

Karaca Mağarası'ndaki (Gümüşhane) Bir Yıllık Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi*

Assessment of One-Year-Long Temperature Record of Karaca Cave (Gümüşhane, NE Turkey)

Erdem BEKAROĞLU^{1*}, Hakan YİĞİTBAŞIOĞLU¹

¹Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara

Özet: Ekolojik mirasın önemli bir unsuru olan mağaralar, serbest atmosferden farklı olarak kendilerine özgü bir atmosfere sahiptir. Mağaralardaki turistik faaliyetler ise, mağaraların ekolojik özelliklerini geri dönüşümü olmayan bir şekilde dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, Gümüşhane ilindeki Karaca Mağarası'nda 20 Temmuz 2007-20 Temmuz 2008 tarihleri arasında kesintisiz olarak yapılan sıcaklık ölçümleri mağara mikroklimatolojisi bakımından incelenmiştir. Elde edilen bulgular, mağara atmosferiyle serbest atmosfer arasında büyük farkların olduğunu; mağara içerisindeki sıcaklık değişimlerinin amplitüdünün oldukça düşük olduğunu ve mağaranın yapılan turistik ziyaretlerden olumsuz yönde etkilendiğini ortaya koymuştur. Mağaradaki CO₂ seviyesi insan sağlığı açısından bir risk taşımamakla birlikte, mağaradaki nisbi nem oranlarının artması durumunda korozyon etkisi yaratması söz konusudur. Mağaranın ekolojik varlığını devam ettirebilmesi için mağaranın mikroklimatik parametrelerinin düzenli olarak takip edilmesi ve bir mağara kullanım planı hazırlanması gereklidir. Bu, Türkiye'de bir mağara atmosferinin sistematik olarak ölçüldüğü ilk çalışmadır.

Anahtar kelimeler: Karaca Mağarası, Mikroklimatoloji, Mağara sıcaklığı, Mağara kullanımı.

Abstract: Caves, an important component of the ecological heritage, have a distinctive atmospheric structure which is very different from outside air conditions. Touristic usage of show caves has a potential to create irreversible ecological changes within caves. In this study, we measured one-year-long continuous temperature record of the Karaca Cave from 20 July 2007 to 20 July 2008 in Gümüşhane, NE Turkey. The results show that (a) there is a huge difference between interior and outside atmospheres in terms of air temperature, relative humidity and gas composition and (b) the amplitudes of the variations in cave temperatures are too low and (c) cave atmosphere is affected by touristic visitations, (d) CO₂ levels in the cave are not risky for human health but it can lead to corrosion on speleothems if the condensation rates increase. The study suggests that it is crucial to have a management plan by monitoring climatic parameters of the cave in order to maintain sustainability of the Karaca cave. This is the first study which systematically records a cave temperature in Turkey.

Keywords: Karaca Cave, Microclimatology, Cave temperature, Cave usage.

1. Giriş

Mağaraların yüzeyden kısmen ya da tamamen izole yeraltı boşlukları olmalarından dolayı, tipik bir mağara atmosferi serbest atmosferden büyük ölçüde farklılık gösterir. Mağara atmosferindeki sıcaklık ve nem koşulları serbest atmosferle mağara arasındaki hava akımının paternine göre gelişmektedir (Cropley, 1965; Gample vd., 2000). Serbest atmosferle mağara atmosferi arasındaki hava akımının yokluğu durumunda ise, mağara havası, mağarayı çevreleyen kayaların termal ve nem karakteristiğine uyum sağlar ve mağara içerisindeki sabit sıcaklık değerleri genellikle mağaranın bulunduğu yerdeki serbest atmosferin yıllık ortalama sıcaklığını yansıtır (De Freitas vd., 1982; De Freitas ve Littlejohn, 1987; Smithson, 1991). Hava akımının olmadığı mağaralarda, mağara havası sıcaklık, nisbi nem ve CO₂ bakımından dikey doğrultuda bir tabakalanma gösterir (Ek ve Gewalt, 1985; Forbes, 1997). Turistik olarak yoğun kullanılan düşük enerjili mağaraların (low-energy caves) taşıma kapasitesinin (carrying capacity) sıfır olmasından ötürü¹, bu durum geri dönüşümü mümkün olmayan değişimlere yol açabilmesi bakımından önemlidir (De Freitas, 1998). Bu tip mağaralarda, mağara kapısının kapatılması serbest atmosferle mağara havası arasındaki termik basınç farkından doğacak hava akımının gerçekleşmesini engelleyerek mağara içerisindeki sıcaklıkların ve CO₂ oranlarının artmasına sebep olur. Mağara havasındaki CO₂ oranının artması, mağara içerisindeki oluşumlara (sarkıt, dikit, sütun, damlataş vb.) ve de insan sağlığına zarar verirken, mağara sıcaklıklarının artması evaporasyon oranlarının da artmasına sebep olarak mağara duvarlarında

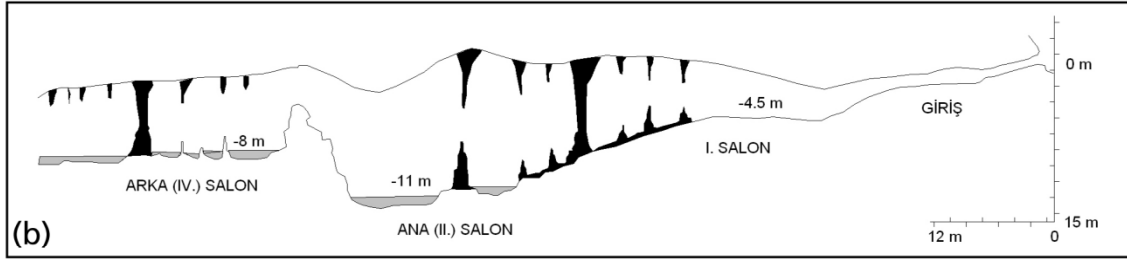
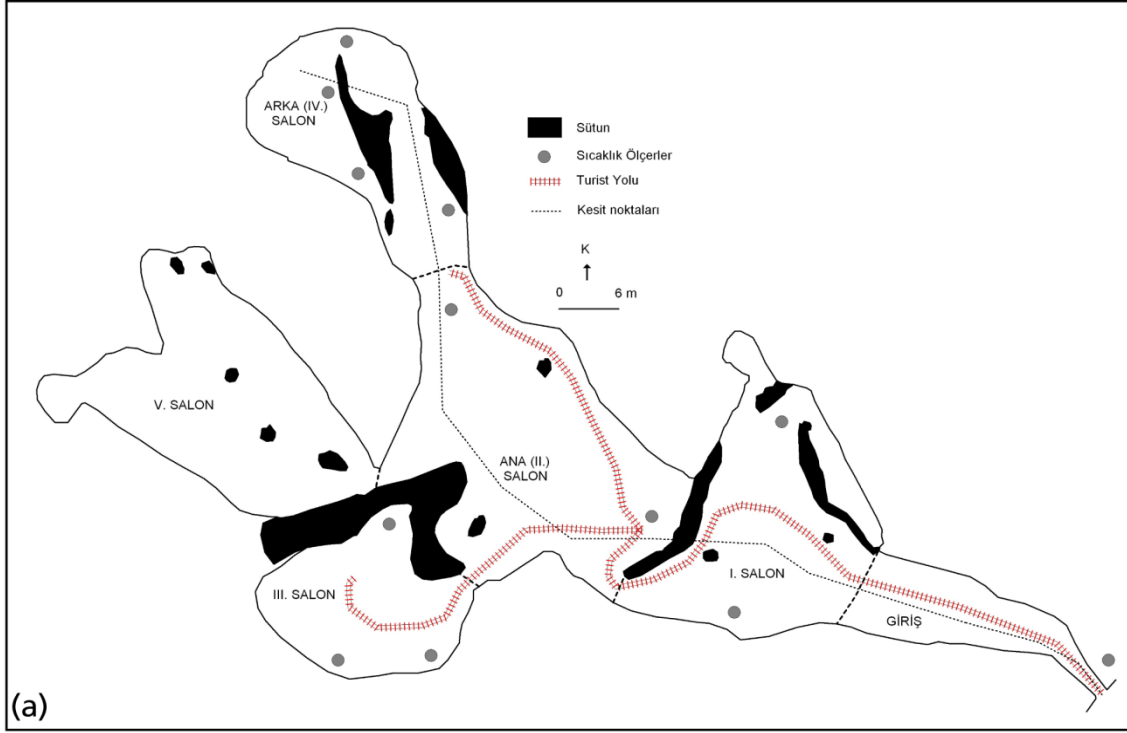
* Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir (BAP-20060901025). İletişim : bekaroglu@humanity.ankara.edu.tr

