



Yeraltı Karanlıklar Dünyasının Gizemli Oluşumları: Mağaralar

İnsan ömrüyle kıyaslanamayacak ölçüde uzun, kendilerine özel döngüler içinde on binlerce yılda oluşabilen mağaralar, güneşin uğramadığı mutlak karanlıklarda oluşmuş boş galeriler değildir. İçleri, hayal gücünün sınırlarını zorlayacak muhteşemlikte desen ve renklerle bezenmiş değişik şekil ve boyutta damlataşlar ile kaplıdır. Mağaralar dışında pek karşılaşılmayan bu çökeller kendi özel gizemli dünyaları içinde durmaksızın değişim gösterirler.

Dr. Lütfi NAZİK
Ahi Evran Üniversitesi,
Coğrafya Bölümü,
KIRŞEHİR

İnsanın gezegenimizde varoluşundan bu yana her türlü zorlu yaşam koşullarına direnerek varlığını sürdürebilmesinde önemli rol oynayan etmenlerden birisi de mağaralardır. Mağaralar ilkel insanlar için başlıca barınma ve korunma alanları olmuştur. Başlangıçta barınak ve sığınak olarak rağbet gören mağaralar, özellikle Orta Çağ'da hayali canavarların, ejderler ve kötü ruhların barındığı korkunç karanlıklar dünyası olarak tanımlanmışlardır. Bu gerçek dışı yakıştırmalar, doğanın bilinmeyenlerinin yavaş yavaş bilinmez olmaktan çıktığı 19. yüzyıldan itibaren terkedilmeye başlanmıştır. Özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra bilimsel önemlerinin yanı sıra ekonomik değerlerinin iyice anlaşılması mağaralara olan ilgiyi artırmıştır. Yeraltında farklı bir dünyanın kapılarını aralayan mağaralar günümüzde başlı başına bir bilimsel veri kaynağı ve ekonomik sektör konumundadır.



Şekil 1: Mağaralar olağanüstü renk ve desenlere sahip damlataslarıyla insanı büyüleyen güzellikleri barındırırlar (Karaca Mağarası, Gümüşhane).

Sahip oldukları mağara içi ve dışı canlı ve cansız varlıklarıyla büyük bir ekosistem oluşturan ve insanın sosyo-kültürel gelişiminde önemli bir konumda bulunan mağaralar; günümüzde jeoloji, jeomorfoloji, hidroloji, hidrojeoloji, coğrafya, biyoloji, antropoloji-prehistorik arkeoloji ve klimatoloji gibi birçok bilim dalı ile ilgili verilerin korunarak saklandıkları ortamları oluştururlar (1 ve 2) (Şekil 1). Genel bir yaklaşımla mağarayı; yüzeye bağlantısı olan ve bir insanın içine girebileceği boyutlarda, yatay veya dikey uzanımına sahip yeraltı boşluğu olarak tanımlamak mümkündür. Yatay veya dikey uzanımı olmayan ama insanların barınabilecekleri yüzeye açık kovuk şeklindeki boşluklar ise genellikle in olarak adlandırılmaktadır. Uzunlukları birkaç metreden yüzlerce kilometreye ulaşan (ABD’de bulunan ve henüz haritalanması tamamlanmamış Mamut Mağarası’nın toplam uzunluğu 652 km, Türkiye’de ise henüz sonuna ulaşamayan Isparta’daki Pinargözü Mağarası’nın ölçülen uzunluğu 12.5 kilometredir), derinlikleri ise yer yer 1000 metreyi geçen (Gürcistan’daki Krubera-Voronya Mağarası, -2197 metre, Mersin’deki Peynirlikönü Mağarası, -1429 metre) mağaralara, ülkemizin değişik bölgelerinde in, düden, subatan, obruk, oruk, çengirek, tengirek, şingırdak, kuyluç, kestel, zindan, delik, dipsiz, mağaza, kehf gibi isimler de verilmektedir (3 ve 4).

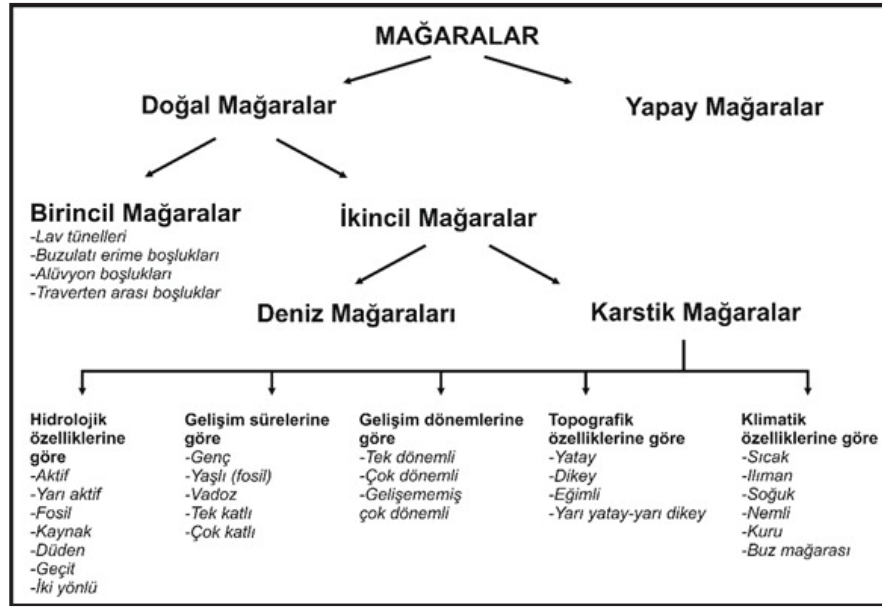
Mağaralara deniz düzeyinin 100-150 metre altından başlayarak topoğrafyanın en yüksek kesimlerine kadar her yerde (deniz tabanı, göl tabanı, ova ve akarsu vadilerinin kenar ve yamaçlarında, yüksek plato ve dağlık alanlarda, birçok yerleşim alanının altında veya yakınında) ve değişik konumlarda (karstik yeraltısuyu kaynaklarının gerisinde, düden veya subatanların devamında, yeraltı nehirleri üzerinde, yüksek dağlık alanlarda derin çatlaklar boyunca) rastlamak mümkündür (Şekil 2) (3 ve 4).



Şekil 2: Mağaralar güncel deniz düzeyi altından başlayarak dağların en yüksek kesimlerine kadar her yerde ve değişik konumlarda gelişebilir a) Kayseri Aladağlar’da kuyu şekilli bir mağaranın girişi, b) Marmaris’de deniz mağarası.

Erimeye uygun karbonatlı, sülfatlı ve klorürlü kayaların yeraltısuları tarafından çözünmeleri sonucu doğal koşullarda gelişen, buna karşılık tuf, marn, kiltası, tebeşir gibi işlenmesi kolay kayaların in-

sanlar tarafından değişik aletlerle kazılmaları yoluyla yapılan mağaralar; doğal ve yapay mağaralar olmak üzere iki ana grupta toplanır (3 ve 4) (Şekil 3).



Şekil 3: Oluşum ve gelişim özelliklerine göre mağaraların sınıflandırılması (3).

“Yapay Mağaralar” insanların barınak, sığınak ve ibadet yeri, mezar, depo, su kanalı, maden galerisi ve tünel açmak için değişik amaçlarla kazdıkları veya oydukları yeraltı boşluklarıdır. İçlerinde insan yaşamına ilişkin prehistorik ve arkeolojik şekil, yapı, atık ve iskelet parçalarının bulunduğu bu sınıf mağaralar ülkemizde çok yaygındır. Kapadokya Bölgesi (Nevşehir, Kırşehir, Aksaray, Niğde, Kayseri) ve komşu illerde (Konya, Karaman, Adana, Ankara, Kırıkkale...) büyük bir bölümü Erken Hristiyanlık Dönemi’nde yapılmaya başlanan, kilometrelerce uzunlukta ve çok katlı karmaşık sistemlerden oluşan yeraltı yerleşkeleri, yapay mağaraların en ilginçlerindedir (Şekil 4). Buna karşılık birçok ilimizde bulunan kaya mezarları, çoğunlukla antik dönemlerde işletilmiş maden galerileri ve su tünelleri de yapay mağaralar arasında yer alırlar.

