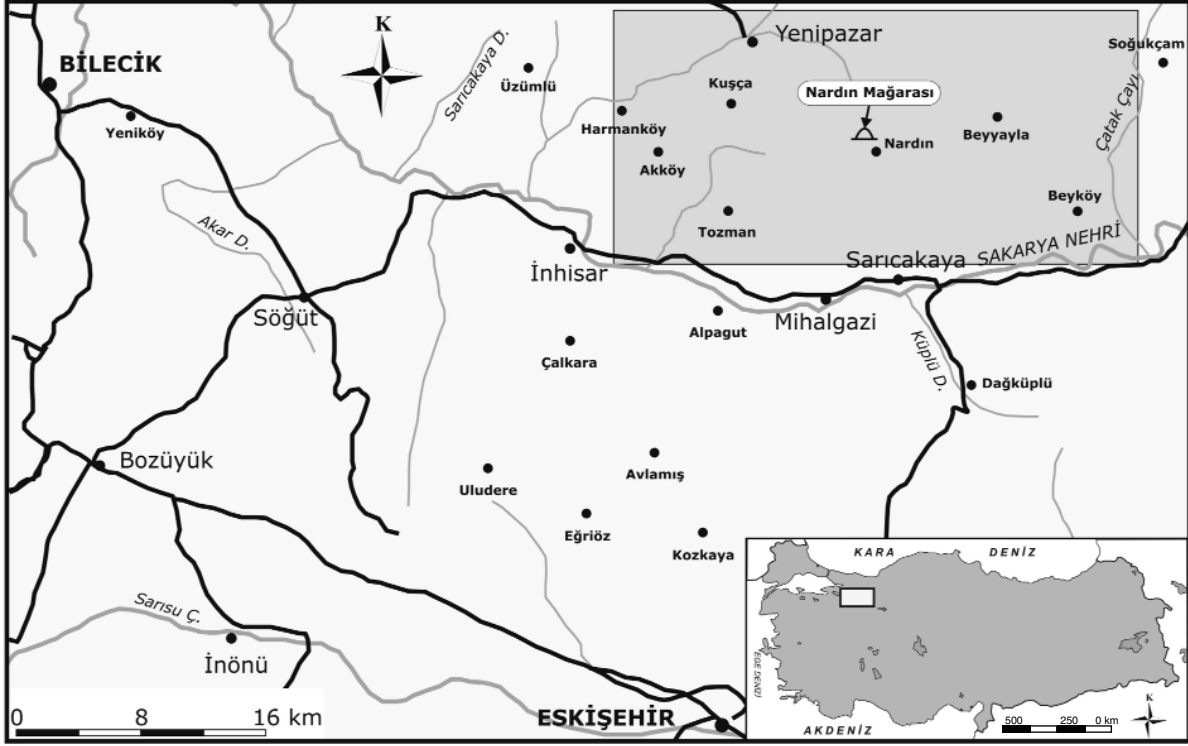
Türkiye'nin karst gelişiminin anlaşılmasının yanı sıra, jeolojik yakın geçmişte egemen olan hidrolojik rejim ile ortamsal koşulların aydınlatılmasına yönelik önemli bilgiler sağlayan doğal kayıtlar, özellikle mağara çökellerinde korunarak saklanabilmektedir. Mağara çökellerinden yararlanılarak geçmiş dönemlere ilişkin bilgilerin elde edildiği Roberts vd. (1998), Hellstorm ve McCul-

loch (2000), Verheyden vd. (2000), Fairchild vd. (2001), Musgrove vd. (2001), Baldini vd. (2002), Ekmekçi ve Coşkuner (2005) ve Bayarı vd. (2005) gibi araştırmacıların çalışmaları, bu tip araştırmalara örnek olarak verilebilir. Kimyasal, mineralojik, izotopik vb. aletsel tekniklere dayalı sayısal yöntemler, söz konusu kayıtların değerlendirilmesinde güvenli sonuçlar vermektedir. Buna karşın, özel laboratuvar olanakları gerektiren bu tür teknikler yüksek maliyetlidir. Bu nedenle genellikle sayısal yöntemlerle desteklenmiş tanımsal / betimsel yöntemler uygulamada tercih edilmektedir.

Nardın Mağarası'nda tanımlanan doğal kayıtların değerlendirilmesinde de tanımsal/sayısal değerlendirme yaklaşımı izlenmiştir. Bu kapsamda mağara haritalanmış, mağara içerisinde düzgün olarak izlenebilen akmataşı katmanları litolojik ve stratigrafik olarak sınıflandırılmış, ayrıca belirli katmanlardan alınan örneklerde yaşlar saptanmış, özgül ağırlıklar ve demir içerikleri belirlenmiştir.

## BÖLGESEL JEOLJİK YAPI

Nardın Mağarası'nın yer aldığı bölge, görece yalın bir jeolojiye sahiptir (Şekil 2). Bölgenin jeolojisi; Saner (1980), Altınar vd. (1991) ve Gönçüoğlu vd. (1996) tarafından ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Bu çalışmada bölgesel jeoloji, yukarıda anılan çalışmalar temel alınarak, çalışmanın amaç ve kapsamına uygun biçimde yalınlaştırılarak incelenmiştir. Temelde Paleozoyik'e ait granit ve metamorfiklerden oluşan geçirimsiz birimler yer almaktadır. Bu temelin üzerine uyumsuz olarak Mesozoyik'i temsil eden örtü birimleri gelmektedir. Mesozoyik örtü birimleri; Jura'ya ait sığ denizel kireçtaşları, Kretase'de bunu izleyen daha derin denizel kireçtaşları ve filişlerinden oluşur. Temelin üzerindeki birimler ku-



Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru haritası.  
Figure 1. Location map of the study area.

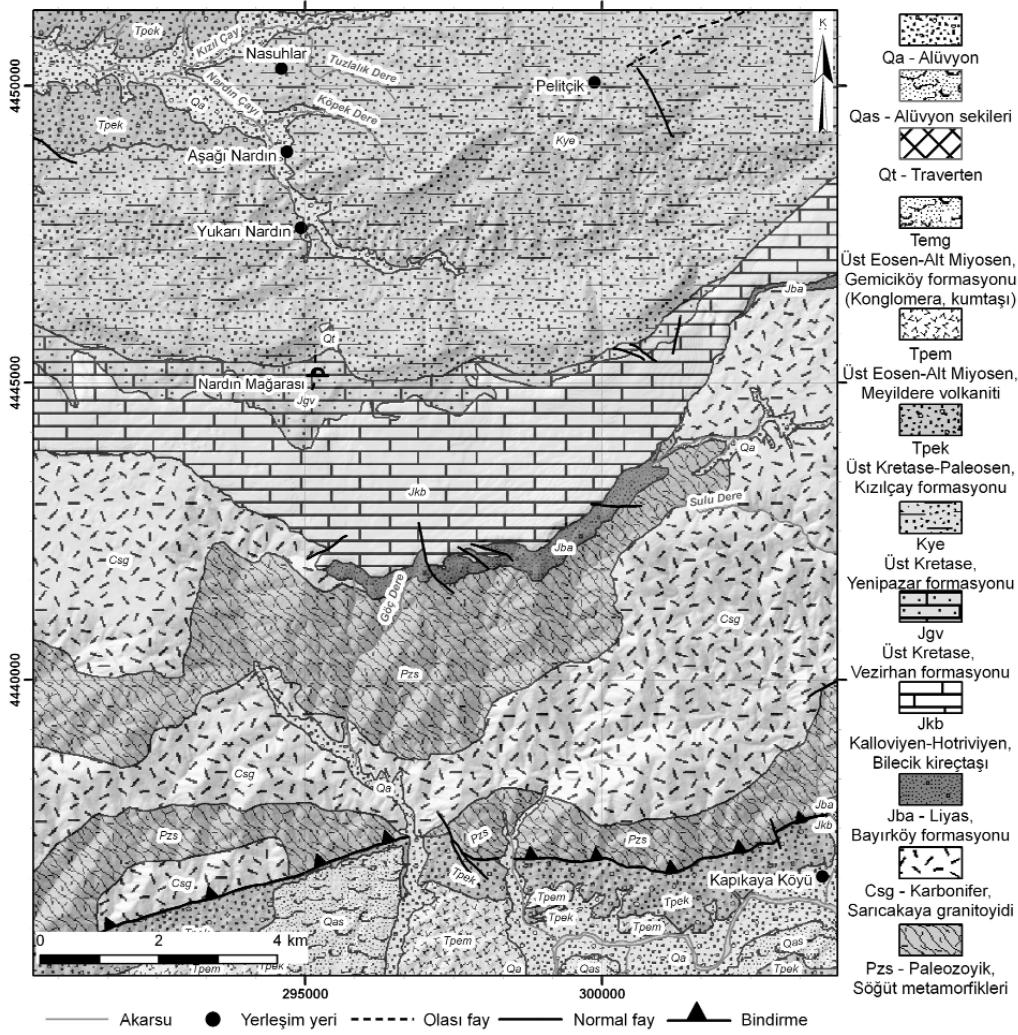
zey–kuzeydoğuya doğru derinleşen Orta Sakarya Mikrokıtası'nın kuzeyindeki pasif kıta kenarını temsil eder (Göncüoğlu vd., 1996). Daha üstte bulunan Oligosen sonrasına ait birimler karasal karakterli ve genellikle kırıntılı çökellerden oluşmaktadır.