evaporatif kalsitin gelişmesine sebep olur. Bu durum ise, mağaranın ekolojik dengesinin bozulması ve de turistik açıdan çekiciliğini yitirmesiyle sonuçlanabilir (Baker ve Genty, 1998).



Şekil 1. Karaca Mağarası'nın lokasyonu. Mağara (40°32'39'' K, 39°24'10'' D) Gümüşhane'nin Torul ilçesine bağlı İkisu köyü yakınlarında bulunur. Mağaranın denizden yüksekliği 1550 m. olup girişi GD yönüne açılmaktadır.

Bu çalışmada, Gümüşhane ili sınırları içerisinde bulunan ve özellikle yaz aylarında yoğun turistik ziyarete konu olan (1996'dan 2005 yılına dek mağarayı yaklaşık 600.000 kişi ziyaret etmiştir) Karaca Mağarası'nda (Şekil 1) gerçekleştirilen kesintisiz sıcaklık ölçümleri, mağara mikroklimatolojisi bakımından değerlendirilecektir. Mağaralar yeraltında olmaları, ilginç mağara oluşumlarını barındırmaları, kendilerine özgü bir atmosfere sahip olmaları, yeraltı gölleri, akarsuları ve mağara canlıları nedeniyle turistik olarak çekim merkezleri olma özelliğindedirler. Bu durum mağaraların yoğun kullanımına yol açtığından ötürü doğal parametrelerce kontrol edilen mağara ortamı ekolojik, iklimik, speleolojik ve biyolojik olarak hızla değişime uğramaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı, Karaca Mağarası'ndaki mağara içi sıcaklık rejimine ait bir kayıt oluşturmak, serbest atmosferle mağara atmosferi arasındaki sıcaklık ilişkisini ortaya koymak ve mağaranın turistik kullanımından kaynaklanan olası değişimleri tespit etmektir. Yüksek çözünürlüklü otomatik sıcaklık kaydedicileri tarafından 20 Temmuz 2007 – 20 Temmuz 2008 yılları arasında kesintisiz olarak toplanan sıcaklık verilerinin analizi çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır.



Şekil 2. (a) Karaca Mağarası'nın planı (Nazik vd., 1990'dan sadeleştirilerek). Karaca Mağarası'nda sıcaklık ölçümleri için 11 adet TinyTag sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Bunlar I. salon, Ana (II.) Salon, III. Salon ve Arka (IV.) Salondaki zemin kısımlarına yerleştirilmiştir. Ayrıca, mağara dışına da, serbest atmosferi direkt olarak ölçmek amacıyla bir adet sıcaklık ölçer konulmuştur. (b) Karaca Mağarası'nın kesiti (Nazik vd., 1990'dan). Kesit hattı plan üzerinde gösterilmiştir. (c) Ziyaretçi girişinin olmadığı Arka (IV.) Salondaki akartaşlar ve diğer speleothemler. (d) Mağara'nın turistlerce en yoğun olarak kullanılan Ana (II.) Salonu.

2. Çalışma Alanı ve Yöntem

Karaca Mağarası (40°32'39'' K, 39°24'10'' D) Gümüşhane'nin Torul ilçesine bağlı İkisü köyü yakınlarında bulunur (Şekil 1). Mağaranın denizden yüksekliği 1550 m. olup girişi GD yönüne açılmaktadır. Karaca Mağarası'nın toplam alanı 1890 m², uzun eksen 100 m, kısa eksen 60 m ve en derin noktası girişten -15 m derinliktedir. Mağara beş salondan oluşmaktadır (Şekil 2a, Çizelge 1).

Karaca Mağarası tek girişi olan düşük enerjili ve statik (tek bir girişe sahip) bir mağaradır. Mağara turizme açılmadan önce (1996 yılı öncesi) baca şeklinde dar bir girişe sahipken; turizme kazandırma çalışmaları sırasında bu giriş genişletilmiş ve yatay doğrultuda kolaylıkla girilebilecek bir boyuta getirilmiştir (Nazik vd., 1990; Uzun, 1991). Mağara girişindeki kapı, mağaranın açık olduğu turizm sezonunda (Nisan-Kasım), çalışma saatleri içerisinde (9:00– 19:00), sadece ziyaretçi girişi sırasında açık olmakta; bunun dışındaki zamanlarda kapalı olarak tutulmaktadır. Bu nedenle mağara içerisinde herhangi bir hava sirkülasyonu kaydedilememiştir.

Çizelge 1. Karaca Mağarası'nın geometrik özellikleri.

	Giriş	I. Salon	Ana (II.) Salon	III. Salon	Arka (IV.) Salon	V. Salon	Toplam
Alan:	121 m ²	364 m ²	467 m ²	200 m ²	281 m ²	373 m ²	1890 m ²
Derinlik (girişe göre):	-2.5 m	-4.5 m	-11 m	-5 m	-8 m	-15.5 m	-
Tavan yüksekliği:	1-3 m	5-8 m	4-13 m	2-8 m	3-7 m	5-15 m	-
Uzun eksen:	25 m	28 m	34 m	30 m	30 m	33 m	100 m (d-b)
Kısa eksen:	7,5 m	26,5 m	29,4 m	15 m	16 m	25 m	60 m (k-g)

Karaca mağarası vadoz zonda bulunan bir mağaradır. Yağışlı dönemlerde mağaranın tavan ve duvarlarından sızan sular mağarayı nemlendirir, damlataş birikimlerinin büyümesini ve canlı kalmasını sağlar; ayrıca mağara tabanının en derin kısımlarında derinliği yer yer 1 metreyi geçen gölcükler oluşturur (Şekil 2b; Nazik vd., 1990). Ancak mağaranın giriş kısmının yeniden düzenlenmesi ve turizme açılması mağara iklimasını etkilemiş ve artan buharlaşma sonucu bazı gölcükler yok olurken, bazılarının seviyesi de oldukça düşmüştür.

Karaca Mağarası'nın oluşumunda kireçtaşlarının kristalize yapıları ve bunların Lias –Dogger yaşlı volkanik seri üzerinde mercekler halinde bulunuşu önemli bir rol oynamıştır. Bölgede yapılan arazi gözlemlerinde kireçtaşı-volkanik seri kantağının çoğu yerde 1500-1550 metre aralığında olduğunu ve hem mağaraların, hem de kaynakların bu kontakt hattında buldukları tespit edilmiştir. Bu bakımdan bu hat bölgedeki lokal karst taban seviyesini oluşturmaktadır.