Ana kaya oluşurken veya oluşuktan sonra, yeraltı suları tarafından bir dizi fiziksel ve kimyasal süreçlerle çözümlenmesine bağlı olarak meydana gelen yeraltı boşluklarına “Doğal Mağara” adı verilir. Yapay mağaralarla kıyaslanamayacak ölçüde çok fazla uzunluk ve derinliğe sahip olan bu grup mağaralar oluştuğu kayalarla olan gelişim dönemi ilişkilerine bağlı olarak; birincil ve ikincil mağaralar olmak üzere iki alt gruba ayrılırlar.



Şekil 4: İnsanların barınak ve sığınak amacıyla işlenmesi kolay kayalarda kazdıkları yapay mağaralara örnekler

İçinde bulunduğu kaya ile birlikte oluşan boşluklar "birincil mağara" olarak adlandırılır. Geniş lav örtüleri içindeki gaz boşluklarında meydana gelen lav tünelleri (veya lav tüpleri), travertenler çökelerken içlerinde oluşan çökeltim boşlukları, çöküntü veya kütle hareketlerinin geliştiği alanlarındaki blok altı boşlukları bu grup mağaraları oluştururlar. Doğu Anadolu Bölgesi'nde geniş alanlarda yüzeylenen bazalt platoları altında gelişmiş kilometrelerce uzunluğa ulaşan lav boşlukları birincil mağaraların en güzel örneklerindedir. Belirgin bir geometri olmayan ve tavanları son derece basık olan lav tünellerinin içlerinde boğucu/zehirli gazlar bulunabilir.

Birincil Mağaraların diğer önemli bir türünü "traverten mağaraları" oluşturur. Gelişim özelliklerine bağlı olarak gözenekli bir dokusu olan travertenlerde suyun çağlayanlar halinde akışı sırasında travertenin ileriye doğru büyümesine (çökeltimine) bağlı olarak, çağlayan altında boşlukları meydana gelir. Türkiye ve dünyada çok bilinen bir traverten sahası olan Antalya Travertenleri'nde bu tür mağaraların güzel örnekleri ile karşılaşmaktadır. Buna karşılık büyük akarsu vadilerinin yamaçlarında açığa çıkan bikarbonatça zengin kaynakların çökelttiği travertenin iki yakayı birleştirecek şekilde büyümesi ve altlarının nehirler tarafından oyulması sonucunda da "yerköprü" olarak adlandırılan mağaralar gelişir. Akarsuyun akış yukarı ve akış aşağı kesimlerindeki uçları açık olan yerköprülerin oluşumlarında karbonat çökeltimi ile nehir tarafından fiziksel aşınım süreçleri aynı anda gerçekleşir. Bu tür bir gelişimde genellikle yerköprü'nün akarsuyun akış aşağısı tarafında çağlayanlar yer alır. Konya'ya bağlı Hadim ilçesi yakınlarındaki Göksu Nehri üzerinde bulunan "Hadim Yerköprü", Ermenek Çayı üzerindeki "Mut Yerköprü" ve Aladağlar yakınlarında Zamantı Nehri üzerinde bulunan üç adet yerköprü bu tür mağaraların en karakteristik örneklerini oluştururlar (Şekil 5).

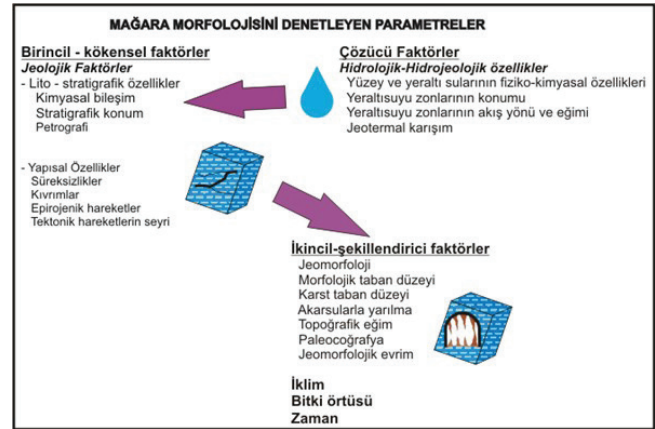
Dünyada en yaygın mağara grubunu, karstik mağaralardan "ikincil mağaralar" oluşturur (Şekil 3). Kilometrelerce uzunluk ve yüzlerce metre derinliğe ulaşabilen bu tür mağaralar; çözünebilir kayaların oluşumlarından sonra, yeraltı suları tarafından bir dizi fiziko-kimyasal süreçlerle

aşındırılması sonucu meydana gelirler. Ülkemizin yaklaşık %40'ını oluşturan karbonatlı ve sülfatlı kayaların yer aldığı bölgelerde (5 ve 6) yaygın olarak gelişen bu tür mağaralara "karstik mağara" adı verilir.



Şekil 5: Traverten çökeltimi ve akarsu aşındırması sonucu gelişen Hadim Yerköprü Mağarası.

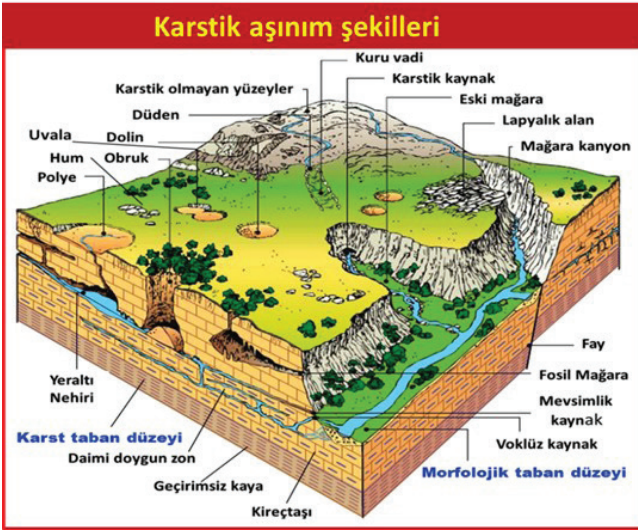
Karstik mağaraların gelişimlerinde karstlaşma genelinde etkili olan faktörlerin tamamının veya büyük bir bölümünün etkisi vardır. Kısa mesafeler dâhilinde büyük değişiklikler gösteren bu faktörlerin baskınlık dereceleri ve karşılıklı etkileşimleri sonucu, fiziksel ve kimyasal gelişim özellikleri değişkenlik gösteren mağaralar gelişerek şekillenirler (Şekil 6).



Şekil 6: Mağaraların gelişiminde belirleyici olan parametreler (3).

Yeryüzünün yaklaşık %15'i erimeye uygun karbonatlı (kireçtaşı, dolomit, mermer) ve sülfatlı (jips) kayalardan oluşmuştur (8). Yeraltında, mağaraların geliştiği alanlar da dâhil edilecek

olursa bu oranın %20'leri geçeceği şüphesizdir. Bu kayaların yerüstü ve yeraltıları tarafından çözümleri sonucu, yeraltında ve yerüstünde ilginç ve karakteristik şekiller meydana gelmektedir (Şekil 7). Büyüklüklerine göre polye (gölova ya da dağarası ova) (Şekil 8), dolin (koyak), uvala, düden (subatan), obruk, lapyta, mağara olarak adlandırılan ve insan yaşamını doğrudan etkileyen bu şekillere "karst topoğrafyası", oluşum süreçlerinin tümüne de "karstlaşma" adı verilir (9). Karstlaşma yeryüzünü oluşturan diğer topoğrafyalardan (akarsu, buzul, rüzgâr, volkan, kıyı jeomorfolojileri) farklı olarak birbirine bağlantılı büyük bir sistem halinde yeraltında da gelişir. Bu nedenle yüzeydeki herhangi bir karstik şekil ile mağaraların gelişimlerini birbirinden ayrı tutmak mümkün değildir.



Şekil 7: Çözülmeye uygun kayalarda yüzeyde ve yeraltında meydana gelen karstik şekiller (7).