Sarıcakaya granitoyitleri ve Söğüt metamorfiklerden oluşan temel birim üzerine Alt Jura'ya ait kırıntılılardan oluşan Bayırköy formasyonu gelmektedir. Granitik temelden türemiş Bayırköy formasyonu, geçirimsiz temel birimin topoğrafik çukurluklarını kaplayan sığ denizel bir ortamda, Jura'da ise sığ resif, resif gerisi ve sığ lagün ortamını temsil eden Bilecik kireçtaşları çökelmiştir. İleri derecede karstlaşmış olan Bilecik kireçtaşlarının üzerinde pelajik fosilli, ince – orta tabakalı, killi kireçtaşlarından oluşan Vezirhan formasyonu bulunmaktadır. İçerisinde Nardın Mağarası'nın geliştiği ve Üst Kretase başında çökelmiş olan Vezirhan formasyonu, çalışma alanında Bilecik kireçtaşları ile dereceli geçişlidir. Üst Kretase ortasında çökelen ve derin denizel ortamı temsil eden Yenipazar formasyonunun çökelişinin ardından Üst Kretase sonlarında bölgede denizel ortamın yerini, Kızılçay formas-

yonu gibi karasal birimler almaya başlamıştır (Yılmaz vd., 1981). Üst Kretase sonlarında çalışma alanının güney kesimi karasal hale gelmiştir. Paleosen'de regresyonun devam etmesine karşın, Alt Eosen'de yeni bir transgresyon olmuşsa da, deniz fazla ilerleyip derinleşmeksizin olasılıkla Üst Eosen veya Oligosen'de yeniden çekilmiş ve bölge kara haline gelmiştir (Saner, 1980). Neojen'de yer yer yerel ölçekte gösel ortamların oluşmasına karşın, bölge genel olarak Oligosen'den bu yana aşınım sürecinin etkisi altındadır.

### KARST TÜRÜ VE GELİŞİMİ

İleri derecede gelişmiş karstik yapıları bünyesinde bulunduran Orta Batı Anadolu bölgesindeki kireçtaşları; tektonizmanın, deniz seviyesi değişiminin ve bunlara bağlı gelişen yüksek enerji gradyanının etkisiyle günümüzde daha küçük parçalara bölünmüştür. Evrimini sürdüren aktif Toros karstından farklı olarak, karst gelişim süreçlerinde son dönemlerini yaşayan çalışma alanındaki karstlaşma, hidrolik açıdan etkinliğini yitirmiş ve parçalanmış bir kalıntı karst tipi sergilemektedir (Ekmekçi, 2003).

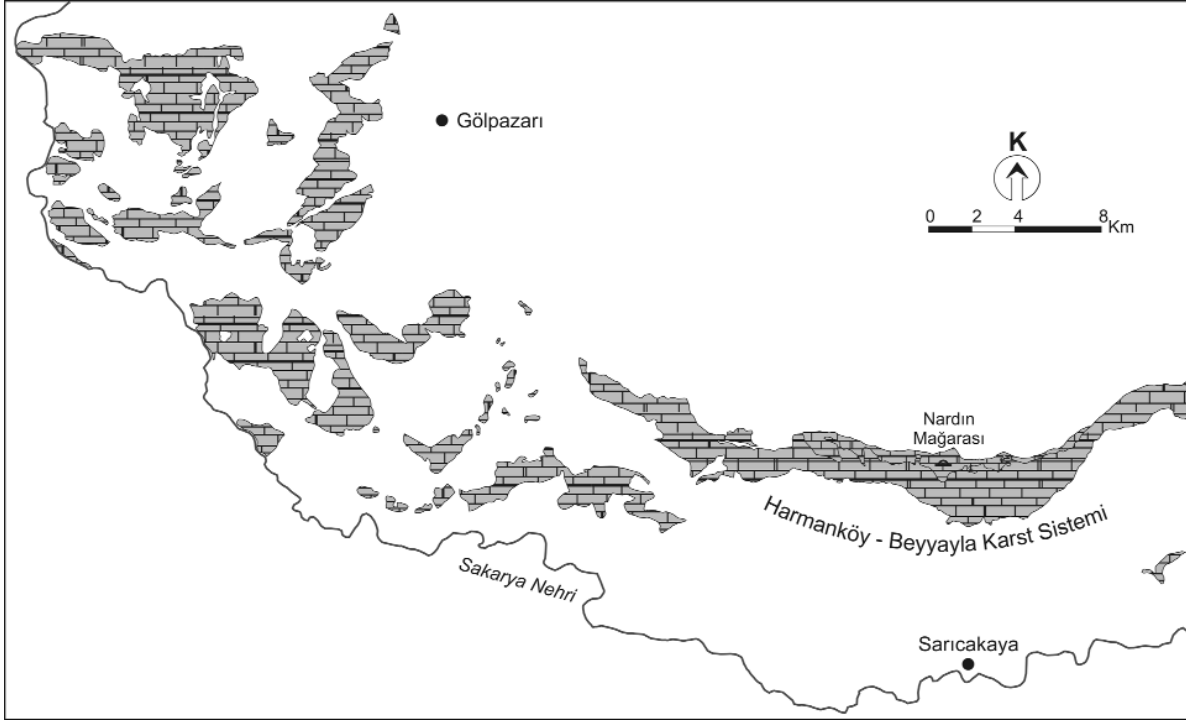


Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Aksay ve Duru, 2002; Gedik ve Aksay, 2002; Soylu 2004'den değiştirilmiştir).

Figure 2. Geological map of the study area (modified from Aksay and Duru, 2002; Gedik and Aksay, 2002; Soylu, 2004).

Çalışma alanındaki karstik yapıların güncel durumları bölgedeki karstlaşma süreçleri ve bu süreçleri denetleyen etmenlerin ortaya konması açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Bölgede, Harmanköy – Beyayla Karst Sistemi (HBKS) benzeri birbiri ile bağlantısı olmayan değişik boyutlara sahip çok sayıda kireçtaşı kütlesi bulunmaktadır (Şekil 3). Bugünkü görüntüsü ile etkinliğini tamamlamış karst türünü temsil etmesine karşın, blok şeklindeki bu kütleler, boyutlarına oranla çok büyük hacimli karstik boşluklar içermektedirler. Bu durum, bölgede geçmişteki jeolojik, hidrolojik ve iklimsel koşulların ileri düzeyde karstlaşmaya olanak sağlayacak şekilde geliştiğinin göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Oligosen'de karasal duruma geçerek aşınma süreçleri başlamış, karstlaşma tabanının alçalması ve tektonizma etkileri ile özellikle Pliyosen ve Kuvaterner dönemlerinde bölgedeki Jura ve Kretase kireçtaşları ileri düzeyde karstlaşmıştır. Bu dönemde özellikle Sakarya Nehri'nin, bölge akaçlamasını tamamen değiştirerek bugünkü yatağına gömülmesiyle geniş alanlar kaplayan kireçtaşı kütlesi akarsu yatakları ve faylarla kesilerek birbirinden kopuk bloklar parçalanmış karstı meydana getirmişlerdir. İncelenen kireçtaşları önceleri bir bütün halinde bulunan bölge kireçtaşlarının tektonizma ve karstlaşma sonucu bölümlenmiş parçalarından biri konumunda olduğu anlaşılmaktadır (Ekmekçi vd., 2006).



Şekil 3. Sakarya Nehri kuzeyinde birbirinden ayrı bloklar şeklinde bulunan karbonatlı kayaçların yayılımı (Aksay ve Duru, 2002; Gedik ve Aksay, 2002'den değiştirilmiştir).

Figure 3. Extend of the dissected carbonate rocks at the north of Sakarya River (modified from Aksay and Duru, 2002; Gedik and Aksay, 2002).

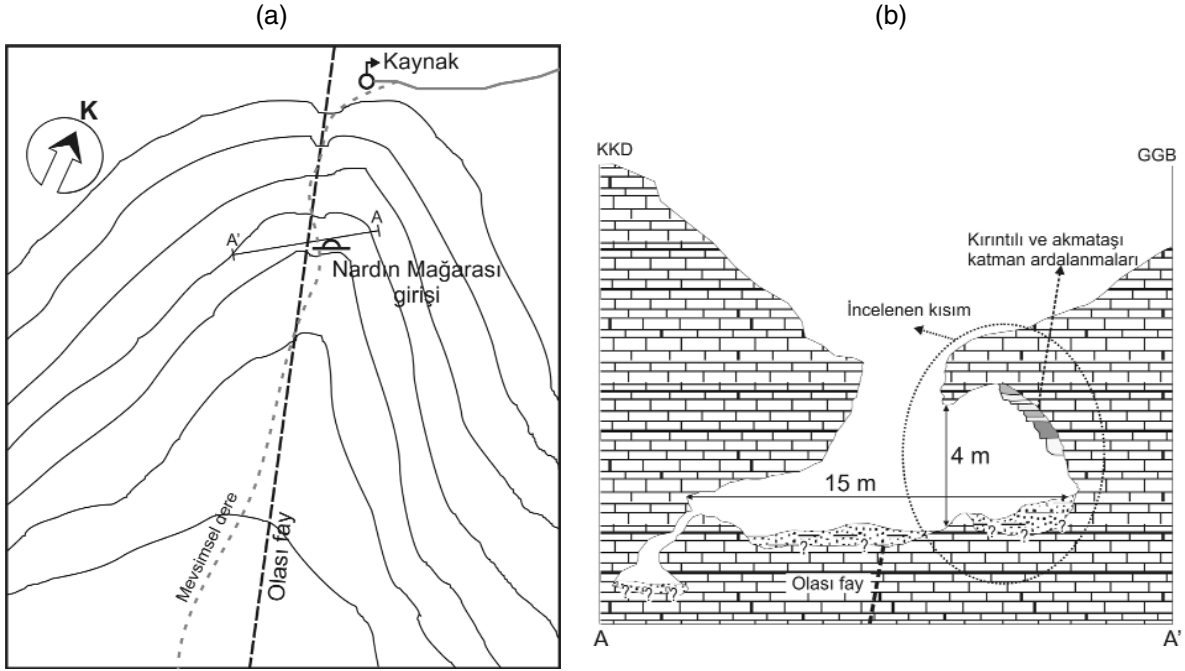
Kuvaterner boyunca Sakarya Nehri'nin yatağına gömülmesi, bölgenin güncel görünümüne neden olan jeomorfolojik gelişiminde ana etken olmuştur. Gömülme, bölgedeki birçok eski havzanın parçalanmasını sağlamıştır. Gömülme ile beraber artan enerji gradyanı; bölgede karstlaşma süreçlerini hızlandırmış, karbonat platformunun, özellikle akarsu yataklarının derinleşmesine ve fayların neden olduğu zayıf zonlara bağlı olarak parçalanmasına neden olmuştur (Ekmekçi ve Nazik, 2004).