Karaca Mağarası, birbirine bağlı 5 salondan meydana gelmiştir (Şekil 2a). Mağara freatik safhada tek bir salondan meydana gelmiş; vadoz safhada ise damlataş sütunlarıyla bölümlere ayrılmıştır. Karaca Mağarası içerisinde damlataş birikimleri bol ve canlıdır; bunda kireçtaşının karstlaşmaya uygunluğu yanında mağaranın yakın zamanlarda dışarıya açılması etkili olmuştur (Şekil 2c ve 2d; Nazik vd., 1990).

Karaca Mağarası'nın bulunduğu Gümüşhane ili ılıman kuşakta yer almaktadır. Yöre, Karadeniz kıyısından yaklaşık 70 km uzaklıkta bulunmasına rağmen (Şekil 1), orografik ünitelerin denize paralel uzanması ve bölgenin deniz seviyesinden yaklaşık 1200 metre yüksekte bulunması nedeniyle karakteristik Karadeniz iklimine sahip değildir. Nitekim Gümüşhane'nin yıllık sıcaklık ortalaması 9.5°C (Karadeniz kıyı kuşağında 13-15°C arasında) olup amplitüd 22°C'ye varmaktadır (Karadeniz kıyı kuşağında 15-17°C). Öte yandan Karadeniz bölgesi kıyı kuşağında görülen termik

okyanusal karakterden farklı olarak (Koçman, 1993), sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında sıfırın altına düşer. Gümüşhane’de ortalama yıllık yağış miktarı 451,8 mm’dir (Rize’de 2346,3 mm; Erzurum’da 450,7 mm). En yağışlı mevsim Karadeniz kıyı kuşağında Kasım ya da Aralık iken, yörede Nisan ve Mayıs aylarıdır. Yağış miktarı Temmuz ve Ağustos aylarında oldukça düşer (sırasıyla 11,8 mm ve 13,8 mm) ve Eylül ayı itibariyle tekrar artmaya başlar.

Otomatik sıcaklık ölçümü için kullanılan alet Gemini TinyTag Data Logger’dir. Bu cihaz küçük, hafif ve su geçirmeyen niteliğiyle mağara ortamında kullanılmaya elverişlidir. Ölçüm yapabildiği sıcaklık aralığı -25°C ile 85°C dir. Sıcaklığı 0.01°C kesinlikte algılamakta ve $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ hata payı bulunmaktadır. İçerisinde bulunan termistör aracılığıyla programlanan süreler içerisinde istenilen sıklıkta otomatik ölçüm yapabilmektedir. Karaca Mağarası’nda sıcaklık ölçümleri için 11 adet TinyTag sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Bunlar I. salon, Ana (II.) Salon, III. Salon ve Arka (IV.) Salondaki zemin kısımlarına yerleştirilmiştir (Şekil 2a). Ayrıca, mağara dışına da, serbest atmosferi direkt olarak ölçmek amacıyla bir adet sıcaklık ölçer konulmuştur. Bu sayede, mağara atmosferini etkileyen serbest atmosfer doğrudan ölçülmüştür. Ölçümler 20 Temmuz 2007-2008 tarihleri arasında her saatte bir alınmıştır.

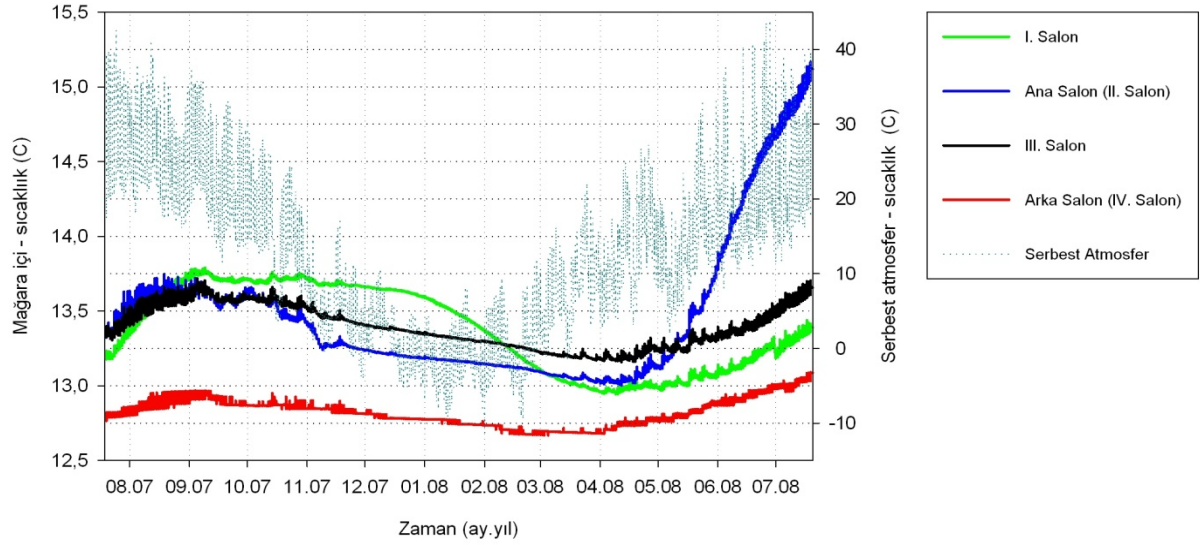
Sıcaklık ölçümleri sonucunda elde edilen değerler (8786 adet veri), saatlik veriler olarak listelenmiştir. Daha sonra ölçüm yapılan her lokalite için ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, amplitüd ve standart sapma değerini hesaplanmıştır. Mağara içindeki salon sıcaklıklarının dış atmosferle olan ilişkisini anlayabilmek için ise salon sıcaklıklarının her biri Pearson korelasyon (pearson product moment correlation coefficient) yöntemiyle değerlendirilmiştir (Çizelge 2).

3. Bulgular

Karaca Mağarası’ndaki sıcaklık ölçümleri 20 Temmuz 2007-20 Temmuz 2008 tarihleri arasında otomatik sıcaklık ölçerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kaydı yapmak üzere mağaranın dış kısmına 1, I. Salona 2, Ana (II.) Salona 2, III. Salona 3 ve Arka (IV.) Salona 4 adet sıcaklık ölçer yerleştirilmiştir (Şekil 2a). Sıcaklık ölçerler zeminden en az 30-50 cm yukarıda, mağara atmosferindeki değişimleri ölçmek için en uygun yerlerine konulmuş ve ölçümler her saat başında bir (günde 24) kayıt alınarak yapılmıştır². Böylelikle, araştırma süresi boyunca elde edilen 8786 adet sıcaklık verisi, saatlik seriler halinde oldukça yüksek çözünürlüklü bir veri olarak analiz edilmiştir. Aynı salonda bulunan sıcaklık ölçerlerden elde edilen veriler ortalamaları alınarak tek bir seri haline getirilmiştir. Mağaranın hemen dışına konulan sıcaklık ölçer ise, belirlenen süreler içerisinde mağara içerisindeki sıcaklık ölçerlerle senkronize bir şekilde serbest atmosferdeki sıcaklığı ölçmüştür.