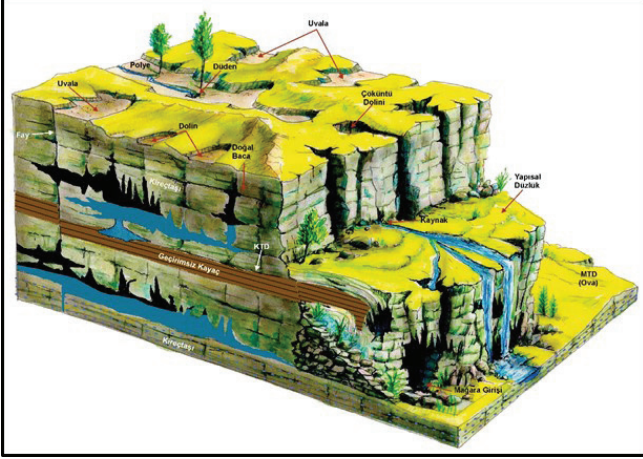


Şekil 8: Makro karstik şekillerden olan polyeler yüzey karstının en karakteristik yapılarından a) Akseki'de Göktepe Polyesi, b) Konya-Derebucak Kemboş Polyesi

Karstlaşmayı başlatan ana etken çözücü olan sudur (Şekil 6). Suların fiziko-kimyasal özellikleri çözünmede birinci derecede belirleyicidir. Özellikle sıcaklık ve çözülmüş karbondioksit (CO_2) içeriği son derece önemlidir. Genelde olağan atmosferik koşullarda sınırlı ölçüde çözünen karbonatlı kayalar CO_2 'ce zengin suların etkisiyle daha kolay ve daha fazla çözünürler. Son derece çözücü olan ve kayaların kırık ve çatlakları boyunca ilerleyen CO_2 'li yeraltısularının yatay ve düşey doğrultudaki hareketleri sınırsız boyutta değildir. Bu suların düşey yönde ulaşacağı derinliğini belirleyen temel faktör çözünebilir kayaların altında bulunan "karst taban düzeyi (KTD)" konumundaki erimesiz kayalar ile bölgenin genel jeomorfolojik gelişimini kontrol eden dağ içi ovası, göl ve deniz düzeyi ile deniz kıyısı boyunca gözlenen tatlısu-tuzlusu temas yüzeyinin meydana getirdiği "jeomorfolojik taban düzeyi (MTD)"dir (3, 10, 11, 12, 13, 14 ve 15). Kıyı bölgelerinde oluşan tatlısu-denizsu temas yüzeyi, karanın iç kesimlerine doğru deniz düzeyinin altına inerek ilerlemektedir. Ülkemizin Akdeniz kıyılarında yaygın olan denizaltı mağaraları bu tür gelişime sahiptirler. Denize doğru yeraltısuyu boşalması durumunda "jeomorfolojik taban düzeyi" olan deniz seviyesinin bir miktar altında karstlaşma oluşabilmektedir.

Topoğrafik yüzey ile karst taban düzeyi arasında gelişen hidrolojik kuşaklar ve bu kuşakların birbirlerine göre bağlı konumları; mağaraların genel gelişim yönlerini, büyüklüklerini (uzunluklarını ve özellikle derinliklerini) ve damlatışların

şekil ve biçimleri ile mağara havasının özelliklerini belirler. Bu düzeyin geçici morfolojik taban düzeyinden derinlerde bulunduğu bölgelerde; gerek havalandırma kuşağı (vadoz zon) ve gerekse daimi doymun zon (freatik zon) ile bu zonun beslenmeye bağlı olarak hem yatay hem de düşey yönde alçalıp-yükseldiği oynama zonu (salınım zonu) gelişir (14 ve 16) (Şekil 11).



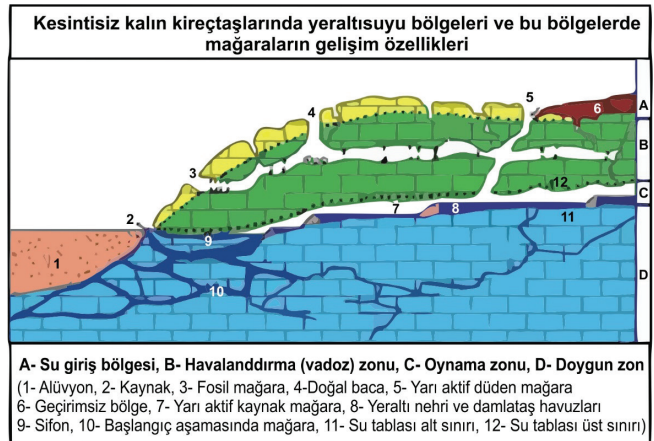
Şekil 9: Çözünmeye uygun kayalar arasında bulunan karst taban düzeyi konumundaki erimesiz kayaların yüzeye olan derinlikleri karstlaşmanın derinliğini belirler. Bu kayaların yüzeye yakın olduğu alanlarda sığ karst gelişir (3, 4 ve 10).

Karst taban düzeyinin yüzeye yakın olduğu alanlarda sığ yüzeysel karst (geniş polyeler veya gölovalar, uvalalar ve büyük dolinler) meydana gelir. Bu sığ karstik bölgelerde derinliği fazla olmayan, düden veya kaynak konumlu yatay veya az eğimli mağaralar yaygınlık gösterir (3, 5, 6, 10, 17 ve 18) (Şekil 9, 10 ve 11).



Şekil 10: Erimesiz kayalar üzerinde sığ karstın karakteristiği olan yatay mağaralar gelişir (Beyyayla Düdeni, Eskişehir).

Daimi doymun zonun su kalınlığını belirleyen diğer önemli bir faktör, geçici karst taban düzeyi ile morfolojik taban düzeyi arasındaki yükselti farkıdır. Genel olarak yüzeyden doymun su zonuna kadar olan havalandırma kuşağında, dikey veya çok eğimli mağaralar gelişir. Bu tip mağaralarda suların kayaları kimyasal olarak çözmesinin yanı sıra, hızlı su akışından dolayı sürtünme ile oluşan fiziksel aşınımı karakterize eden dev kazanlar ve baca şekilli galeriler meydana gelir. Bu bölgelerde genel olarak damlataş oluşumu görülmez. Buna karşılık, geçici karst taban düzeyleri üzerinde gelişen salınım bölgesine (oynama kuşağına) yaklaştıkça hidrolik gradyan azalmakta yeraltısularının hareketi yatay doğrultuya dönüşmektedir. Yeraltısuyu seviyesinin yağışlara bağlı olarak alçalıp-yükseldiği bu salınım bölgesinde, genel olarak uzun ve yatay mağaralar gelişir. Özellikle tavanlarında ve su yüzeylerinin hemen üzerinde karakteristik damlataşların yoğunlaştığı bu tür mağaraların tavan yükseklikleri, oynama zonu nun yüksekliğine bağlı olarak genellikle daha alçak olur (11, 16, 17 ve 20) (Şekil 7, 9, 11 ve 24). Oynama kuşağında gelişen mağaraların bir diğer önemli özelliği seviyesi alçalıp-yükselen yatay akışı karakterize eden damlataş havuzlarının yoğunluğudur. Alçalıp-yükselme arasındaki yükselti farkı damlataş havuzların derinliğini belirler (Şekil 11, 24, 27 ve 28).



Şekil 11: Kesintisiz olarak büyük kalınlıklara ulaşan karstik kayalar içinde gelişen yeraltısuyu bölgeleri ve buralardaki mağaraların gelişim özellikleri (3 ve 4 den değiştirilmiştir).

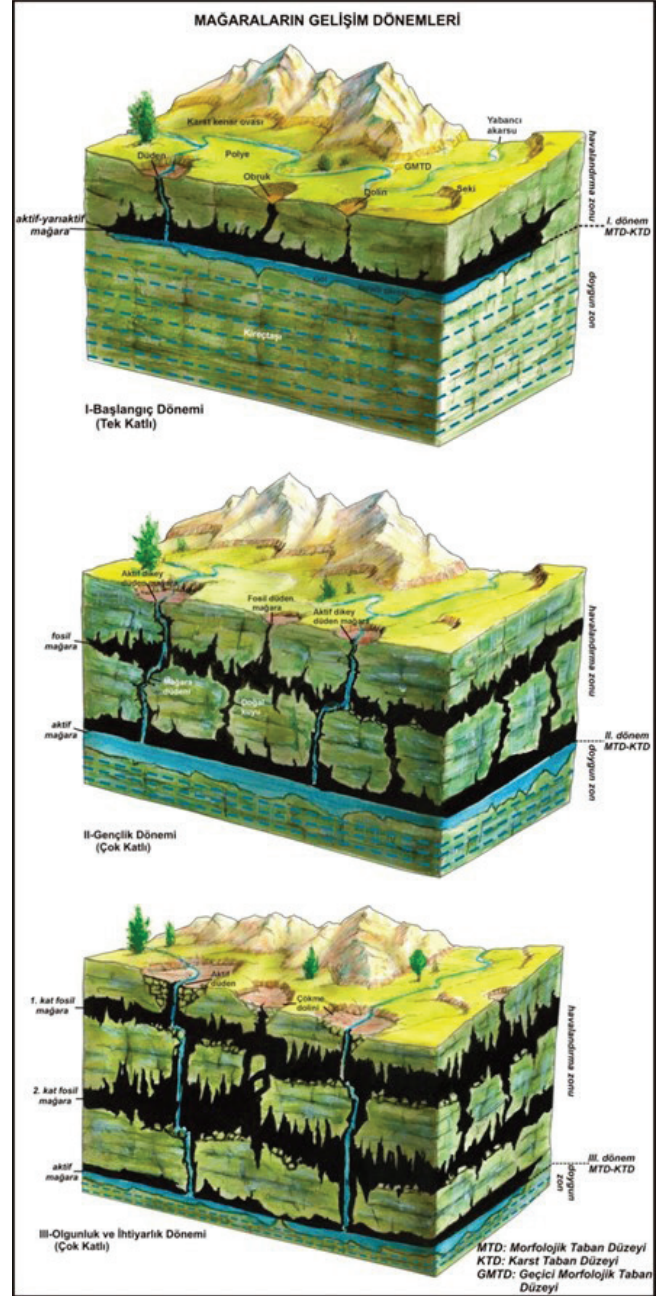
Karst taban düzeyinin, genel morfolojik taban düzeyinin hemen üzerinde bulunduğu bölgeler-