### NARDIN MAĞARASI'NIN MORFOLOJİSİ

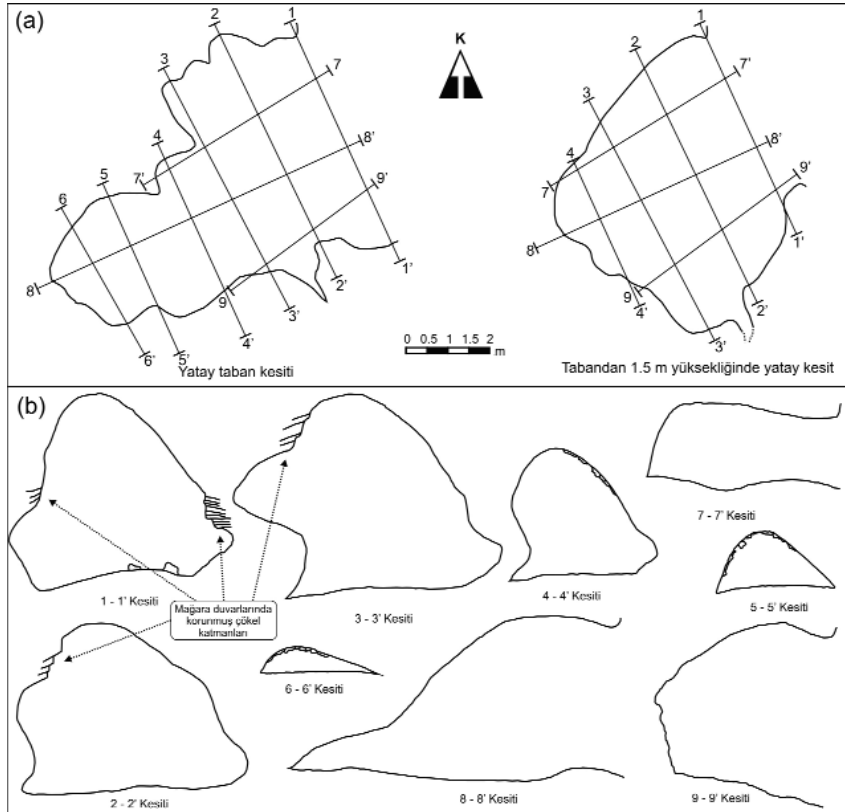
Bilecik iline bağlı Yenipazar ilçesinin Yukarı Nardin Köyü'nün yaklaşık 3 km güneyinde bulunan Nardin Mağarası, yaklaşık olarak 920 m kotunda gelişmiştir. Mağaranın incelenen kesiminin boyu yaklaşık 7 m, eni 4 m ve yüksekliği 3.5 – 4 m olarak ölçülmüştür (Şekil 4). Yaklaşık doğrultusu KKD – GGB olan bir fay, mağaranın açıl-

mış olan bölümünün üzerinden geçmektedir. Fay boyunca aşınma nedeniyle oluşan dar vadi de mevsimsel bir su akışı olmaktadır. Bu nedenle, mağaranın açılan kısmının tabanı güncel çökeltilerle örtülü durumdadır. Duvarlarında asılı halde bulunan kırıntılı ve kristal çökeltilerin incelendiği bu çalışmada, öncelikle mağaranın ayrıntılı bir haritası hazırlanmıştır (Şekil 5).

Taban kesiti ve tabandan 1.5 m yükseklikteki kesiti yatay düzlemde, mağara tabanında seçilen bir noktadan ışınal olarak mağara duvarlarına uzaklıklar ölçülerek çizilen harita Şekil 5a'da verilmiştir. Benzer şekilde, mağaranın düşey yöndeki morfolojisinin görülebilmesi amacıyla, mağara duvarlarını temsil edecek şekilde düşey yönde 9 adet kesit alınmıştır (Şekil 5b). Ana mağara bloğunun bir odacığı olarak tanımlanabilecek olan bu kesim, yatayda yaklaşık GB-KD uzanımlı olup, tavan yüksekliği GB'ya doğru azalmaktadır (Şekil 5b, kesit 8–8').



Şekil 4. Nardin Mağarası'nın (a) ölçeksiz haritası ve (b) kesit görünümü.  
Figure 4. (a) Map (not-to-scale) and (b) cross-section of the Nardin Cave.



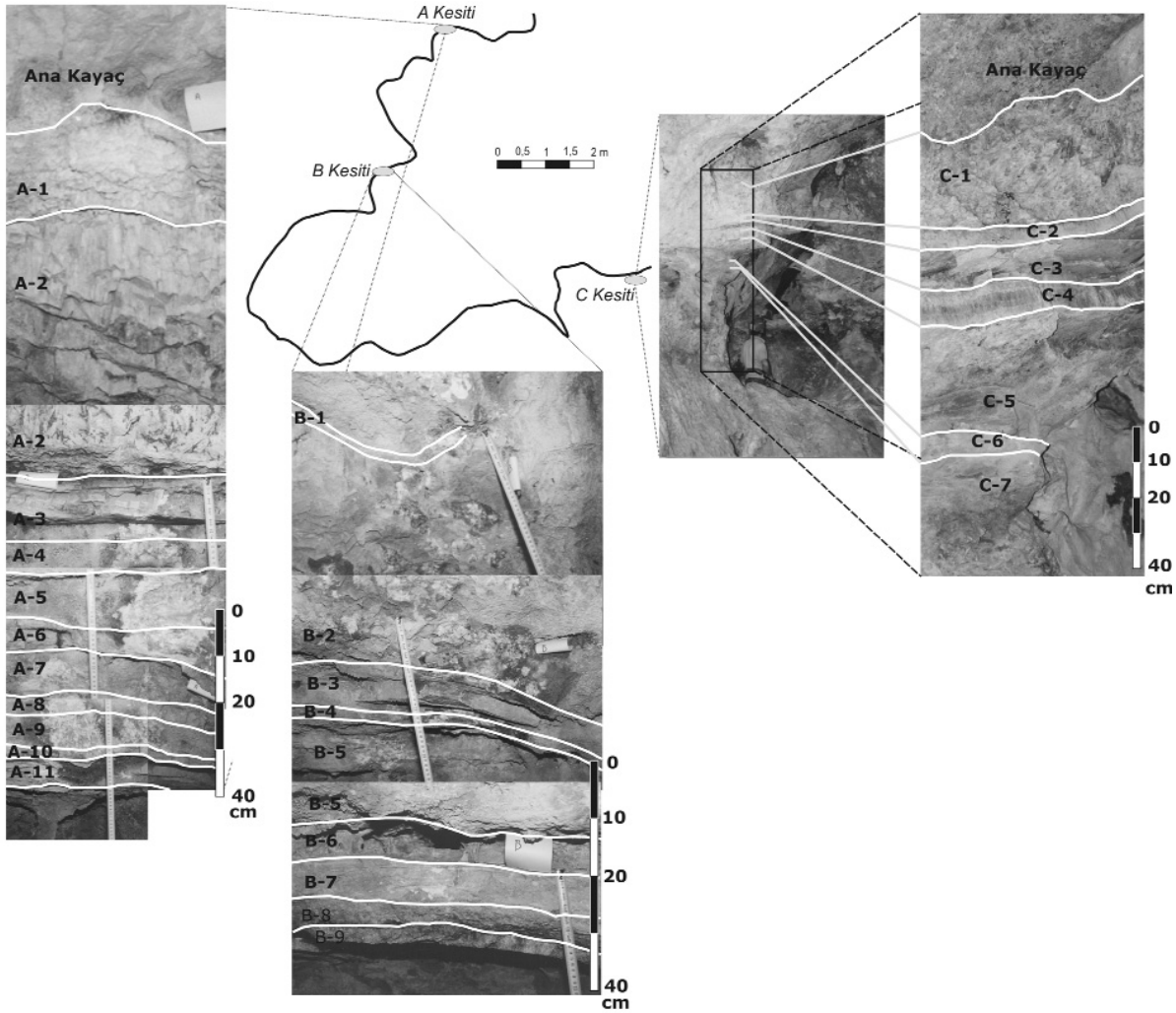
Şekil 5. (a) Nardin Mağarası'nın enine ve (b) boyuna kesit görünümleri (Soylu, 2004).  
Figure 5. (a) Horizontal and (b) vertical cross-sections of the Nardin Cave (Soylu, 2004).

## MAĞARA İÇİ ÇÖKELLERİN İSTİF ÖZELLİKLERİ

Paleohidroloji ve paleoortamın belirlenmesine ilişkin kayıtlar, mağara içinde çökel/dolgu malzemesi incelenerek elde edilmeye çalışılmıştır. Vadinin gelişmesi sonucunda açılan mağara dolgusunun önemli bir kısmı kaybolmuş ve mağara bozulmuştur. Bununla birlikte, mağara duvarlarında korunmuş düzenli akmataşı ve kırıntılı katman ardalanmaları gözlenmektedir. Bu ardalanmaların belirgin olarak izlenebildiği üç kesit üzerinde ayrıntılı tanımlama, örnekleme ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla seçilen üç kesitin konumları ve fotoğrafları Şekil 6'da, kesitlerin ölçekli tanımları ise Şekil 7'de verilmiştir.