Karaca Mağarası’nın yıllık sıcaklık değişim grafiğinin en büyük özelliği, serbest atmosferdeki sıcaklık değişim amplitüdü ile mağara içerisindeki sıcaklık değişim amplitüdü arasındaki büyük farktır (Şekil 3). Serbest atmosferdeki yıllık sıcaklık amplitüdü $\sim 55^{\circ}\text{C}$ iken, mağaradaki sıcaklık amplitüdü $2,16^{\circ}\text{C}$ ila $0,43^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir (Çizelge 2). Bu durum, serbest atmosferdeki yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük sıcaklık değişimlerine mağaranın tepkisinin zayıf olduğunu ve daha da önemlisi, mağaranın kendine özgü bir atmosferi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Mağaranın hemen dışındaki serbest atmosferin 12 aylık sıcaklık ortalaması $11,5^{\circ}\text{C}$ ’dir. Bu değer, mağaranın girişten en uzak kısmı olan Arka Salondaki yıllık sıcaklık ortalamasına ($12,82^{\circ}\text{C}$) oldukça yakındır. Mağara içi sıcaklık değerleri yazın serbest atmosferden düşük, kışın ise fazladır. Öyle ki, yaz ve kış aylarında mağara içi ile serbest atmosfer arasında 20°C ’yi aşan farklar meydana gelmektedir. Bununla birlikte ortalamalara bakıldığında, serbest atmosferin Ocak ayı sıcaklık ortalaması $-2,37^{\circ}\text{C}$ iken, mağara içi sıcaklık ortalaması $13,2^{\circ}\text{C}$ ’dir. Aynı şekilde serbest atmosferin Temmuz ayı sıcaklık ortalaması 21°C iken, mağara içi sıcaklık ortalaması $13,6^{\circ}\text{C}$ ’dir. Ekstrem hava koşullarında bu fark çok daha artmaktadır. Bahar aylarında ise sıcaklık farkları azalmaktadır (Şekil 3). Örneğin serbest atmosferin Ekim ayı sıcaklık ortalaması $15,04^{\circ}\text{C}$, aynı dönemde mağara içi sıcaklık ortalaması $13,41^{\circ}\text{C}$ ’dir. Nisan ayında ise serbest atmosferin sıcaklık ortalaması $12,1^{\circ}\text{C}$ olurken, mağara içindeki sıcaklık ortalaması $12,99^{\circ}\text{C}$ olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Karaca Mağarası'nın ve serbest atmosferin 20 Temmuz 2007-20 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki 12 aylık sıcaklık grafiği. Saatlik sıcaklık kayıtlarından oluşan bu veri, mağara içerisindeki salonlarda yer alan birden fazla sayıda sıcaklık ölçümlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Serbest atmosferdeki sıcaklık değişimleri ise direkt olarak mağaranın hemen dış kısmında ölçülmüştür.

Genel olarak bakıldığında, yaz ve kış aylarında mağara ile serbest atmosfer arasında büyük sıcaklık farkları meydana gelirken, geçiş dönemlerinde bu fark azalmaktadır.

Çizelge 2. Karaca Mağarası'ndaki sıcaklık kayıtlarının tanımlayıcı istatistiksel analizi.

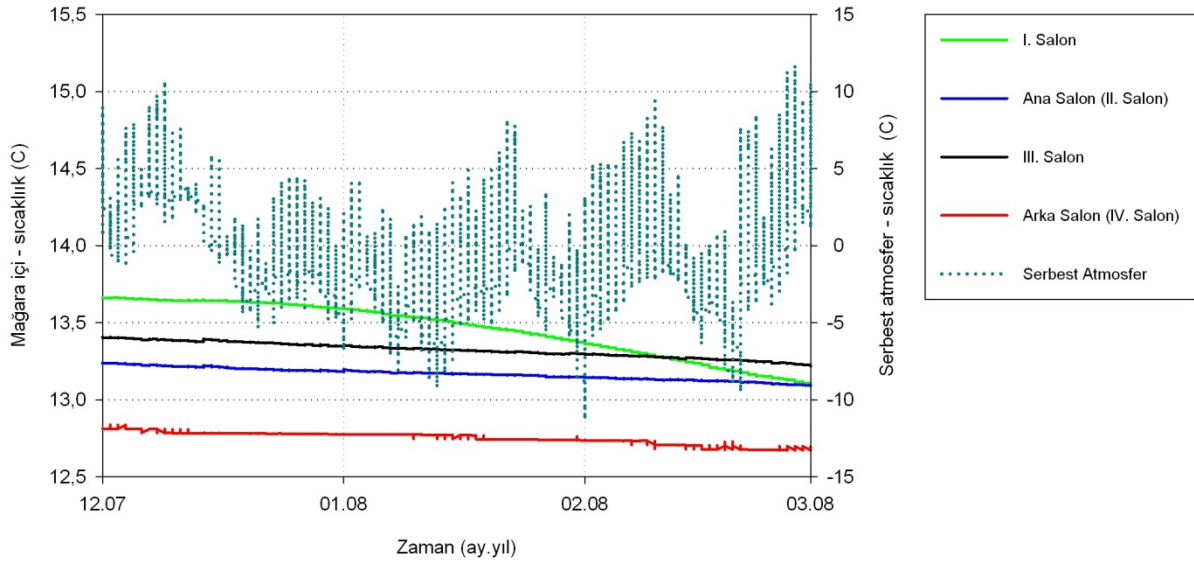
	Serbest Atmosfer	I. Salon	Ana (II.) Salon	III. Salon	Arka (IV.) Salon
Temmuz 2007-08					
Ortalama yıllık sıcaklık:	11,5	13,38	13,47	13,39	12,82
Yıllık maksimum sıcaklık:	43,9	13,78	15,16	13,71	13,09
Yıllık minimum sıcaklık:	-11,3	12,94	13	13,15	12,66
Yıllık sıcaklık amplitüdü:	55,2	0,84	2,16	0,56	0,43
Standart sapma:	10,32	0,28	0,47	0,14	0,09
Pearson korelasyon katsayısı, r:		0,02	0,54	0,52	0,61

Mağara içi sıcaklık değerinin yıllık trendi incelendiğinde, mağara içerisinde en düşük sıcaklık değerlerinin girişten yaklaşık 100 m uzaklıkta bulunan Arka Salonda, en yüksek sıcaklık değerlerinin ise mağaranın özellikle giriş kısmına yakın bölümlerinde kaydedildiği görülmektedir (Şekil 3). Temmuz 2007'den Şubat 2008'e dek mağara içerisinde amplitüdü az olan bir sıcaklık zonunun var olduğu; giriş bölümünden mağaranın dip kısımlarına doğru gidildikçe sıcaklıkların azaldığı tespit edilmiştir. Bu, özellikle hava sirkülasyonunun olmadığı ya da sınırlı ölçüde olduğu tüm orta enlem mağaraları için beklenen bir fiziksel durumdur (Moore ve Sullivan, 1997). Nitekim mağaraların serbest atmosferden uzak dip kesimlerinin sıcaklık değerleri, artık yüzeyde hüküm süren süreçlerden etkilenmemekte ve esas olarak yüzeyin yıllık sıcaklık ortalamasına yakın bir değerde kayaç sıcaklıkları tarafından kontrol edilmektedir (Hill ve Forti 1997). Bu faktör, Arka Salonda yapılan ölçümlerde net olarak görülebilmektedir. Arka salonda yapılan sıcaklık ölçümleri, bu bölümün yıllık sıcaklık amplitüdünün yalnızca 0,43°C olduğunu ortaya koymuştur. Serbest atmosferdeki yıllık sıcaklık amplitüdünün 50°C'den fazla olduğu göz önüne alındığında, mağaranın bu kesimindeki sıcaklık değerlerinin stabil olduğu ve yüzeydeki havanın yıllık sıcaklık ortalaması civarında geliştiği söylenebilir. Bu periyotta (Temmuz 2007-Şubat 2008), mağaranın en sıcak bölümü beklendiği gibi girişe en yakın kısmı olan I. Salon, daha sonra ise girişten hemen hemen eşit uzaklıkta bulunan Ana