de, genellikle yatay uzanımlı gelişen mağaralar (Şekil 15), tektonik hareketlere bağlı taban düzeyi değişimlerinin yarattığı jeomorfolojik gençleşmelere lito-stratigrafik özellikleri nedeniyle ayak uyduramadıklarından, tek dönemli gelişim özelliği gösteren şekil ve yapılar sahiptirler (3, 10 ve 21) (Şekil 9 ve 10). Gelişimlerinde tektonik hareketlere bağlı yükselimlerden çok iklim değişikliklerinin belirleyici olduğu bu tip bölgelerde bulunan mağaralarda normal gelişimin karakteristiği olan derine büyümenin tersine, tavan çökmelerine bağlı olarak, yukarı doğru gelişim başlar. Gelişimlerinin "ihtiyarlık aşaması" nı karakterize eden bu dönemle birlikte mağaralar parçalanarak yok olurlar.

Aralarında karst taban düzeyini oluşturan geçirimsiz birimlerin bulunmadığı kalın karbonatlı kayalar içinde yeraltısuları çok derinlere kadar ilerleyebilirse de bu hareket sınırsız değildir. Düşey doğrultudaki su hareketini, jeomorfolojik gelişimi karakterize eden geçici morfolojik taban düzeyi konumunda olan göl, dağ içi ova ve nihai olarak deniz düzeyi belirler. Karstik gelişim, deniz seviyesinde tektonik ve/veya doğal deniz seviyesi değişimi hareketlerine bağlı herhangi bir değişiklik olmadığı sürece sınırsız ve kesintisiz olarak devam eder. Bu tür bölgelerde çok dönemli-çok kökenli gelişimi karakterize eden şekil ve yapıların oluştuğu derin-yoğun karst (holo karst) meydana gelir. Yüzey ve yeraltısında gelişen ve birbirleriyle bağlantılı büyük bir sistem oluşturan bu karstlaşmanın en karakteristik şeklini çok katlı veya üst üste mağaralar oluşturur. Büyük derinlik ve uzunluğa sahip olan bu mağaraların yatay ve düşey yöndeki gelişimlerini morfolojik taban düzeyleri ve bunların değişimleri (alçalma veya yükselme) kontrol eder (Şekil 11, 12 ve 13).

Aralarında çözünmeyen (erimesiz) birimlerin bulunmadığı kalın karbonatlı kayaların bulunduğu karstik alanlarda yeraltına giren sular, bölgenin lito-stratigrafik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak havalandırma kuşağı boyunca düşey yönde yüksek akış hızı ile tipik olan türbülanslı akımla ilerlerler. Bu sırada geçtikleri bölgelerdeki kayaların yarık ve çatlaklarını fiziksel ve kimyasal süreçlerin denetiminde aşındırarak genişletirler. Mağara gelişiminin "başlangıç evresi" ni oluşturan bu aşamada kuyu şekilli dikey mağaralar ge-

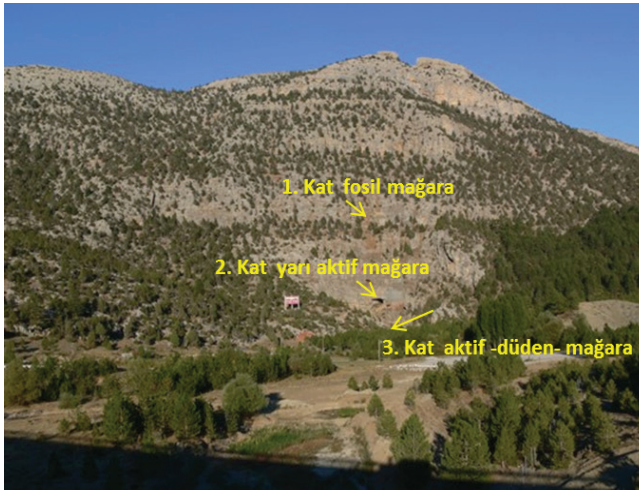
lişir (Şekil 12). Bu tür bir gelişim morfolojik taban düzeyine kadar devam eder. Havalandırma kuşağının sona erip daimi doymun kuşağın başladığı bölgede yeraltısularının düşey yöndeki hareketi sona ererken, düşük akış hızı ile tipik olan daha sakin ve laminer karakterli yatay akım başlar.



Şekil 12: Kalın karbonatlı kayalar içinde kesintisiz karstlaşma ve mağaraların gelişim aşamaları (3, 9 ve 10).

Mevsimplere bağlı olarak yeraltısuyu seviyesinin değiştiği daimi doymun kuşağın üst bölümünü oluşturan oynama bölgesinde su hareketi derinlere nazaran daha hızlıdır. Yeraltısuyu hareketinin hem yatay (laminer akım), hem de düşey (türbül-

lanslı akım) yönde geliştiği oynama kuşağı, uzun yatay mağaraların geliştiği önemli yeraltısuyu bölgesidir. Mağaranın uzunluğu, oynama zonu- nun genişliği kadar; morfolojik taban düzeyinin duraylılığına da bağlıdır. Bu düzeyin duraylılığını ise tektonik hareketler ile deniz düzeyi değişimleri belirler. Bölge tektonik bakımdan sakin olduğu sürece mağara gelişimi de o kadar uzun süre devam eder ve sonuçta da sistemler halinde, büyük mağaralar gelişme olanağı bulur. Mağaranın tavan yüksekliğini ise oynama kuşağının kalınlığı (yeraltısuyu seviyesinin en alçak ve en yüksek olduğu düzeyler arasındaki yükseklik farkı) belirler. Bu bölgede bulunan mağaraların tavanlarında zengin damlataşları ve tabanda ise birbiri arkasına oluşmuş damlataş havuzları gelişme olanağı bulur. Buna karşılık, daha derinlerde bulunan doygun zonda ise mağara uzanımına dik enine kesitli elips şekilli freatik tüpler (veya boşluklar) gelişir. Damlataş çökeliminin gelişemeyeceği bu freatik tüpler, mağara gelişiminin “başlangıç aşaması”nı karakterize ederler. Bölgenin tektonik hareketlerle yükselmesi ve buna bağlı olarak doygun zonun alçalması durumunda elips şekilli bu ilksel boşluklar suya batık (doygun) koşullardan kurtulup, havalandırma kuşağı koşullarına geçer ve boşluklar içinde damlataş çökelimi başlar (Şekil 11 ve 12).



Şekil 13: Kalın kireçtaşları içinde bölgesel yükselme bağlı olarak çok katlı mağaralar gelişir (Tınaztepe Mağaralar Sistemi, Seydişehir-Konya).