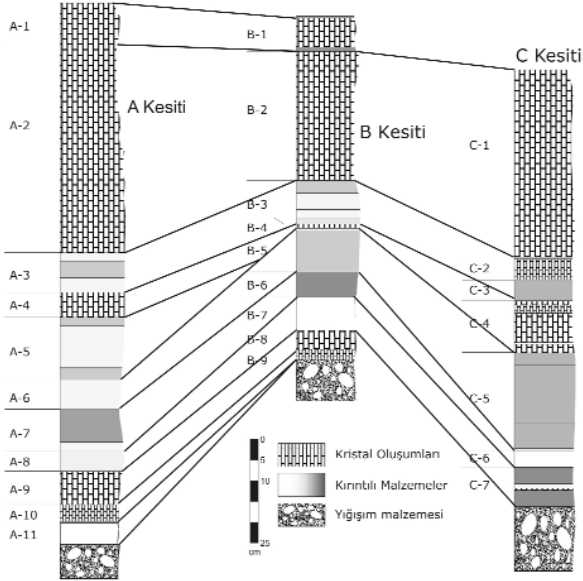
Ardalanmada, kristal yapı ve kırıntılı malzeme-ler ayırtlanmıştır. Katmanlar, beyazdan kahverengiye kadar değişen renk tonlarına sahiptir. Güncel ince taneli malzeme dışında, mağaranın incelenen kesiminin tabanı kil – silt boyundan iri çakıl – blok boyuna kadar farklı tane boyutundaki malzemenin düzensiz bir yığılması ile kaplıdır. Yaklaşık olarak 1 – 1.5 m kalınlığa sahip olan bu yığılma, mağara çökelinin incelendiği her üç kesitte de gözlenmektedir. Mağaranın güneybatı kesiminde ise, bu yığılma malzemesi belirgin biçimde izlenmektedir.

Mağara içi çökellerin belirgin olduğu A, B ve C kesitlerinde gözlenen istiflenme (bkz. Şekil 7 ve 11); öncelikle yapı, doku ve renk tanımlamalarına göre ayırtlanmıştır (Çizelge 1, 2 ve 3). Her üç



Şekil 6. Mağara taban kesiti, örnekleme yerleri ve tabaka görüntüleri.

Figure 6. A section from the floor of the cave, sampling locations and views of bedding.



Şekil 7. Nardın Mağarası'ndan alınmış kesitlerin şematik gösterimi.

Figure 7. Schematic columnar reconstruction of three sections from the Nardın Cave.

kesitte de gözlenen ortak özelliklere göre; en alta silt ve blok arasında değişen çeşitli tane boylarına sahip, boylanma veya derecelenme göstermeyen düzensiz bir yığılım bulunmaktadır. Bu yığılım malzemeleri, özellikle mağaranın GB duvarında belirgin bir şekilde izlenebilmektedir.

Çizelge 1. A kesiti tabakalarının özellikleri.

Table 1. Detailed description of the layers drawn from A-cross-section.

Kesit No.	Kalınlık (cm)	Yapı ve doku	Renk
A-1	10	2 cm uzunluğunda, 1 cm eninde kalsit kristalleri	Beyaz
A-2	50	İri kalsit kristalleri, 10 cm uzunluğunda ve 6-7 cm eninde, kristaller tabaka düzlemine dik	Açık sarı
A-3	10	Kırıntılı, kalsit arakatlı ince taneli malzemeden oluşan katmanlar	Açık sarıdan kırmızıya
A-4	6	Birkaç milimetre uzunluğunda kalsit kristalleri	Beyaz
A-5	13	Çok ince taneli ve oldukça pekişmiş kalsitik çamur	Sarı ve açık sarı
A-6	7	Kırıntılı malzeme, tabakanın alt kısmında birkaç milimetre kalınlığında beyaz kristallerden oluşan bir tabaka bulunur.	Sarı
A-7	10	Kırıntılı malzeme	Beyaz ve sarı
A-8	5	İnce taneli ve oldukça pekişmiş tıksız kalsit	Açık sarı
A-9	8	2-3 mm uzunluğunda, şeker dokulu kalsit kristalleri	Beyaz ve sarı
A-10	4	İğnemsiz kristaller	Beyaz ve sarı
A-11	7	Pekişmiş akmatası	Beyaz

Daha üstte ince taneli çeşitli renklere sahip kırıntılı çökeller ile değişik boyutlarda gelişmiş kalsit - aragonit kristalleri ardalanmaları bulunmaktadır. Bu ardalanmaların toplam kesit kalınlığının ortalama olarak % 30'unu kalsit kristallerinden oluşan katmanlar meydana getirmektedir. En üst kısımda boyları 10 – 15 cm'ye kadar ulaşan iri kalsit kristallerinden oluşan bir katman yer almaktadır. İri kristallerden oluşan üst katmanlarla birlikte kristal katmanlar toplam kesit kalınlıklarının ortalama % 61'ini oluşturmaktadır.

### ÇÖKEL İSTİFİNİN YAPI, DOKU VE MİNERAL ÖZELLİKLERİ

Mağara içerisinden alınan kesitlerin her birinin alt kısmında gözlenen ve kil boyutundan blok boyutuna kadar değişen malzemelerin boylanma veya derecelenme göstermeden yığılım halinde bulunmaları, sellenmeye bağlı ani bir malzeme getirimine işaret etmektedir. Yığılım malzemesinin üzerinde yer alan katmanların renkleri beyazdan koyu kahverengiye kadar değişmektedir. Önceleri kalsit çökelleri için tipik olan sarı ile kahverengi arasında değişen renklemenin nedeni demir oksit pigmentlerinin varlığına dayandırılıyordu. Gascoyne (1977; Hill ve Forti, 1997'den) damlataşlar üzerinde yaptığı çalışmada demir içeriği ile renklenme arasında bir ilişki saptayamamıştır. Birçok damlataşta izle-



Çizelge 2. B kesiti tabakalarının özellikleri.

Table 2. Detailed description of the layers drawn from B-cross-section.

Kesit No.	Kalınlık (cm)	Yapı ve doku	Renk
B-1	2	Uzunluğu 1 cm'den daha küçük kalsit kristalleri	Sarı
B-2	30	Yaklaşık 3 cm uzunluğunda kalsit kristalleri	Sarı
B-3	10	Kırıntılı, ince taneli malzeme üzerinde beyaz ile kırmızı arası değişen renklerde çok ince katmanlar bulunur	Açık sarıdan koyu sarıya
B-4	4	Birkaç milimetre uzunluğunda kalsit kristalleri	Beyaz
B-5	10	İnce taneli, pekişmiş malzeme, kalsit baskın	Sarı ve kahverengi
B-6	6	Düşük dayanımlı, oldukça aşınmış kırıntılı malzeme	Sarı ve kahverengi
B-7	8	Pekişmiş tıkrız akmataşı	Beyaz
B-8	4	Şeker dokulu kalsit	Beyaz ve açık sarı
B-9	3	İgnemsi kristaller	Sarı

Çizelge 3. C kesiti tabakalarının özellikleri.

Table 3. Detailed description of the layers drawn from C-cross-section.

Kesit No.	Kalınlık (cm)	Yapı ve doku	Renk
C-1	45	Yaklaşık 5 cm uzunluğunda, ışınal büyüme eksenine sahip iri kalsit kristalleri	Açık sarı
C-2	5	İgnemsi kristaller	Beyaz ve sarı
C-3	5	Kırıntılı malzeme	Koyu sarı
C-4	12	İgnemsi kristaller	Sarı
C-5	23	Çok ince taneli, katmanın alt kısmında 6 cm'lik bir kısım oldukça aşınmış	Kahverengi
C-6	5	İnce taneli, kırıntılı malzeme	Beyaz ve sarı
C-7	10	İnce taneli, kırıntılı malzeme, alt kısmında birkaç milimetre kalınlığında ince bir kristal tabakası bulunuyor	Koyu Kahverengi

nen renklenmenin nedeninin organik madde içeriği olmasına karşın, demir pigmentlerinden kaynaklanan renklenme de olası bir durumdur (Hill ve Forti, 1997).

Nardın Mağarası'ndaki katmanların renklerinin genelde sarı ve tonları olmasına karşın, bazı katmanlar koyu kahverenkli. Organik madde içeriği ile demir içeriğinin bu renklenmeye katkı oranlarının belirlenmesi amacıyla farklı tonlarda renklenmiş olan katmanları temsil edecek şekilde örnekler alınarak toplam demir içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Açık sarı renkli C-1 katmanındaki demir miktarı koyu sarı renkli C-4 katmanındaki demir miktarının yaklaşık dört katı fazla çıkması; tabakalar arasındaki renk fark-

Çizelge 4. Seçilen örneklerin demir içerikleri.

Table 4. Iron content of selected samples.