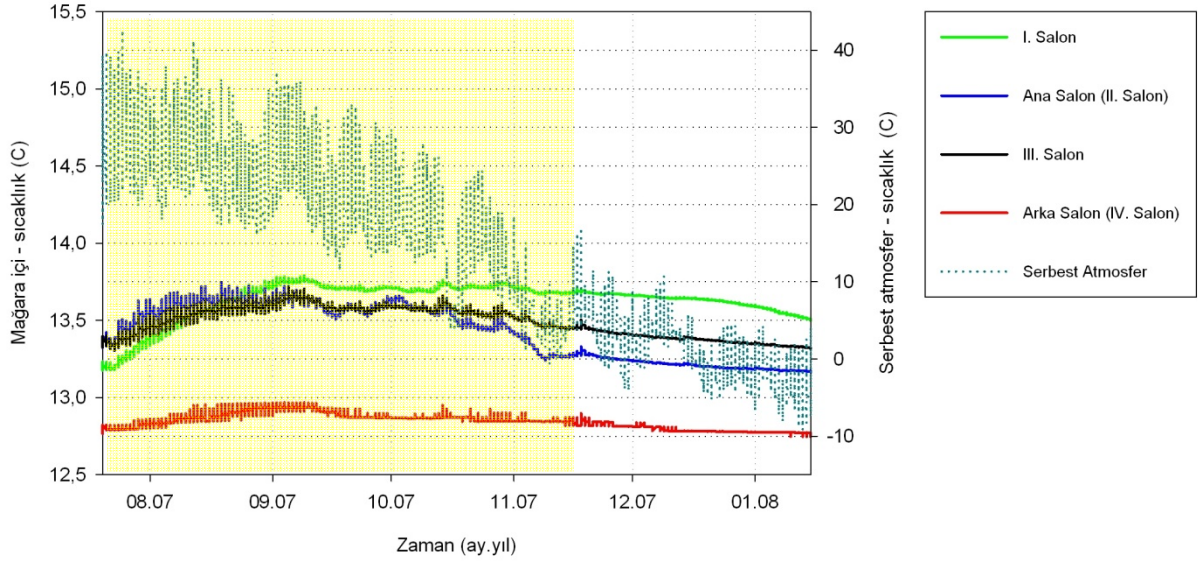
Salon ve III. Salondur. Şubat 2008'den Temmuz 2008'e dek olan periyotta, Arka Salon yukarıda ifade edilen özelliğini korumakla birlikte, mağaranın geri kalan kısmındaki sıcaklık zonu değişime uğramıştır. Yine, fiziksel olarak beklendiğinin tersine, yıllık sıcaklık amplitüdünün en fazla olduğu kısım serbest atmosfere en yakın olan I. Salon değil, Ana Salondur (Şekil 3, Çizelge 2).

Mağara içindeki sıcaklık minimum ve maksimumlarıyla serbest atmosferdeki sıcaklık minimum ve maksimumları eş zamanlı olarak meydana gelmemektedir (Şekil 3). Örneğin, serbest atmosferdeki sıcaklık minimumları, beklendiği gibi, kış aylarında, Aralık-Şubat arasındaki periyotta gerçekleşmiştir. Buna karşın, mağaradaki minimum sıcaklıklar Mart-Nisan ayında kaydedilmiştir. Bu durum, yaz sıcaklıkları için de geçerlidir. Mağara içerisindeki sıcaklık maksimumları 2007 Eylül ayında kaydedilirken, serbest atmosferdeki sıcaklık maksimumları Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Bu bakımdan, mağara içi sıcaklıkların serbest atmosferdeki sıcaklık değişimlerine 1-2 aylık gecikmelerle tepki verdiği tespit edilmiştir.

Yaz koşulları incelendiğinde, 2007 yılı Temmuz-Ağustos tarihlerinde serbest atmosferin sıcaklık ortalaması 25°C olduğu ve sıcaklık değerlerinin 20°C ila yaklaşık 45°C arasında oynadığı görülmektedir (Şekil 3). Mağara içi sıcaklık değerleri bu periyotta serbest atmosferden daima düşüktür ve yaklaşık 13°C civarında seyretmektedir. Serbest atmosferdeki sıcaklık artışlarına mağara içi sıcaklıklar Ağustos ayı başından itibaren tepki vermekte ve mağara içi sıcaklık değerleri yaklaşık 0.5°C artmaktadır. Haziran-Temmuz 2008 tarihlerindeki yaz sıcaklık rejimi ise daha farklı bir patern ortaya koymaktadır (Şekil 3). Buna göre, mağara içi sıcaklıklar, serbest atmosferdeki sıcaklık artışlarına oldukça yavaş bir şekilde tepki vermekte, sıcaklık artışları oldukça düşük değerlerde meydana gelmektedir. Yine bu dönemde, mağara içindeki sıcaklık dağılışı değişmektedir.



Şekil 4. Karaca Mağarası'nın ve serbest atmosferin 1 Aralık 2007-1 Mart 2008 arasındaki saatlik sıcaklık grafiği. Bu dönemde beklenen sıcaklık paterninde en sıcak kısım mağaraların serbest atmosferden izole dip kısımları, en soğuk kısımlar ise serbest atmosferden en çok etkilenen giriş kısmı ve bu kısma yakın yerlerdir. Karaca Mağarası ile serbest atmosfer arasında doğal bir hava sirkülasyonu olmadığından, beklenen kış paterni farklı gelişmektedir. Mağaranın en dip kısmı en serin, girişe yakın diğer kısımlar ise en sıcak alanları oluşturmaktadır.