Ülkemiz gibi tektonik hareketlerin yoğun olarak yaşandığı bölgelerde morfolojik taban düze-

yinin ya da buna bağlı olarak yeraltısuyuna doygun kuşakların, konumlarını uzun süre koruması mümkün değildir. Jeomorfolojide “gençleşme” olarak adlandırılan ve taban düzeyinin alçalmasına bağlı olarak yüzey ve yeraltısularının aşındırma gücünün yeniden arttığı bu yeni aşamada, mağara gelişimi farklı bir seyir izler (çok dönemli gelişim). Birinci taban düzeyine göre oluşan mağaralar havalandırma kuşağında kalırlar. Yarı aktif/fosil konumda olan ve damlataş çökeliminin başladığı bu yeni aşamada ikinci kat mağaralar gelişmeye başlar (Şekil 12, 13 ve 14). Bu farklı dönemlerde oluşmuş mağara katları arasındaki yükseklik miktarı düşey tektonik hareketlerin atım miktarına bağlıdır. Başka bir deyişle, herhangi bir karstik bölgede meydana gelen tektonik hareketlere bağlı olarak oluşan taban düzeyi sayısı kadar mağara katı meydana gelir (16). Bu tür bir gelişim bölgenin aşınarak tamamen düzleşerek, aşınım yüzeylerinin geliştiği olgunluk aşamasına kadar devam edebilir. Jeomorfolojik olarak “ihtiyarlık dönemi”nin yaşandığı bu en son aşamada fosilleşmiş, tek bir mağara katı görülür.

	Gençlik dönemi (freatik kuşak)	Yeniden gençleşme (freatik + vadoz kuşak)	Olgunluk (vadoz kuşak)	Ihtiyarlık (vadoz kuşak)	
Som kireçtaşı					I
İnce tabakalı kireçtaşı					II
Eğimli kireçtaşı					III
Eğimli kireçtaşı					IV
Dikleşmiş kireçtaşı					V
Bol çatlaklı kireçtaşı					VI
	a	b	c	d	

Şekil 14: Mağaraların gelişim dönemleri ile içinde buldukları kayaların tabaka özelliklerini ilişkilendiren tipik enine kesitler (4, 9 ve 21).



Şekil 15: Erimesiz kayalar içinde gelişen sığ karstın karakteristiği olan ve içlerinde yeraltı ırmakları ve göller bulunan yatay uzanımlı mağaralar a) Ayvaini Mağarası, Bursa-Mustafakemalpaşa b) İnsuyu Mağarası, Burdur.

Mağaraların gelişiminde etkili olan faktörlerin baskınlık dereceleri ve birbiriyle olan ilişkileri ile bunların zaman içindeki değişimleri, mağaraların enine kesit ve boyuna profillerinin morfometrilerinde son derece belirleyici olurlar (Şekil 14). Herhangi bir mağaranın başlangıç evresinden ihtiyarlık aşamasına kadar geçirdiği gelişim dönemlerini ve mağaranın oluştuğu kayaların tabakalanma özelliklerini, mağaraların enine kesitlerinde görmek mümkündür (Şekil 14, 16 ve 17).

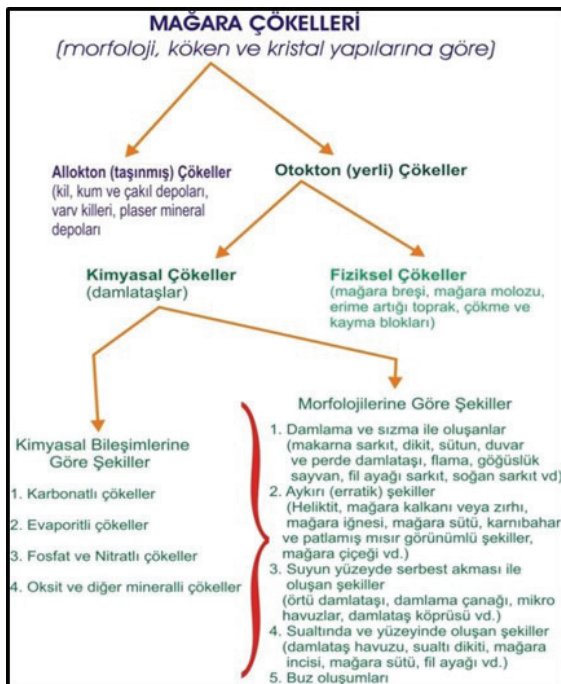


Şekil 16: Mağaraların enine kesitleri kayaların lito-stratigrafik ve yapısal özellikleri ile mağaraların gelişim aşamalarını karakterize eden profillere sahiptirler a) Düzce Çamlı Mağara, b) Sinop İnalıtı Mağarası



Şekil 17: Karstik kayaların tabakalanma özellikleri mağaraların enine ve boyuna gelişimlerini belirlerler. a) Yatay tabakalanma içinde gelişmiş mağaralar, Ermenek Çayı kuzey yamacı, b) konglomeralar içinde gelişmiş Konya-İmrenler Mağaraları

Mağaralar tekdüze boşluklar değildirler. İçleri değişik şekil, boyut ve renkte, başlangıç evresinden fosilleşme aşamalarına kadar farklı gelişim dönemlerinde meydana gelmiş çökellerle kaplıdır. Mağara ekosisteminin en önemli ve kırılgan unsurunu meydana getiren bu çökeller mağara gelişiminin ikinci döneminde (gençlik aşaması) oluşmaya başlarlar (3, 17 ve 19). Sürekli doygun su kuşağında (D zonu) bulunan bölgelerde suların kayaları çözmesiyle oluşan ilksel mağara boşlukları, tektonik hareketlerle bölgenin yükselmesi, deniz düzeyi veya iklimdeki değişiklikler nedeniyle bütünüyle veya kısmen yeraltısuyuna doygun zonun dışında kalarak havalandırma veya yeraltısuyu tablası salınım kuşağına geçerler. Bu aşamada mağara içi çökel oluşumu başlar. Çökelen malzemelerin boyut, cins, renk ve kimyasal özellikleri, mağara boşluğunun büyüklüğü, mağara içi ve mağara dışının iklimi, yeraltısuyunun fiziko-kimyasal özellikleri ile yeraltısularının geçtikleri bölgedeki kayaların kimyasal bileşimine bağlı olarak değişiklik gösterirler (Şekil 18).

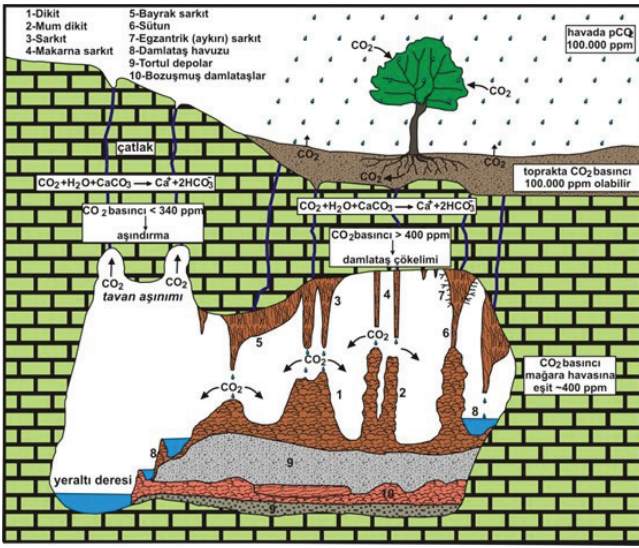


Şekil 18: Mağara çökellerinin sınıflandırılması (3 ve 17).

Mağara çökelleri oluşum ve gelişim özellikleri ile çökdikleri yerlere göre; fiziksel ve kimyasal çökeller olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (3 ve 17) (Şekil 18). Yüzeydeki düdenler (subatanlar) veya yeraltının değişik bölgelerinden gelen suların beraberlerinde mağaraya getirdikleri çökeller ile mağara içindeki fiziksel parçalanmalar sonucu oluşan çökelere "fiziksel çökeller" denir. Kil depoları, kum ve çakıl depoları, mağara molozu, çökme ve kayma blokları, birikim toprakları ile mağaradaki geçmiş yaşamı karakterize eden kültür toprakları, karakteristik fiziksel çökellerdir.

İnsanın hayal gücünü zorlayan şekil, boyut, renk ve desenlerde olabilen kimyasal çökeller; mağaraların gerçek görsel zenginliklerini oluştururlar (Şekil 1, 19 ve 20). Damlatış veya akmatışı olarak adlandırılan bu çökeller; geçtikleri bölgelerdeki kayaları eritmeleri sonucu, çoğunlukla karbonat ve sülfatlar ile yer yer de fosfat, nitrat ve oksitlerce doygun olan yeraltısularının, bu yüklerini mağaraların tavan, duvar ve tabanında çö-

keltmeleri sonucu meydana gelirler (Şekil 1, 15, 20, 22, 23, 24, 25, 26 ve 27). Ancak her mağarada damlataş çökelişi gerçekleşmez. Kimyasal mağara çökellerinin büyük bir bölümü karbonatlı ve yer yer de sülfatlı çökellerdir. Mağaraya ulaşan yeraltısularının içerdiği karbondioksit miktarının, mağara atmosferi ile kimyasal dengedeki bir suyun içerebileceği karbondioksit miktarının üzerinde olması durumunda fazla karbondioksit suyun bünyesinden atılır ve karbonat minerali içeren damlataş (ya da akmataşı) çökelim olur. Tersi durumda ise özellikle mağara tavanlarında, CO₂ aşınma yapıları öne çıkar (Şekil 19).