Örnek No.	Fe içeriği (%)
C-1	0.159
C-4	0.0397
C-7	4.80

lılaşmasında demir elementinin katkısının ikincil olduğunu göstermekte olup, renk farkının birincil olarak organik madde içeriklerine bağlı olduğu ortaya konmuştur. Renk koyulaştıkça malzemenin içerdiği organik malzeme (hümik, fülvik asit) miktarı artmakta, bu farklılaşma ise bölge

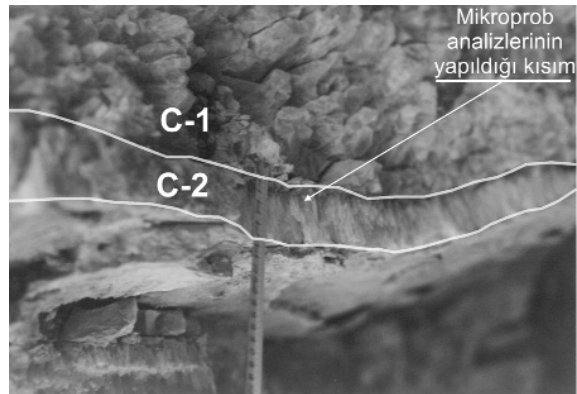
iklimine bağlı olarak değişmektedir (Hill ve Forti, 1997). Buna karşın, kahverenkli C-7 katmanındaki demir içeriği, C-1 katmanındaki demir içeriğinin yaklaşık 30 katı fazla çıkmıştır.

Örneklenen katmanlarda karşılaşılan kristallerin çoğu tipik kalsit kristali şekli olan rombohedral yapıya sahiptir. Ancak bazı kristaller (A-10, B-8, C-2 ve C-4) ise, tipik aragonit yapısını temsil eden iğnemi yapıdadırlar. Morfolojik özelliklerinin belirgin olmasına karşın, kristallerin tanımlanmaları amacıyla örneklerin laboratuvarında özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Kalsitin bir polimorfu olan aragonitin kalsitten ayırt edilmesinde, yöntem olarak, kristallerin özgül ağırlıkları ve sertlikleri dikkate alınmıştır. Aragonitin özgül ağırlığının (2.95) kalsitin özgül ağırlığından (2.71) fazla olması belirleyici bir özelliktir (University of Kentucky, 2006). C-1 ve C-2 katmanlarının özgül ağırlıkları sırasıyla 2.64 ve 2.74 olarak belirlenmiştir. Her iki örnek için belirlenen özgül ağırlık değerlerinin kalsite yakın olması, C-2 örneğinin aragonitik bir biçime sahip olmasına karşın kalsit olduğunu göstermektedir.

Normal mağara sıcaklık ve basınç koşulları altında, kalsit – aragonit – su sisteminde kalsit, aragonite göre daha duraylı bir durumdadır. Karbonatlı çökelimlerin kalsit yerine aragonit olarak çökelmelerine neden olan süreçler halen araştırma konusu olsa da, bu süreçlerde magnezyum iyonunun kalsit çökelişi sırasında ortamda bulunmasının etkin bir faktör olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Hill ve Forti, 1997). Diğer bir faktör ise, aragonitin kalsite göre daha yüksek doygunluğa sahip çözeltilerden itibaren çökebilmesi nedeniyle çözeltinin doygunluk durumuna bağlı olarak değişen çökelim hızıdır. Çökelim hızı aynı zamanda kristal büyüklüğünü de denetlemektedir. Yüksek  $PCO_2$  'e sahip suların süzülerek, düşük  $PCO_2$  'e sahip mağara boşluğu ile karşılaşmasıyla sızan suların hızlı  $CO_2$  kaçıışı olacağından, yüksek doygunluk koşullarına ulaşarak aragonit çökelişi gerçekleşmektedir. Bu etkilerin dışında buharlaşma, düşük pH ve stronsiyum iyonu bulunmasının da aragonit oluşumuna neden olabildikleri belirtilmektedir (Hill ve Forti, 1997). Görece duraysız olan aragonitin ilk oluşumundan sonra kalsite dönüşmesi sırasında içsel kristal yapısı değişirken dış görünümü aynen kalabilmektedir (Hill ve Forti, 1997). Bu durum, Nardin Mağarası'ndan alınmış olan C-2 örneğinde görülmüş-

tür. İğnemi bir şekle sahip olmasına karşın, kalsit minerali olan bu katmanda aragonitin kalsite dönüştüğü anlaşılmaktadır.

Mağara içinde karstlaşma ile aşınım ve çökelim dönemlerinin tarihlenmesi amacıyla, C-1 ve C-2 katmanlarını oluşturan kalsit kristallerinin yaşları U/Th yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Norveç Bergen Üniversitesi'nde yaptırılan analizlerde örneklerin yaşları sırasıyla 148.8 (+29.35 -24.9) bin yıl ile 111.27 (+10.67 -9.86) bin yıl olarak belirlenmiştir (Soylu, 2004) (Şekil 8). Normal seri ilkesine göre; istifin en altında yer alan birim en yaşlı, daha üstte yer alan birimlerin ise giderek gençleşmesi gerekirken, C kesitinin en üstünde bulunan C-1 katmanının, C-2 katmanından daha yaşlı olduğu saptanmıştır. Söz konusu durumun iki nedenden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bu nedenlerden ilki çökelenin (kristalleşmenin) tavandan tabana doğru gelişmesi, diğeri ise ikincil kristalleşme sonucu ilkel durumun bozulmasıdır. Morfolojik açıdan yapılan gözlemler, kristallerin büyüme yönlerinin çökelinin tabanından itibaren geliştiğini göstermiştir. Öte yandan iri (desimetre düzeyinde) kristallerden oluşan katmanda ikincil kristallerin arasındaki mikroskobik aralıklardan süzülen sulardan itibaren yeni kristallerin varlığı, elektron mikroskobuyla araştırılmıştır. Bu kapsamda, C-2 tabakası kristalleri elektron mikroskobu altında incelenmiş ve element analizleri yapılmıştır. Analizler ve fotoğraf çekimleri, Hacettepe Üniversitesi Elektron mikroskobu laboratuvarında bulunan Zeiss Evo 50 elektron mikroskobuyla 15kV gerilim altında BSD (Back scattered electron detector) kullanılarak yapı-



Şekil 8. C-1 ve C-2 katmanları.

Figure 8. C-1 and C-2 layers.

mıştır. Sonuçta özellikle C-2 katmanının üst kesimlerinde görülen kalsit kristallerinin saf olmaları anlaşılmalı, alüminyum, silis ve demir elementlerinin yoğun olarak görüldüğü belirli bölgelere rastlanmıştır (Şekil 9). C-2 katmanının üst kısmında görülen daha koyu renkli kristallerin alt kısımdaki kristallere göre göreceli olarak daha düşük saflığa sahip olmaları (Şekil 10) elektron mikroskobu mikroprob analizlerinden de doğrulanmıştır. Katmanın üst kısmında yer alan kalsit kristallerinde görülen düşük saflığın ilksel kristal oluşumundan sonra iğnemsiz kristaller arası boşluklardan sızan sular tarafından getirildiği düşünülmektedir. Bu getirim sırasında çökelen ikincil kalsit kristallerinin de mevcut kristaller arasına çökmesi, katmanın tümü üzerinde yapılmış olan U/Th yaş saptaması sonucunda katmanın gerçek yaşından daha genç olarak belirlenmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca aragonit olarak çökelmiş olan ve sonradan kalsite dönüşen kristal yapılarında, dönüşüm sırasında demir ve alüminyum gibi farklı elementlerle beraber uranyum atomunun da kalsitin kristal yapısına girerek, ortamdaki uranyum miktarını arttırmaları varsayımı, C-2 katmanının yaşının daha genç olarak belirlenmesini açıklayabilmektedir (bkz. Şekil 9).