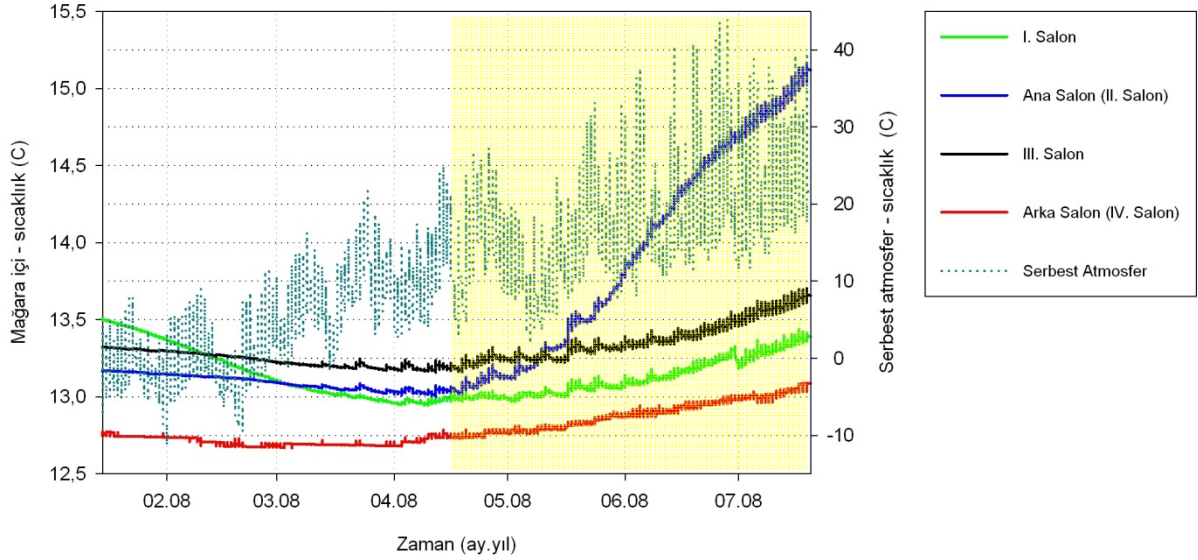


Şekil 5. Karaca Mağarası'nın ve serbest atmosferin 20 Temmuz 2007-15 Ocak 2008 arasındaki saatlik sıcaklık grafiği. Sarı renkli alan mağaranın turizme açık olduğu periyodu göstermektedir. Mağaradaki turizm sezonunun kapanmasıyla mağara içi sıcaklıklarının düşme trendine girmesinde kesilen turistik faaliyetlerin (ziyaretçiler ve ışıklandırma) etkisi de söz konusudur.

Kış sıcaklıkları ise (Şekil 4), Aralık 2007-Mart 2008 tarihleri arasında serbest atmosferin sıcaklık ortalamasının $-0,78^{\circ}\text{C}$ olduğunu göstermektedir. Aynı periyotta mağara içerisindeki ortalama sıcaklık $13,17^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu dönemde, mağara içi sıcaklık değerleri her zaman serbest atmosferden fazladır. Serbest atmosferdeki sıcaklık değişimlerinin etkisi, yazın olduğu gibi çok yavaş ve amplitüdü oldukça düşük bir şekilde mağara içerisinde hissedilmektedir. Pearson korelasyon katsayıları, serbest atmosferdeki sıcaklık değişimleriyle mağara içerisindeki sıcaklık değişimlerin genelde zayıf negatif bir ilişki içerisinde olduğunu göstermektedir. Yaklaşık olarak 15 Şubat 2008 tarihine dek mağara içerisindeki sıcaklıklar giriş kısmından mağaranın dip kısmına doğru düşmekte; bu dönemdeki mağara içi sıcaklık gradyanı yaklaşık 1°C olarak gerçekleşmektedir. 15 Şubat 2008'den sonra ise giriş bölümüyle birlikte I. Salon soğumakta (mağaradaki sıcaklık değişimleri serbest atmosferdeki değişimlere en az 1 aylık gecikmeyle tepki vermektedir) ve Şubat ayı sonunda, I. Salondaki sıcaklıklar III. Salon ve Ana Salondaki değerlerin altına düşmektedir. Esasen, ventilasyonun olduğu orta enlem mağaraları için beklenen kış paterni, mağaranın giriş kısmından dip kısmına doğru gidildikçe sıcaklıkların artması şeklindedir (Wigley ve Brown, 1976). Bu dönemde en sıcak kısım mağaraların serbest atmosferden izole dip kısımları, en soğuk kısımları ise serbest atmosferden en çok etkilenen giriş kısmı ve bu kısma yakın yerlerdir. Karaca Mağarası ile serbest atmosfer arasında doğal bir hava sirkülasyonu olmadığından, beklenen kış paterni farklı gelişmektedir. Mağaranın en dip kısmı en serin, girişe yakın diğer kısımlar ise en sıcak alanları oluşturmaktadır. Bu durum, hava sirkülasyonunun olmadığı ya da sınırlı olduğu turistik mağaralarda yapay ısınma sonucu artan sıcaklıkların çok kolay olarak geriye döndürülemeyeceğini ortaya koymasından önemlidir.

Mağaradaki sıcaklık değişimlerinin, serbest atmosferdeki sıcaklık değişimlerinden olduğu kadar, turizm sezonundaki turistik aktivitelerden de etkilendiği düşünüldüğünden, mağaranın turizme açık (15 Nisan-15 Kasım) ve kapalı olduğu dönemleri sıcaklık değişim paterni bakımından analiz etmek yararlı olacaktır. Bu bakımdan, ilk olarak 20 Temmuz -15 Ocak 2008 arasındaki periyoda bakıldığında (Şekil 5), serbest atmosferdeki sıcaklık artışlarına mağaranın biraz geç tepki vererek Eylül ayında maksimum değerleri kaydettiği ve bu yüksek mağara sıcaklıklarının Kasım ayı başına dek devam ettiği görülmektedir. Kasım ayından itibaren ise mağara içi sıcaklık değerleri düşmektedir. Ancak, mağaranın serbest atmosfere en yakın bölümü olan I. Salonun (sıcaklık ölçerlerin kaybedilmesi nedeniyle ölçüm yapılamamış olmasına rağmen muhtemelen giriş bölümünün de) sıcaklık eğrisindeki düşüş Aralık ayı ortasından sonra gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, özellikle mağaranın Ana Salonu ile III. Salonundaki sıcaklık eğrisindeki bu tarihten önceki düşüşler, mağaranın Kasım ayı itibarıyla

turizme kapanmasıyla kesilen turist ziyaretleri ile mağara ışıklarının kapatılmasına bağlanabilir. 15 Ocak 2008-20 Temmuz 2008 tarihleri arasındaki sıcaklık paternine bakıldığında ise (Şekil 6), serbest atmosferdeki sıcaklıkların Mart ayında artmasına karşın mağara içi sıcaklıkların 15 Nisan'da bir artış trendine girdiği gözlemlenebilir. Bu paternde, her ne kadar mağara içi sıcaklıkların serbest atmosferdeki sıcaklık değişimlerine gecikmeli tepki vermesi etkiliyse de, tüm mağara bölümlerinin yanı sıra özellikle Ana Salondaki büyük artışın mağaradaki ışıklandırma sisteminin devreye girmesi ve en önemlisi başlayan mağara turizmiyle olan ilişkisi önemlidir (Şekil 6).



Şekil 6. Karaca Mağarası'nın ve serbest atmosferin 15 Ocak 2008-20 Temmuz 2008 arasındaki saatlik sıcaklık grafiği. Sarı renkli alan mağaranın turizme açık olduğu periyodu göstermektedir. Bu grafikte, mağara sıcaklıklarının artmasında serbest atmosferdeki sıcaklık artışlarının yanı sıra, başlayan turizm sezonu ile mağarada aktif hale geçen ışıklandırma sisteminin ve de başlayan turistik aktivitelerin etkisi açıkça görülebilmektedir. Ana Salondaki büyük ölçekli artışa dikkat ediniz.