Şekil 19: Damlataşların oluşum ve gelişimlerinde mağaraya gelen suların CO₂ basıncı ile mağaradaki suyun dengede bulunduğu CO₂ basıncı arasındaki oran belirleyicidir. Mağaradaki suyun dengede bulunduğu CO₂ basıncı mağaraya gelen suyun CO₂ basıncından düşük ise mağaraya gelen su, damlataş/akmataşı çökeltir (şeklin sağ bölümü). Aksi durumda ise, mağaraya gelen su özellikle tavanda çözünmeye (CO₂ korozyonu) neden olur (şeklin sol bölümü).

Biçim, boyut, renk, desen, konum ve yoğunlukları mağaradan mağaraya değişiklikler gösteren kimyasal çökeller yeraltısularının mağaraya giriş şekli, mağaradaki hareketleri ve damlataşların morfolojilerine göre beş gruba ayrılırlar (Şekil 18) (3 ve 17).

Bu gruplar; 1) damlama ve sızma ile oluşan genellikle sarkıt ya da dikit şeklindeki çökelleri, 2) çok farklı yönlerde gelişim gösteren aykırı (erratik)

çökelleri, 3) suyun mağara yüzeyindeki yaygın akışı sırasında oluşan çökelleri, 4) su altında ya da yüzeyinde oluşan çökelleri ve 5) buz çökellerini içermektedir.



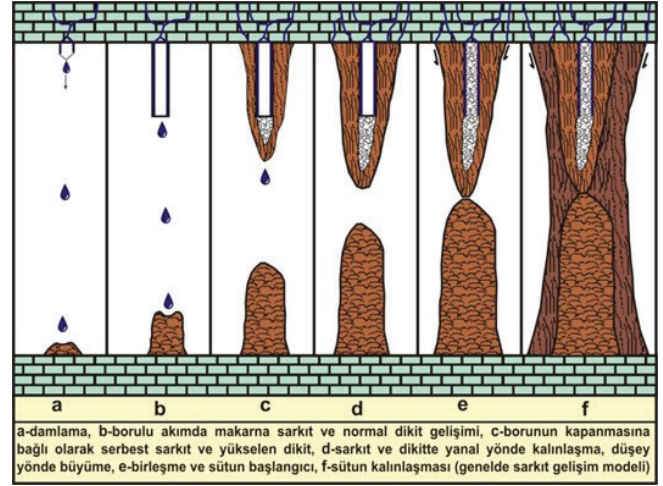
Şekil 20: Mağaralara karakteristiğini veren oluşum ve gelişim özellikleri farklı damlataşlar a) Zonguldak Gökgöl Mağarası, b) Kırklareli Dupnisa Mağarası.

Yoğun karbonat yüklü yeraltısularının mağara boşluklarına ulaştıklarında kayaların çatlak sistemi ve tabakalanma özelliklerine bağlı olarak damlalar şeklinde akmaları veya duvardan sızmaları ile damlama ve sızma ile oluşan damlataşları meydana gelir. Sarkıt, dikit, sütun, duvar damlataşları, göğüslük, sayvan, soğan sarkıt, fil ayağı sarkıt ve mantar tipindeki dikitler bu grupta yer alırlar.

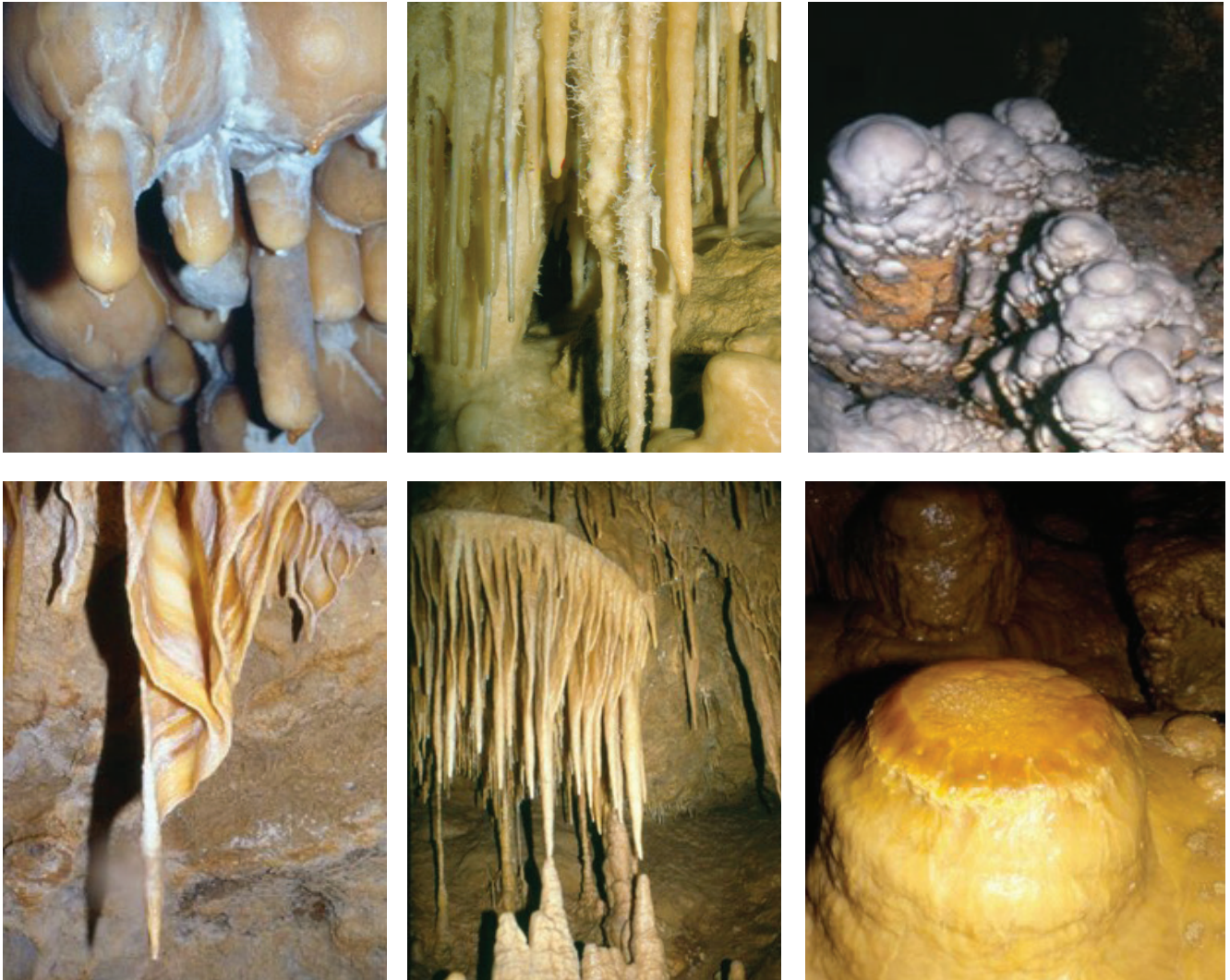
Mağaraya ulaşan suların en yaygın olarak oluşturduğu çökel tipi sarkıtlardır (Şekil 21, 22, 23). Tavandaki çatlaklardan damlayan sulardan bir kısım karbondioksitin serbest hale geçmesiyle, tavanda ince bir yarı küre şeklinde karbonat çökeler. Başlangıçta içi boş tüpler şeklinde gelişen saydam ve son derece kırılğan olan ve sarkıt gelişiminin başlangıcını oluşturan bu çökelere

“makarna sarkıt” adı verilir. Yerçekimine bağlı olarak düşey yönde gelişen makarna sarkıtlarının içindeki kanalın tıkanması veya su akımında küçük bir değişikliğin olması durumunda sarkıt gelişiminin ikinci evresi başlar (Şekil 21). Bu aşamada damlalar çökelin içindeki boru şeklindeki boşluktan değil dış yüzünden akarlar. Böylece dikey ve yanal yönde çökelim birlikte gerçekleşir. Dış yüzeylerinde genellikle yüzeye paralel olarak gelişen büyüme tabakalarının enine kesitleri iç içe halkalar şeklindedir. Genel olarak 10-15 metre uzunluk ve 2-4 metre çapa kadar ulaşabilen sarkıtlar değişik şekillerde (boru, havuç, soğan, fil ayağı gibi) olabilirler (Şekil 22, 23 ve 24). Tavan ve yan duvarlardan damlayan veya sızan suların meydana getirdiği başka bir çökel tipini “duvar damlataşları” oluşturur. Kaya tabakalarının duvar veya tavana doğru eğimli olduğu mağaralarda suların sızması veya akması ile düşey doğrultuda

gelişen duvar damlataşları şekillerine göre perde damlataşı ve bayrak damlataşı olarak adlandırılırlar.