## MAĞARANIN SON EVRESİNİN KURGULANMASI

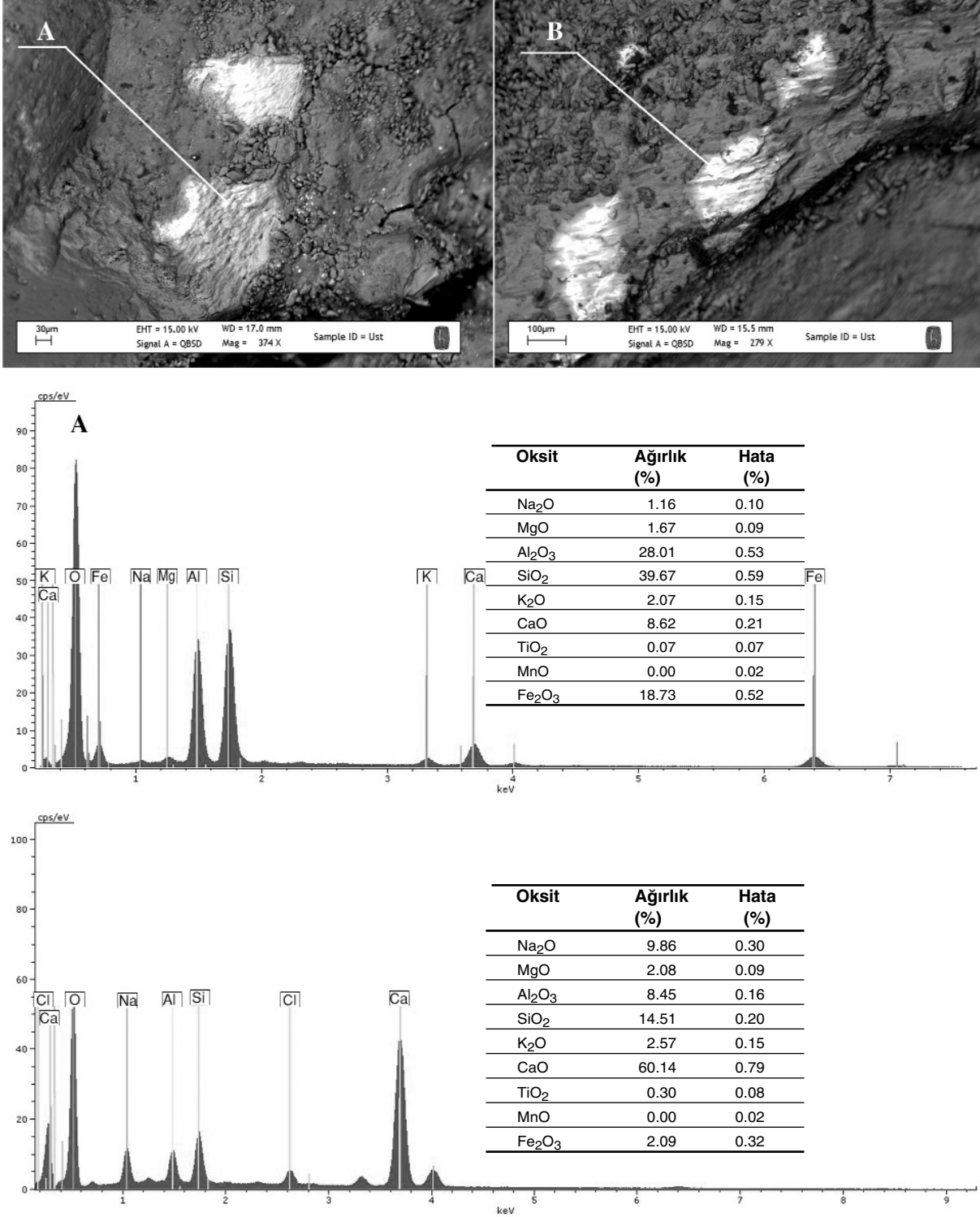
### Mağaranın Kapanması

Nardın Mağarası'nda A, B ve C olarak adlandırılan kesitlerin her birinin üst kesiminde kalınlığı yaklaşık 40 cm olan iri kalsit kristallerinden oluşan bir katman görülmektedir (Şekil 11). Boyları 10 cm'ye kadar ulaşan bu kristallerin oluşum mekanizması, mağaraya sızarak gelen kalsiyum karbonatça doymuş olan suların yavaş çökme kinetiğine bağlı olarak açıklanmıştır. Bu bağlamda mağara damlataşlarında kalsiyum karbonatın çökmesine neden olan süreçler toprak zonu üzerindeki kısmi CO<sub>2</sub> basıncı ile atmosferde bulunan kısmi CO<sub>2</sub> basıncı arasındaki fark tarafından denetlenmektedir. Bitkilerin fotosentez sırasında kökleri aracılığı ile toprağa CO<sub>2</sub> salmaları ve organik malzemenin çürümesi sonucu topraktaki CO<sub>2</sub> miktarı artmaktadır. Yağışla gelen sular, toprak zonu üzerinden süzülmesi sırasında toprak atmosferi ile etkileşerek toprak havasındaki CO<sub>2</sub>'i fiziksel çözünme ile bünyelerine almakta ve daha sonra kimyasal tepkimelerle kar-

bonik asit çözeltisine dönüşmektedir. Kireçtaşları ile etkileşimi sonucu kalsite doymuş hale gelen çözelti, mağara ortamına ulaştığında mağara atmosferindeki kısmi CO<sub>2</sub> basıncının, çözeltinin oranla daha düşük olması sonucu çözelti CO<sub>2</sub> kaybederek kalsite aşırı doymuş hale gelmekte ve kalsit veya aragonit bileşimli damlataşlarını çökeltmektedir. Çökme sırasında oluşan kristallerin boyutları çökme kinetiği tarafından denetlenmektedir. Çökme sırasında mağaraya ulaşan su ile mağara atmosferinin kısmi CO<sub>2</sub> basınçları arasındaki farkın düşük olması, çökelmenin yavaş gerçekleşmesine neden olmaktadır ve kristal büyümesi için yeterli zamanı sağlamaktadır. Bu bağlamda, Nardın Mağarası'ndan alınan her üç kesitin de üst kesimlerinde desimetre düzeyinde iri kalsit kristallerine rastlanması, bu kristallerin çökelmesi sırasında mağara atmosferinde kısmi CO<sub>2</sub> basıncının yüksek bir değerde olduğunu göstermektedir. Bu dönemin mağaranın atmosfer ile bağlantısının büyük ölçüde kesildiği ve mağara boşluğunun kapanmaya yakın dönemlerini temsil ettiği anlaşılmaktadır. Nardın Mağarası'nın duvarlarında korunmuş olan mağara çökel katmanlarından alınmış kesitlerin her üçünden de izlenebilen benzer istiflenme özellikleri paleoortamsal ve paleohidrolojik koşullar açısından aşağıda değerlendirilmiştir.

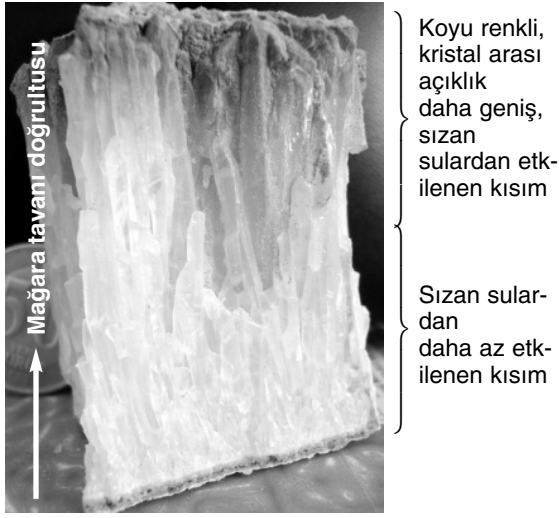
### Çökellerin Paleoortamsal ve Paleohidrolojik Koşullar Açısından Değerlendirilmesi

Nardın Mağarası'nda farklı özelliklere sahip katmanlar boyunca alınan kesitler, renk ve doku özellikleri açısından birbirleriyle ilişkilendirilerek mağaranın bulunduğu bölgede geçmiş dönemlerdeki ortamsal ve hidrolojik koşullar yorumlanmıştır. Mağara çökellerinde renklemenin başlıca nedenleri çökel bileşimine katılan organik maddelerle, demir ve mangan gibi elementlerdir. Toprak zonunda meydana gelen organik etkinlik sonucu oluşan hümik ve fülvik asitler sızan sularla mağara ortamına ulaşmakta, damlataş oluşumuna katılmakta ve bu damlataşların renklenmesine neden olmaktadır. Mağara çökellerinde görülen sarımsı renk tonlarındaki artan koyuluk ile toprak zonundan taşınarak mağaraya ulaşan suların içerdiği hümik malzemelerin miktarı büyük oranda ilişkilendirilebilmektedir (Van Beynen vd., 2001). Ayrıca ilksel aragonit oluşumu, damlama hızındaki düşmeye bağlı olarak, kurak iklim koşulları ile ilişkilendirilebilmektedir (Frisia vd., 2002).



Şekil 9. C-2 katmanında kalsit kristal yüzeyindeki saf olmayan alanların elektron mikroskobu görüntüleri ve mikroprob analiz sonuçları.

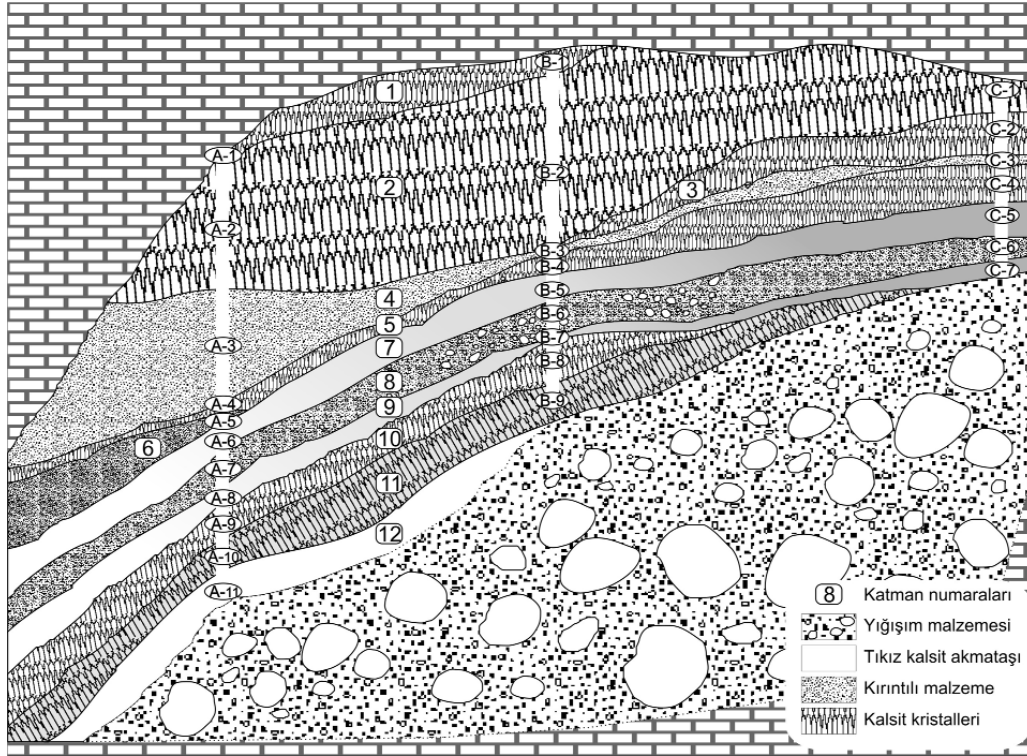
Figure 9. Electron microscope views of impurities of C-2 layer's crystal surface and results of microprobe analysis.



Şekil 10. C-2 katmanının makroskobik görünüşü.

Figure 10. Macroscopic view of C-2 layer.