4. Sonuç ve Öneriler

Karaca Mağarası'nda sürdürülen mikroklimatolojik çalışmalar, mağaradaki sıcaklık rejimi, bu sıcaklık rejiminin serbest atmosferle ilişkisi ve mağara atmosferine dair temel bulguların elde edilmesini sağlamıştır. Bu bakımdan, ölçüm yapılan süre içerisinde elde edilen bulgularla ilgili değerlendirmeler şu şekilde sıralanabilir:

- (1) Mağara atmosferinin yıllık sıcaklık değişim amplitüdü ile serbest atmosferdeki sıcaklık değişim amplitüdü arasında büyük fark vardır ($>50^{\circ}\text{C}$).
- (2) Mağaranın serbest atmosferden izole olan dip kısmının sıcaklık ortalaması ($12,82^{\circ}\text{C}$), yüzeyin yıllık sıcaklık ortalamasına ($11,5^{\circ}\text{C}$) yakın bir değerde gelişmektedir.
- (3) Mağara sıcaklıkları ile serbest atmosferdeki sıcaklık farkları kış ve yaz mevsimlerinde artmakta, geçiş mevsimlerinde ise azalmakta; hatta dengelenmektedir. Yaz aylarında mağara havası serbest atmosferden daha soğuk, kışın ise daha sıcak olmaktadır.
- (4) Mağara içi sıcaklıkları, serbest atmosferdeki sıcaklık değişimlerine zayıf, yavaş bir şekilde ve ayrıca gecikmeli olarak (1-2 ay) tepki vermektedir.
- (5) Mağaradaki sıcaklık gradyanı, mağaranın turistik ziyaretlere konu olmasından ötürü değişmektedir. Örneğin, 2008 yaz sezonunda, en sıcak bölge serbest atmosfere en yakın bölüm olan giriş kısmı ve I. Salon olması gerekirken, Ana Salon ve III. Salon olmuştur. Bu dönemde Ana Salondaki sıcaklık değerleri tüm bir yıl boyunca mağaradaki en yüksek sıcaklık değerleri olarak kaydedilmiştir (Şekil 6). Serbest atmosferle mağara iklimi arasındaki fiziksel ilişkiye ters düşen bu durumun temel olarak iki açıklaması olabilir: (a) Mağara içindeki ışıklandırmanın etkisi, (b) Mağara ziyaretçilerinin etkisi. Birinci faktör, potansiyel olarak

değerlendirilebilecek bir faktör olmasına rağmen, mağaranın diğer kısımlarında da ışıklandırma olması ve ayrıca bir önceki yıla göre ışıklandırma etkisinin değişmemiş olması nedeniyle gözardı edilebilir. İkinci faktör ise çok daha önemlidir. Çünkü Temmuz-Ağustos 2007 tarihlerinde serbest atmosfer sıcaklık ortalaması 25°C iken, Haziran-Temmuz 2008 tarihlerinde sıcaklık ortalaması 19,28°C'dir. Buna rağmen mağara içindeki tüm sıcaklıklar 2008 yazında, bir önceki yıla göre artış göstermiştir. Hatta, Ana Salondaki sıcaklık değerleri tüm yılın maksimum değerlerine ulaşmıştır. Ortalama olarak bir önceki yıla göre daha az sıcak bir yaz olmasına rağmen 2008 yılındaki bu sıcaklık artışı, mağarayı ziyaret eden turistlerin neden olduğu yapay ısınmayla açıklanabilir. Bu bakımdan, Ana Salonun en çok ısınan kısım olması tesadüfi değildir. Çünkü, bu bölüm, mağaranın turistlerce ziyareti sırasında en çok vakit harcanan yeridir. Turistler, dar giriş bölümünden sonra I. Salon boyunca ilerleyerek Ana Salona gelmektedir. Bu bölüm, III. Salon ve Arka Salona bir dağılma merkezidir. Ayrıca, ziyaretçilere mağaranın özellikleriyle ilgili bilgiler yine bu bölümde aktarılmaktadır. Kısaca söylenirse, bu kısım, ziyaretçilerin mağara içerisinde en fazla vakit harcadığı yerdir. Dolayısıyla, vücut sıcaklıkları ve tenefüs, bu bölümün atmosferini önemli ölçüde değiştirmeye yeter bir potansiyeli taşımaktadır. Ana Salonda meydana gelen sıcaklık artışı ortalama olarak 1,5°C kaydedilmiştir. Mağara içerisindeki yıllık sıcaklık değişim amplitüdünün 1°C'den az olduğu göz önüne alındığında bu artış olağanüstüdür. Ölçümler, daha fazla sayıda gerçekleşen mağara ziyaretlerinin bu durumdan sorumlu olduğunu net olarak ortaya koymaktadır.

- (6) Aynı patern III. Salon için de söz konusudur. Burası, Ana Salondan sonra mağaranın en çok ziyaret edilen ve zaman harcanan bölümüdür. Hacmi, Ana Odayla karşılaştırıldığında daha küçüktür. Neticede, aynı etki, yani mağaranın turistik ziyarete konu olması, mağaranın bu kesimindeki sıcaklıkların bir önceki yıla göre az da olsa artmasına fakat daha da önemlisi, giriş ve I. Salondan Ana Salonla birlikte daha sıcak bir bölge haline gelmesine neden olmuştur. Son olarak, bir önceki yılda, serbest atmosferdeki sıcaklık artışlarının etkisiyle, mağara içi sıcaklıkların Eylül ayında yıllık maksimum değerlerine ulaştığı hatırlanırsa, 2008 yaz sezonunda tespit edilen yapay ısınma etkisinin, ölçümlerin kesildiği 20 Temmuz tarihinden sonra da, yaklaşık 45 gün daha hem ziyaretçi etkisi, hem de serbest atmosferdeki sıcaklık artışlarına verilen tepki etkisiyle devam etmiş olduğu söylenebilir. Bu bakımdan, 2008 yaz döneminde mağara içi sıcaklıklar burada belirtilenden daha sıcak olmuş olmalıdır.

Elde edilen sonuçlar, mağara içerisindeki atmosferle serbest atmosfer arasında büyük farkların olduğunu ve mağarayı korumanın mağara atmosferini kontrol altında tutmakla mümkün olabileceğini göstermektedir. Serbest atmosfere göre mağara atmosferindeki nispi nem oranları daha yüksektir. 2007 ve 2008 yaz sezonlarında yapılan gaz ölçümleri, mağara içerisindeki CO₂ oranlarının genel olarak >3000 ppm olduğunu göstermiştir. Yani, mağaradaki CO₂ oranları serbest atmosferdeki orandan en az 10 kat fazladır. Mağarada bir hava akımının olmaması ise, mağara atmosferinin daha hassas bir özellik kazanmasına neden olmaktadır. Genel olarak bakıldığında, serbest atmosferdeki sıcaklık ve nem değişimlerinden mağara atmosferinin etkilenmemesi açısından çok büyük boyutlarda olmayan Karaca Mağarası'nın kapısının kapalı olması ve bu nedenle de mağara içerisinde herhangi bir hava akımının olmaması yerindedir. Ancak, aynı zamanda giderek artan turistik mağara ziyaretleri, mağara atmosferinin sıcaklık rejimini ve bileşimini değiştirme riski taşımaktadır. Mağara atmosferindeki CO₂ değerlerinin >3000 ppm olduğu göz önüne alındığında, nisbi nemin artması durumunda, speleolojik birimler, asidik bir karakter kazanacak olan damlayan sularla ya da mağara birimleri üzerindeki yoğunlaşmalarla korozyona uğrayabilecektir (Dragovitch and Grose, 1990). Sürdürülebilir bir turizm, ancak turizme konu olan varlığın korunmasıyla mümkün olacağından ötürü, Gümüşhane ilinin önemli bir turizm kaynağı olan Karaca Mağarası'nın mikroklimatolojik parametreler yönünden kontrol altında tutulması gerekmektedir. Çünkü, Karaca Mağarası, Heaton'ın tasnifine göre (Cigna, 1993) bir düşük enerji seviyesi ortamıdır. Bu tip mağaralarda, tek bir su damlasının damlama hareketi bile ortamın en çok enerji barındıran olayıdır. Dolayısıyla, bu tip

mağaralar çok ciddi ve asla geri dönüşümü olmayan ortam değişimi riskine sahiptir. Mağara içi sıcaklık değerlerinin ve CO₂ miktarının artması, nisbi nem oranının azalması ya da havuzların tümüyle kurumaması mağaranın ekolojik dengesini bozmaktadır. Bu nedenle:

- (a) Mağaranın mikroklimatolojik elemanlarının (sıcaklık, nisbi nem, gaz kompozisyonu) düzenli olarak ölçülmesi ve elde edilecek sonuçlara göre bir mağara kullanım planı hazırlanması gerekmektedir.
- (b) Mağara içerisinde kesinlikle etrafına ısı veren klasik ışıklandırma sistemlerinin kullanılmaması gerekmektedir.
- (c) Mağarayı ziyaret etmek isteyen ziyaretçilerin sayısı kontrol altında tutulmalıdır. Genel olarak söylenirse, mağaraya giren ziyaretçiler Ana Salona ulaşmakta ve burada mağaranın özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Bu durumun özellikle mağaranın en can alıcı kesimlerinden olan Ana Salonun sıcaklık rejimini bozduğu ve burasını mağaranın en sıcak yeri haline getirdiği yapılan ölçümlerle ortaya konulmuştur. Bu bakımdan Ana Salon tehdit altındadır. Bu durumun önüne geçmek için turistler sınırlı sayıda ve gruplar halinde mağaraya alınmalıdır, mağaranın dış kısmına turistlerin mağarayı önceden tanımlarını sağlayabilecek görsel ve yazılı bilgiler konulmalıdır, mağarayı ziyaret eden gruplara bir rehber eşlik etmeli ve ortalama mağara turu belirli bir süreyi geçmemelidir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasında katkı ve yardımlarını gördüğümüz Gümüşhane Valisi sayın Enver Salihoğlu'na, Gümüşhane İl Özel İdaresi Genel Sekreteri sayın Hasan Pir'e, İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Müdür Yardımcısı sayın Temel Yalçın'a, İl Özel İdaresi memurları sayın Osman Çetiner, Özdiç Duran, Saffet Nas ve Yusuf Beşiroğlu'na, Gümüşhane Meteoroloji istasyonu memuru sayın Rıdvan Yılmaz ile makaleyi değerlendiren hakemlere ve bazı şekillerin çizimindeki yardımlarından ötürü Murat Ataol'a teşekkür ederiz.

Notlar

¹ Mağaralar, enerji ve kütle akışı açısından hemen hemen kapalı ortamlar olarak düşünülebilir. Genel olarak, hava akımının olmadığı-sınırlı olduğu mağaralarda veya ısı alışverişinin mağara salonlarındaki kayaç yüzeyleri boyunca gerçekleştiği mağaralarda enerji akışı düşük düzeyde gerçekleşir. Mağaraların birden fazla girişinin olması ve buna bağlı olarak serbest atmosferle olan hava akımının kuvvetlenmesi veya mağara içerisinde taşkın karakterli akarsuların varlığı mağaralardaki enerji akışının yüksek düzeyde gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Bu perspektiften mağaralar çeşitli enerji seviyelerine ayrılabilir. Heaton tarafından yapılan gruplamada mağaralar yüksek, orta ve düşük enerji düzeylerine ayrılmıştır (Cigna, 1993). Düşük enerjili mağaralar, ortamda yüksek enerji akışını sağlayabilecek olay ve süreçlerden (taşkın karakterli akarsular, kuvvetli hava akımları vb.) büyük ölçüde yoksundurlar. Karakteristik olarak, düşük enerjili mağaralarda damlayan sular ortamın en çok enerji akışını gerçekleştiren olayını meydana getirirler. Bu nedenle, düşük enerjili mağaralar doğal ve doğal olmayan ortam değişimlerinden çok fazla etkilenme potansiyelini taşımaktadırlar. Örneğin, yoğun turist ziyaretleri, çevresine ısı veren ışıklandırma sistemleri, kirlilik vb. düşük enerjili mağaralarda geri dönüşümü olmayan etkiler yaratmaktadır. Bu tip mağaraların gerçekleşen değişimlerden etkilenme potansiyelleri çok fazla olduğundan ötürü, taşıma kapasitelerinin, yani değişen ortam şartlarına ayak uydurarak dengelerini devam ettirebilme yeteneklerinin sıfır olduğu genellikle kabul edilir.

² Karaca Mağarası'ndaki V. Salona mağaracılık ekipmanının yokluğu nedeniyle inilemediğinden ötürü bu odaya ait hiçbir ölçüm yapılmamıştır. Ancak, bu salonun gerek girişten uzak, gerekse de girişe göre derin oluşu, mikroklimatik karakter olarak IV. Salona benzer niteliklere sahip olması gerektiğini düşündürmektedir.

Kaynaklar

- Baker, A. ve Genty, D. 1998. Environmental pressures on conserving cave speleothems: effects of changing surface land use and increased cave tourism. *Journal of Environmental Management*, 53: 165 – 175.
- Cigna, A.A. 1993. Environmental management of tourist caves. *Environmental Geology*, 21: 173-180.
- Cropley, J.B. 1965. Influence of surface conditions on temperatures in large cave systems. *Bulletin*, 27: 1-10.

- De Freitas ve C.R. 1998. Cave monitoring and management: The Glowworm Cave, New Zeland. Cave and Karst Management in Australia, XII. Proceedings of the twelfth Australasian conference on cave and karst management: 55-66, Waitomo, Victoria.
- DeFreitas, C.R. ve Littlejohn, R.N. 1987. Cave climate: Assessment of heat and moisture exchange. *Journal of Climatology*, 7: 553 – 569.
- DeFreitas, C.R., Littlejohn, R.N., Clarkson, T.S ve Kristament, I.S. 1982. Cave climate: Assessment of airflow and ventilation. *Journal of Climatology*, 2: 383 – 397.
- Dragovitch, D. ve Grose, J. 1990. Impact of tourists on carbon dioxide levels at Jenolan Caves, Australia: an examination of microclimatic constraints on tourist cave management. *Geoforum*, 21: 111-120.
- Ek, C. ve Gewalt, M. 1985. Carbon Dioxide in cave atmospheres. New results in Belgium and comparison with some other countries. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10: 173-187.
- Forbes, J. 1998. Air temperature and relative humidity study: Torgac Cave, New Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60: 27-32.
- Gample, D.W., Dogwiler, J.T ve Mylroie, J. 2000. Field assessment of the microclimatology of tropical flank margin caves. *Climate Research*, 16: 37-50.
- Hill, C., Forti, P. 1997. *Cave minerals of the World*. National Speleological Society, Alabama.
- Koçman, A. 1993. Türkiye İklimi. E.Ü, Edebiyat Fakültesi Yayınları No:72, İzmir.
- Moore, W.G. ve Sullivan, N. 1997. *Speleology: Caves and the Cave Environment*. Cave Books, Missouri
- Nazik, L., Güldalı, N ve Aksoy, B. 1990. Karaca Mağarası (Torul – Gümüşhane) ön etüd Raporu. MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara.
- Smithson, P.A. 1991. Inter-Relationships between cave and outside air temperatures. *Theoretical and Applied Climatology*, 44: 65-73.
- Uzun, A. 1991. Karaca Mağarası. Coğrafya Araştırmaları, Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Coğrafya Bilim ve Uygulama Kolu, 3: 15-25.
- Wigley, T.M.L. ve Brown, M.C. 1976. The Physics of caves. s: 329-350. Editor: T.D. Ford, C.H.P. Cullingford. *The Science of Speleology*. Academic Press.