Şekil 21: Sarkıt, dikit ve damlataş sütunlarının gelişim aşamaları.

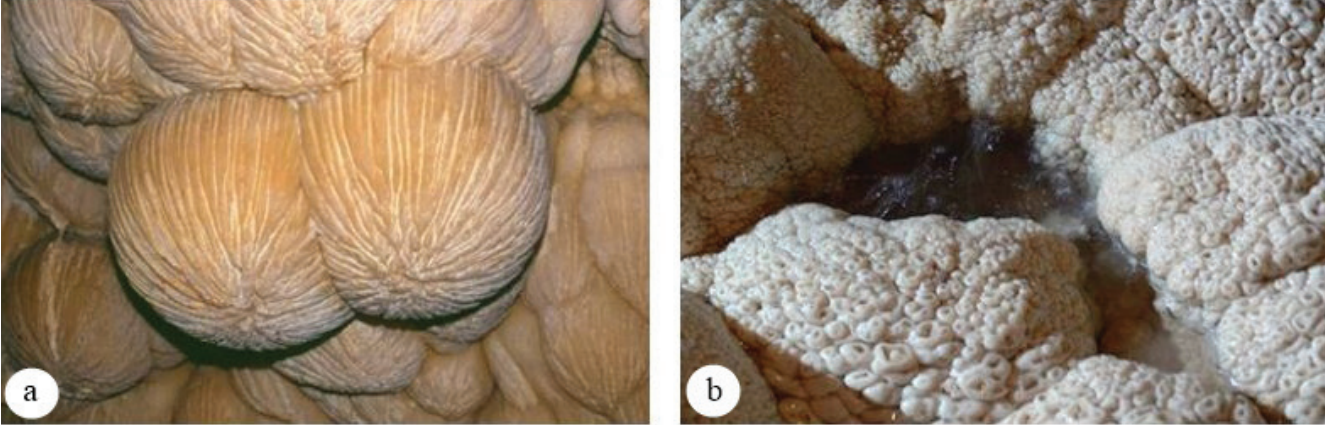


Şekil 22: Oluşum ve gelişimleri farklı çeşitli tipteki damlataşlar.



Şekil 23: Sarkıt, dikit ve sütunlar.

Mağara tavanından damlayan suların mağara tabanında meydana getirdiği yukarı yönlü gelişen damlataş çökellerine “dikit” adı verilir. Genel olarak bir sarkıttan süzülerek akan sular; buharlaşma ve CO₂ kaybı nedeniyle, tabana düştükleri noktalarda da çökeliyorlar. Damlama sonucu sızarak yayılan suların damlama noktası çevresindeki karbonat çökelişini üst üste devam ederek dikitleri oluşturur (Şekil 21). Dikitler, sarkıtlara oranla daha büyük olmalarına karşın merkezi tüplerden yoksundurlar. Ayrıca sarkıtlar gibi ışınal büyümeyizler. Sarkıt ve dikitler gelişimlerini sürdürdüklerinde belirli bir zaman sonra birleşerek “damlataş sütunu” veya “mağara kolonları”nı oluştururlar (Şekil 1, 19 ve 23). Bu tip çökellerin çapları yer yer 10 metre ya da daha fazla olabilir. Mağaranın tabanından tavanına uzanan sütunların merkezlerinin üst bölümleri sarkıt, alt bölümleri ise dikit yapısındadır (Şekil 21). Bununla birlikte, birleşmeden sonra tüm yüzeyi tavandan sızan veya damlayan suların etkisinde kalır ve sarkıt gelişimine döner.



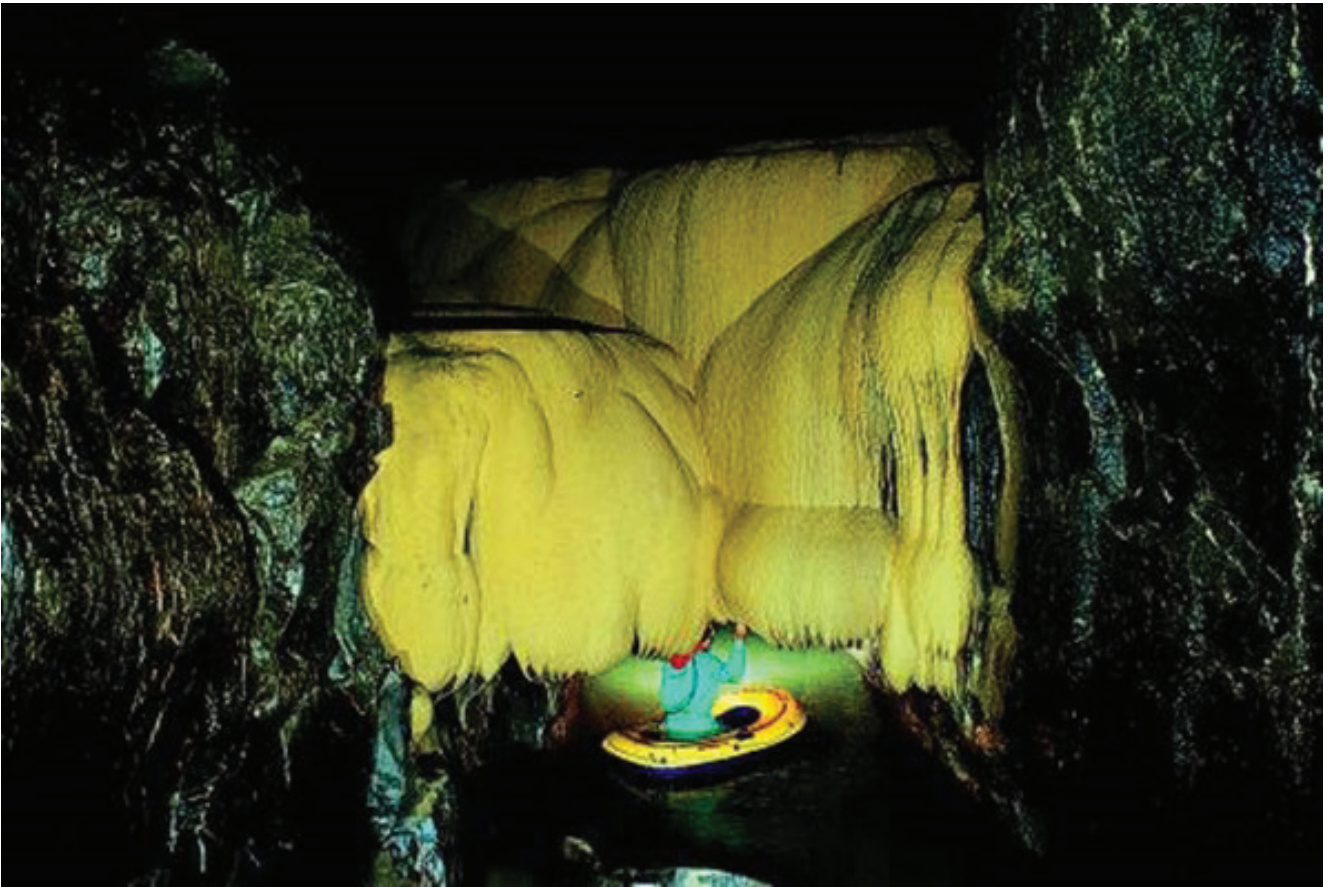
Şekil 24: Solda soğan sarkıtlar (Tokat, Ballica Mağarası), sağda termal yeraltısuyundaki sülfürle beslenen bakterilerin etkisi ile gelişmiş damlataşlar (Denizli, Kaklık Mağarası).

Mağaranın tavanından damlayan veya yan duvarlardan sızarak tabanda yayılan suların oluşturduğu çökeller, bazı mağaralarda geniş yer kaplarlar. Bunlardan en önemlisi “örtü damlataşı” veya “akmataşı”dır. Su akışının yavaş olduğu mağaraların tabanında çökeltme düzlemine dik yönde gelişen kalsit kristallerinin yan yana gelmesi ile belirgin bir kabuk şeklinde örtü damlataşları gelişir. Akım hızı arttıkça bunların kalınlığı ve yanal devamlılıkları da azalır.