Şekil 11'de A, B ve C kesitleri üzerinde yapılan tanımlamalardan yararlanılarak mağara içi çökelmelerinin erozyonundan önceki durumu kurgulanmıştır. Buna göre; mağaranın tabanında ani sellenme ürünü silt – blok tane boyutunda yığışım malzemesi olarak adlandırılan birim, olasılıkla tektonik hareketlerin etkili olduğu ve oldukça yağışlı bir dönem temsil etmektedir. Yığışım malzemesinin üzerine çökelmiş olan tıkHz, ince taneli, beyaz ve kalsitten oluşan akmataşı görece daha soğuk bir dönemde çökelmiş olmalıdır (Katman numarası – KN:12). Soğuk olan bu döneme oranla daha sıcak bir dönemin izleri, bu katmanın üzerinde gözlenen (KN:11) kristallerin içerdiği sarı renklerden anlaşılmaktadır. Beyaz kristallerin yanı sıra, yer yer sarımsı kısımların gözleendiği bu katman, mağara üzerinde bulunan toprak örtüsündeki organik etkinliğin ortam sıcaklığına bağlı olarak artması sonucu meydana gelmiştir. Sarımsı renge sahip olan bu katmanın üzerindeki katman (KN:10) yine sarımsı renkleri içermesine rağmen ağırlıklı olarak beyazdır ve buna bağlı olarak daha soğuk bir dönem temsil etmektedir.



Şekil 11. Nardin Mağarası'nda belirlenen numaralandırılmış katman yayılımlarının ölçeşsiz gösterimi.

Figure 11. Illustration of the extension of the numerated layers in Nardin Cave (not-to-scale).

Şekil 11'de görüldüğü gibi, A-9 ve B-8 katmanı (KN:10) seviyesine kadar çökelmiş katmanların C kesitinde bir karşılığı bulunmamaktadır. Bu durum, C kesitine göre daha düşük kotta yer alan B ve A kesitlerinde çökelmeye neden olan suyun mağaranın B kesitine daha yakın olan güneybatı kesiminden geldiği şeklinde değerlendirilmiştir. Bu seviyenin üzerindeki katmanların birçoğu her üç kesitte de gözlenebilmektedir. Ancak C-5 ve C-7 gibi bazı katmanların her üç kesitte de gözlenebilmesine karşın, C kesitinde katman renkleri yüksek demir içeriği nedeniyle diğer kesitlere göre daha koyu renklidir. Söz konusu demir iki farklı nedenden kaynaklanabilmektedir. Karbonat mineralinin çökeltme kinetiğine göre kaynaktan itibaren akış boyunca önce demir karbonat, sonraki aşamada da kalsit minerali çökelmektedir. Diğer bir neden ise, bulanık olan suyun kırıntılı malzemeye birlikte kalsiyum karbonat çöktürmesinden sonra akış yolu boyunca bulanıklığının azalması, böylece daha sonraki kısımlarda kirlenmemiş kalsiyum karbonat çöktürmesi olabilir. Her iki neden de, mağarada çökelmeye neden olan su kaynağının B kesitinden C kesitine kaydığını göstermektedir.

Akım yönünün değişmesinden sonra çökelişi gerçekleşen ilk katman (KN:9); C kesitinde kahverenkli ve daha iri taneli kırıntılara sahip olarak gözlenirken, B ve A kesitlerinde daha ince taneli ve açık sarı-beyaz renklidir. Bu katmanın özellikleri, akımın mağaranın güney kesiminden geldiği değerlendirmesini desteklemekte olup, katmanın yağışlı ve soğuk bir dönemde çöktüğü anlaşılmaktadır. Bu katmanın üzerinde yer alan katman (KN:8) boyunca sarı renk tonları egemendir. Mağara içi göllenmenin bir ürünü olduğu anlaşılan bu katman, yağışın ve sıcaklığın görece yüksek olduğu bir dönemde çökelmiştir. Bu katmanın üzerine gelen katmanın (KN:7) genelinde ise, sarı ve kahverengi renkler egemendir. Kırıntılı malzemedan oluşan bu katman, altında bulunan katmana göre daha sıcak bir dönemde çökelmiştir. Daha üstte sadece A kesitinde karşılaşılmış bir katman (KN:6) bulunmakta olup, katmanın devamlılığı B ve C kesitlerinde belirlenememiştir. Mağara içinde kısmi göllenme sonucunda çökelmiş olan bu katman kalsitik çamurdan oluşmaktadır. Genellikle açık sarı olmasına karşın, koyu sarı ara katmanlar izlenebilmekte ve görece sıcak ve nemli bir dönemi temsil etmektedir. KN:6 numaralı katmanın üzerine yine benzer özelliklere sahip bir göllenme

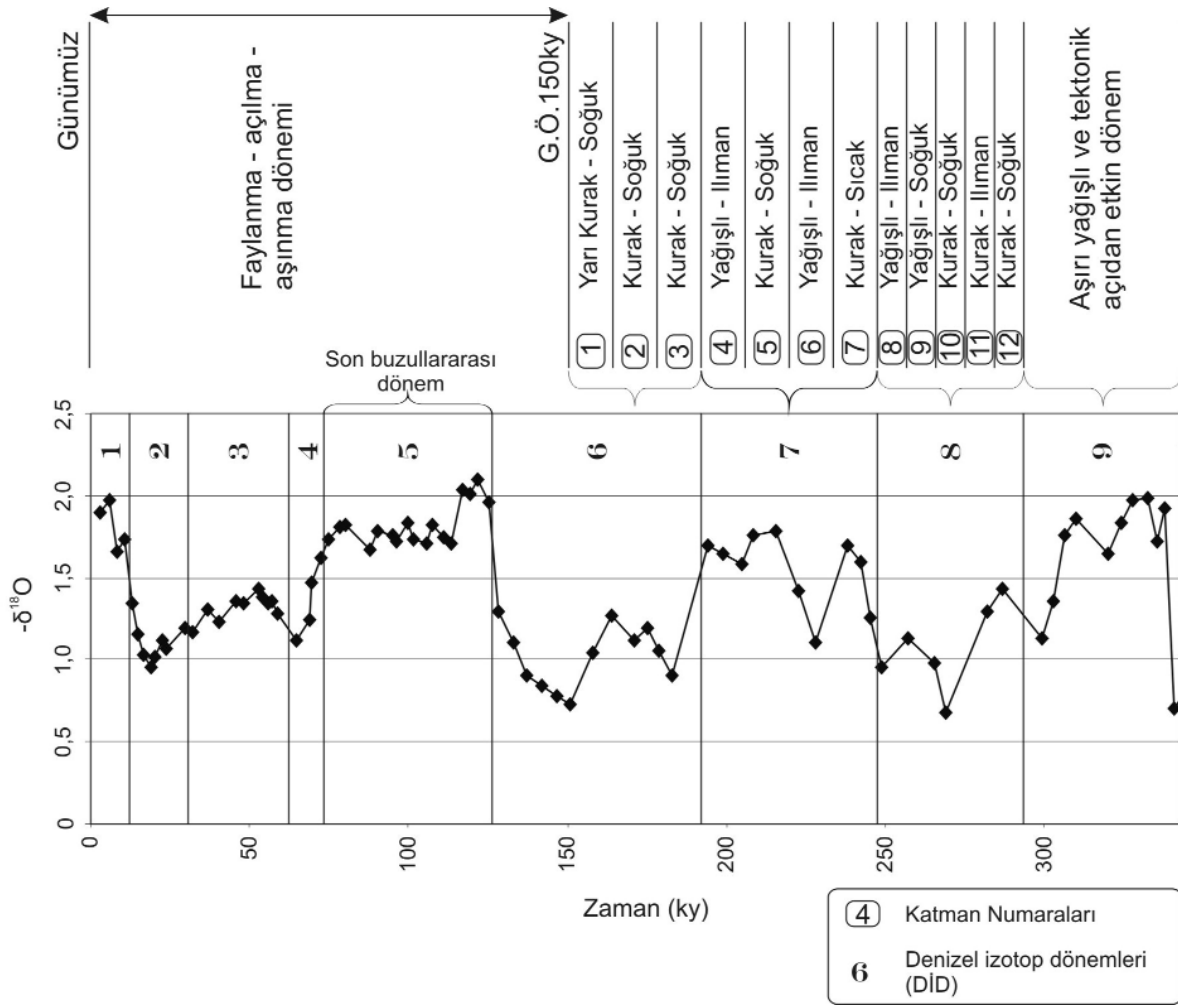
çökeli olan, ancak bu katmandan farklı olarak her üç kesitte de karşılığı bulunan bir katman (KN:4) gelmektedir. Gölsel katmanların arasında soğuk bir dönemi temsil eden kalsit kristallerinden oluşan ve çökeltim duraklaması niteliğinde beyaz bir katman (KN:5) bulunmaktadır. KN:4 numaralı gölsel çökelin üzerinde beyaz ve yer yer sarı renklerin egemen olduğu kristallerden oluşan katmanlar (KN:3, 2, 1) bulunmaktadır. Mağara boşluğunun çökellerle doldurulmasına yakın dönemlerde çökelen ve iri kalsit kristallerinden oluşan bu katmanların nispeten soğuk bir dönem boyunca çöktükleri anlaşılmaktadır.

Yapılan analizlere göre, mağaranın yaklaşık 150 bin yıl önce çökellerle tamamen dolarak kapandığı sonucuna varılmıştır. Buna göre, daha sonra açılmaya neden olan faylanma, fay boyunca drenaj ile dere yatağı gelişimi/aşındırma ve mağara içi çökellerin boşalımı son 150 bin yıl boyunca gerçekleşmiş olmalıdır. Elde edilen sonuçlar, Shackleton ve Opdyke (1973)'ün derin deniz sondajından elde edilen  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerini kullanarak belirledikleri ve Denizel İzotop Dönemleri (DİD) olarak adlandırılan buzul ve buzullar arası dönemlerle ilişkilendirilmiştir (Şekil 12).

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Nardin Mağarası'nın 150 bin yıl önce çökellerle tamamen dolarak kapandığı belirlenmiştir. 150 bin yıldan geriye doğru mağaranın maruz kaldığı hidrolojik ve çevresel koşullar, mağara duvarlarında korunmuş olan katmanların fiziksel ve kimyasal özellikleri yardımıyla belirlenmiştir. Geçmiş dönemlerdeki egemen iklim koşulları ile ilişkilendirilebilen katman renkleri belirlenerek renklerin olası nedenleri sıvanmıştır. Bu kapsamda belirli renklere sahip katmanlarda demir içerikleri belirlenmiştir. Buna göre, kahverenkli katmanların demir içeriği nedeniyle bu rengi aldıkları belirlenirken, sarı renkli katmanların artan koyuluk derecesinin, klime bağlı bir parametre olan organik madde miktarıyla ilişkili olduğu anlaşılmıştır.

Katman renklerinin yanında kırıntılı katmanlardaki tane boyları da gözönüne alınarak mağaranın atmosfere açılmadan önceki katman yayılımı belirlenmiştir. Katmanlardaki Kalsiyum karbonat çökeltimlerinin miktarı ve hızı büyük ölçü-



Şekil 12. Shackleton ve Opdyke (1973) tarafından derin deniz sondajlarından elde edilen  $\delta^{18}O$  değerlerine göre belirlenmiş buzul ve buzullararası dönemler ile Nardın Mağarası'nda bulunan katmanların çökeldikleri dönemlerdeki iklim koşullarının ilişkisi (Tek sayılar buzul arası, çift sayılar buzul dönemlerini göstermektedir. G.Ö.: Günümüz öncesi).

Figure 12. Correlation of prevailing climatic conditions in periods of sediment deposition in Nardın Cave with temperature evolution of the last 350 kyr according to  $\delta^{18}O$  data of deep ocean drillings by Shackleton and Opdyke (1973). (Odd numbers indicate interglacial periods and even numbers indicate glacial periods. G.Ö.: Before present).

de yüzeydeki ortamsal – iklimsel koşullar, suyun fizikokimyasal özellikleri ile çökeltme ortamındaki (mağara boşluğu) havanın kısmi karbondioksit basıncı tarafından denetlenmektedir. Bu nedenle, katman kalınlıkları esas alınarak tanımlanan dönemlerin ne kadar sürdüğünün kestirilmesi olanaklı değildir. Bu tür bir değerlendirme sık örnekleme ve yaş saptaması gerektirmektedir. Bununla birlikte, sürelerle ilişkin kesin değerlendirmeler yapılmaksızın birbirini izleyen farklı

dönemler ayırtlanmış ve derin deniz sondajlarından elde edilen  $\delta^{18}O$  değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Buna göre, mağaradaki çökeltme 300 – 350 bin yıl öncesinde başlamakta ve 150 bin yıl öncesinde mağaranın tamamen çökellerle dolması sonucu sona ermektedir. 150 – 200 bin yıllık çökeltme dönemi boyunca mağaranın bulunduğu bölgedeki iklim koşullarının iki kez buzul ve bir kez buzul arası döneme maruz kaldığı belirlenmiştir.

Mağaranın tamamen çökellerle dolmasının tarihi olan günümüzden önce 150 bin yıldan günümüze kadarki dönemde faylanma ve fay boyunca oluşan akaçlama nedeniyle açılan dere yatağının gelişimi sonucu mağaranın üzeri aşınmış ve mağara atmosfere açılarak içerisinde çökelmiş olan katmanlar büyük ölçüde boşalmıştır. Mağaranın atmosfere açılmasının başlıca nedenleri, bölgedeki tektonik etkinlik ve Sakarya Nehri'nin Kuvaterner boyunca yatağına hızlı gömülmesi nedeniyle oluşan yüksek enerji gradyanına bağlı olarak yüzeysel erozyonu arttırmasıdır.

Damlataşlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerine, mağara içi stratigrafisine ve morfolojisine dayanarak, damlataşların çökdikleri dönemdeki iklimsel ve hidrolojik koşulların, açıklanabileceği görülmektedir.

#### KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'nce desteklenen 02.01.602.009 numaralı "Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy (Bilecik) – Beyyayla (Eskişehir) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi" başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, arazi çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı Türkay Coşkun'er'e, makalenin son haline gelmesinde önemli katlıları olan Catherine Kuzucuoğlu (CNRS – Fransa) ile Gültekin Tarcan'a (Dokuz Eylül Üniversitesi) ve Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Elektronik Laboratuvarında örneklerin incelenmesini sağlayan Orkun Ersoy'a ve Erkan Aydar'a teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

- Aksay, A. ve Duru, M., 2002. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Adapazarı H24 paftası. MTA Yayınları, Pafta No: 37.
- Altiner, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U., and Conti, M.A., 1991. Jurassic-Lower Cretaceous stratigraphy and paleogeographic evolution of the southern part of North-Western Anatolia (Turkey). *Geologica Romana*, 27, 13-80.
- Baldini, J.U.L., McDermott, F., and Fairchild, I.J., 2002. Structure of the 8200-year cold event revealed by a speleothem trace element record. *Science*, 296, 2203-2206.
- Bayarı, S., Öztürk, N. ve Törk, K., 2005. Mağara çökdüklerinde geçmiş ortam koşullarının belirlenmesi. *Ulusal Mağara Günleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İ. Albayrak, (ed.), Konya, 19-30.
- Ekmekçi, M., 2003. Review of Turkish karst with emphasis on tectonic and palaeogeographic controls. *Acta Carstologica*, 32, 205-218.
- Ekmekçi, M., and Nazik, L., 2004. Evolution of Gölpazarı-Hüyük karst system (Bilecik-Turkey): Indications of tectonic and climatic controls. *International Journal of Speleology*, 33, 49-64.
- Ekmekçi, M., ve Coşkun'er, T., 2005. Tuluntaş Mağarası'nın jeolojik yakın geçmişinden bir kesit. *Ulusal Mağara Günleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İ. Albayrak (ed.), Konya, 61-73.
- Ekmekçi, M., Aydın, H., Soylu, M.E., Tezcan, L. ve Kurttaş, T., 2006. Karst sistemlerini paleohidrolojik kayıt arşivleri olarak değerlendirme olanaklarının araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) karst sisteminin paleohidrolojisinin incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi Proje Raporu*, No: 02.01.602.009 (yayımlanmamış).
- Fairchild, I. J., Baker, A., Borsato, A., Frisia, S., Hinton, R. W., McDermott, F., and Tooth, A. F., 2001. Annual to sub-annual resolution of multiple trace-element trends in speleothems. *Journal of the Geological Society*, 158, 831-841.
- Frisia, S., Borsato, A., Fairchild, I. J., McDermott, F., and Selmo, M.E., 2002. Aragonite-calcite relationships in speleothems (Grotte de Clamouse, France): environment, fabrics and carbonate geochemistry. *Journal of Sedimentary Research*, 72, 687-699.
- Gedik, İ. ve Aksay, A., 2002. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları. Adapazarı H25 paftası. MTA Yayınları, Pafta no: 38.
- Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, Ş., Uysal, Ş. ve Özcan, A., 1996. Orta Sakarya'da Nallıhan – Sarıcakaya arasındaki yapısal birimlerin jeolojik özellikleri. *MTA Rapor No: 10094* (yayımlanmamış).
- Hellstrom, J.C., and McCulloch, M.T., 2000. Multiproxy constraints on the climatic significance of trace element records from a New



- Zealand speleothem. *Earth and Planetary Science Letters*, 179, 287-297.
- Hill, C., and Forti, P., 1997. *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, Alabama, USA.
- Musgrove, M., Banner, J., Mack, E.L., Combs, D.M., James, E.W., Cheng, H., and Edwards, R.L., 2001. Geochronology of late Pleistocene to Holocene speleothems from central Texas: implications for regional paleoclimate. *GSA Bulletin*, 113, 1532-1543.
- Roberts, M.S., Smart, P.L., and Baker, A., 1998. Annual trace element variations in a Holocene Speleothem. *Earth and Planetary Science Letters*, 154, 237-246.
- Saner, S., 1977. Gevye – Osmaneli – Gölpazarı – Taraklı alanının jeolojisi; Eski çökeltme ortamları ve çökeltmenin evrimi, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Tatbiki Kürsüsü (yayımlanmamış).
- Saner, S., 1980. Mudurnu – Göynük havzasının Jura ve sonrası çökeltim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23, 39-52.
- Shackleton, N.J., and Opdyke, N.D., 1973. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 105 and 106 year scale. *Quaternary Research*, 3, 39– 55.
- Soylu, M. E., 2004. Harmanköy (Eskişehir) – Beyyayla (Bilecik) karst sisteminde mağara çökeltlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Ana Bilim Dalı (yayımlanmamış).
- University of Kentucky, 2006. <http://www.uky.edu/KGS/rocksmn/carbonates.htm#calcite>, 25 Ağustos 2006.
- Van Beynen, P., Bourbonniere, R., Ford, D., and Schwarcz, H., 2001. Causes of color and fluorescence in speleothems. *Chemical Geology*, 175, 319–341.
- Verheyden, A., Keppens, E., Fairchild, I.J., McDermott, F., and Weis, D., 2000. Mg, Sr, and Sr isotope geochemistry of a Belgian Holocene speleothem: implications for paleoclimate reconstructions. *Chemical Geology*, 169, 131-144.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A.M. ve Yiğitbaş, E., 1981. Abant (Bolu) – Dokurcun (Sakarya) arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 2 (3–4), 239–261.