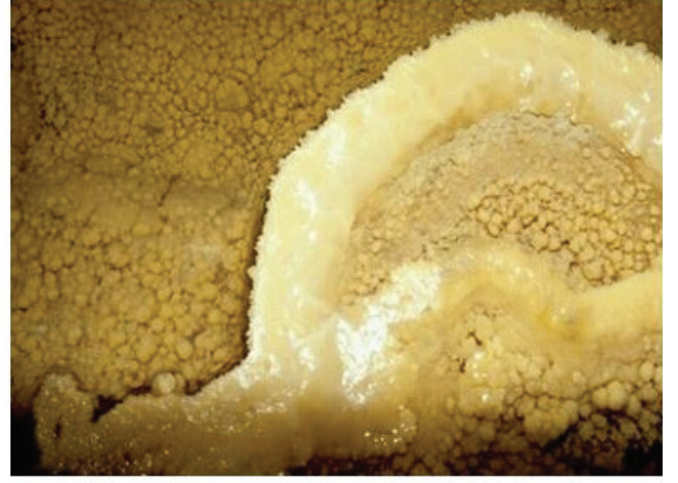


Şekil 25: Mağara tabanında gelişen farklı damlataşlar.

Taban eğimi düşük mağaralardaki durgun veya çalkantılı gölcükler ile hafif akışlı ve su derinliği az olan yeraltı derelerinin tabanında, yan duvarlarda ve su düzeyindeki taşma kenarlarında meydana gelen karbonat çökelleri de mağaralarda sıkça görülen çökel tiplerini oluştururlar. Bu şekillerden “damlataş havuzları” içlerinde sürekli ya da mevsimlik yeraltı deresi barındıran mağaralarda gelişirler. Derinlikleri, birkaç santimetreden 4-5 metreye kadar ulaşabilen havuzların genişlikleri ise mağara genişliğine bağlı olarak 40-50 cm den 15-20 metreye ulaşabilmektedir (Şekil 27 ve 28). Su altında ve su yüzeyinde oluşan çökellerin diğer önemli tiplerini mağara incisi, mağara taşı, mağara sütü veya mağara tufü, akıntı taşları, mağara köprüleri, yüzer kalsit veya kalsit zarı gibi çökeller oluşturur (Şekil 25, 26, 28).



Şekil 26: Mağarada damlataş köprüsü (Zonguldak, Cumayanı Mağarası).



Şekil 27: Genellikle salınım zonu mağaralarında meydana gelen değişik büyüklükteki damlataş havuzları
a) Antalya-Akseki, Altınbeşik Mağarası b) Karaman-Taşkale, İncesu Mağarası



Şekil 28: Mikro damlataş havuzları ve bunların içinde gelişmiş mağara incileri.

Yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı biçimde yüzeyden derinlere süzülen sular tarafından gerçekleştirilen çözünme "epijenik" (yüzey kökenli) karstlaşma olarak adlandırılırken, derinlerden yükselen çözeltilerin neden olduğu çözünme "hipojenik" (derin kökenli) karstlaşma olarak adlandırılmaktadır. Son yıllarda ülkemiz de dahil olmak üzere dünyanın çeşitli bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen veriler karstlaşmaya bağlı boşlukların oluşmasında yer kabuğunun derin bölümlerinden yükselen asidik çözeltilerin de etkili olduğunu göstermiştir. Hipojenik karstlaşma ve buna bağlı mağara oluşumu çoğunlukla jeotermal açıdan aktif bölgelerde derinlerden yükselen karbondioksitce zengin ve sıcak suyun yüzeye yakın kesimlerde karbonatlı mineralleri çözmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Magma ve kabuktaki radyoaktif bozunmadan kaynaklanan ısı ile ısıtılan sular, oluşan düşük yoğunluk nedeniyle yer yüzeyine yükselmekte ve akış yolları boyunca, derinlerden yüzeye doğru çözünmeye neden olmaktadır. Mevcut veriler Lechuguilla Mağarası ve Carlsbad Mağarası (ABD) gibi büyük mağara sistemlerinin ve ülkemizde Konya Kapalı Havzasında yaygın biçimde karşılaşılan ve "obruk" olarak anılan karstik çökme yapılarının hipojenik karstlaşma ürünü olduğunu göstermektedir. Hipojenik karstlaşma artezyen nitelikli soğuk yeraltısularının yüzeye yükselmesi sonucunda jips gibi eriyebilir minerallerin çözünmesi sonucunda da oluşabilmektedir. Hipojenik karstlaşma sonucu oluşan mağaralar ve bunlar içindeki çökeller devasa büyüklüklere ulaşabilmektedir.

Değinilen Belgeler

- (1) Bayarı, S., ve Özyurt, N., 2005. Mağara Çökellerinden Geçmiş Ortam Koşullarının Belirlenmesi. Ulusal Mağara Günleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 19-29, Beyşehir.
- (2) Taşkıran, H., 2003. Mağaraların Prehistorik Arkeoloji açısından önemi. Mağara Ekosisteminin Türkiye'de Korunması ve Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 75-82, Alanya.
- (3) Nazik, L., 2005. Mağara Nedir, Nasıl Oluşur? Ulusal Mağara Günleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 1-18, Beyşehir.
- (4) Nazik, L., 2008. Mağaraların Araştırılma, Koruma ve Kullanım İlkeleri. MTA Yayını, Yerbilimleri ve Kültür Serisi, No.2, 118 s., Ankara.
- (5) Nazik, L. ve Tuncer, K., (2010). Türkiye karst morfolojisinin bölgesel özellikleri. Türk Speleoloji Dergisi Sayı 1, 9-17.
- (6) Nazik, L. ve Poyraz, M., 2017. Türkiye karst jeomorfolojisi genelini karakterize eden bir bölge: Orta Anadolu Platoları karst kuşağı. Türk Coğrafya Dergisi, sayı 68, s. 43-56.
- (7) Nazik, L., 2016. Karst Jeomorfolojisi Araştırma Yöntemleri. Fiziki Coğrafyada Araştırma Yöntemleri ve Teknikler, Editörler: N. Özgen ve S. Karadoğan, Pegem Akademi Yayını, s. 123-147, Ankara.
- (8) Jennings, J., N., 1985. Karst Geomorphology. 2.nd ed-Blackwell.
- (9) Erinç, S., 2010. Jeomorfoloji-II. Güncelleştirilmiş 3. Baskı, DER Yayınları, İstanbul.
- (10) Bauer, E. W., 1971. The Mysterious World of Caves. Collins Publishers, Franklin Watts, Inc., New York.
- (11) Ford, D., Williams, P., 2007. Karst Geomorphology and Hydrology. Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England and Hall.
- (12) Gillieson, D., 1996. Caves: Processes, Development and Management. Blackwell Publishers Ltd. UK.
- (13) Klimchouk, A., 2007. Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. National Cave and Karst Research Institute Special Paper No.1, Carlsbad, NM, USA, 106 pp

- (14) Moore, G. W. and Sullivan, N., 1997. Speleology-Caves and the Cave Environment. St. Louis, Cave Books, 3rd. ed., 176 p.
- (15) Sweeting, M., M., 1973. Karst Landforms. Columbia University Press, New York.
- (16) Nazik, L., 1989. Mağara Morfolojisinin Belirlediği Jeolojik-Jeomorfolojik ve Ekolojik Özellikler. Jeomorfoloji Dergisi 17: 53-62.
- (17) Ford, T. D. ve Cullingford, C. H. D., 1976. The Science of Speleology. Academic Pres Inc., London.
- (18) Palmer, A., N., 2000. Hydrogeologic Control of Cave Patterns. Speleogenesis Evolution of Karst Aquifers. In Klimchouk, A., Ford, D. C., Palmer, A., N. and Dreybrodt, W., eds. Publ. By the Mat. Spel. Soc., Inc., (77-90) Hunsville, Alabama.
- (19) Hill, C., Forti, P., 1997. Cave minerals of the World (second edition). Published by the National Speleological Society, Alabama, USA.
- (20) Klimchouk, A.B., Ford, D., Palmer, A. and Dreybrodt, W. (Eds.), 2000. Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. National Speleological Society, Huntsville, 527 pp
- (21) Bögli, A., 1980. Karsthydrology and Physical Speleology. Springer Verlag, Berlin.