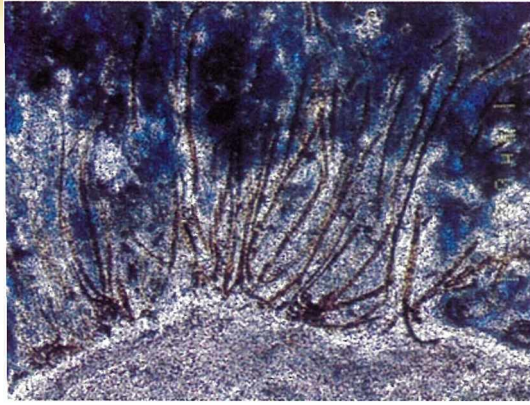


# Mikroplar Her Yerde



Opalimsi silisin üzerinde kabuk oluşturarak çökelmekte olduğu dikine büyüyen Calothrix (mavi-yeşil alg topluluğu) örtüsünün normal ışıkta ince-kesitteki görüntüsü

*Oldukça geniş ve çeşitli mikrop topluluklarından oluşan biyolojik sistemler, buldukları ortamların ekolojik yapısına iyi uyum sağlayabildikleri gibi, ortamın çevresel koşullarını da belirleyebilmektedirler. Mikropların yaşam döngülerinin ve çevreleriyle ilişkilerinin incelenmesi, yerküre ve yerbilimleri hakkındaki bilgilerimizi arttıracak yeni araştırma alanlarıdır.*

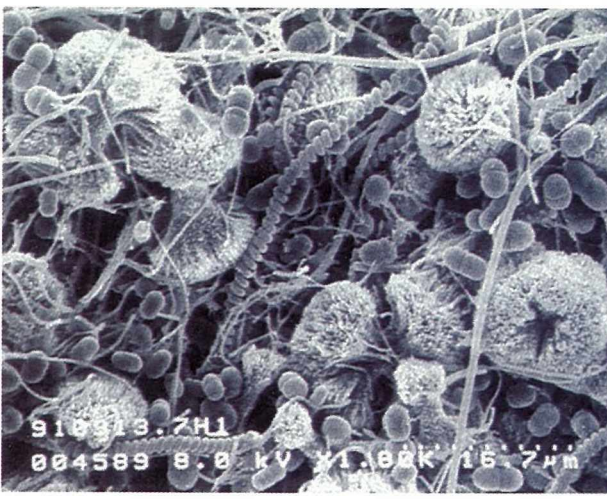
Çeviri: C. Serdar Bayarı

HÜ Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Jeologlar dünyaya bakış açılarını mikropları da içerecek biçimde değiştiriyorlar. Geçtiğimiz birkaç on yıl içerisinde dünyadaki ilk canlıların yaşı hakkındaki tartışmalar 2.2 milyar yaşındaki Ediacara faunasından 3.55 milyar yıl kadar değişti. Günümüzde ise başta Mars olmak üzere diğer gezegenlerin de geçmişin derinliklerinde değişik yaşam biçimlerini barındırması olabileceği düşünülüyor. Mikropların, Antarktika'dan çöller, granitlerin 3 km'ye varan derinlikteki çatlaklarına kadar değişik ortamlarda yaşayabildikleri; ayrıca oluşmakta olan kıta kenarlarındaki çok sayıda canlı barındıran hidrotermal bacalarda gıda zincirinin temelini oluşturdukları da biliniyor. Mikropların yaşam döngülerinin ve çevreleriyle ilişkilerinin incelenmesi, yerküre ve yerbilimleri hakkındaki bilgilerimizi arttıracak, tamamıyla yeni araştırma alanları olarak ortaya çıkıyor.

Bu yaşam biçimlerinin her yerde var olması, mikropların yerkürenin oksijenli atmosferinin oluşturulmasında ve onları içeren mineral ve kayalardaki kimyasal elementlerin çoğunun dağılım ve kompozisyonunun belirlenmesinde temel rol oynamalarının mümkün olduğunu gösteriyor. Gerçekte yerküre, mikropların faaliyetlerinin izlerini, biz yer bilimcilerin daha önce sandığımızdan çok daha fazla oranda taşımaktadır. Bu başlıca kader belirleyiciler hakkında önemli soruları sormaya yeni başlıyoruz.

Mikroplar çok küçük (en büyükleri bir kaç nanometre,  $10^{-12}$ m) olmalarına karşın sayıca çok fazla olmaları nedeniyle muazzam bağıl yüzey alanına sahiptirler. Bu canlılar herhangi bir ortamda bazen tehlikeli olabilecek derecede aşırı nüfus yoğunluğuna ulaşabilecek biçimde besin kullanma ve üreme için gerekli tüm biyolojik mekanizmalara sahiptirler. Mikropların yaşayabildiği yer,  $113^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcak, suyun donma derecesi altında soğuk, ya da yer yüzeyinin kilometrelerce derinliklerinde bir ortam olabilir. Günümüze değin tanımlanan ve hala tanımlanacak çok sayıda mikrobun olması, bizleri bu canlıların inorganik dünyamızın temel yapıtaşları olan



Mammoth Sıcaksu Kaynakları, Tellow Stone Ulusal Parkı'nda aragonit çökelten sülfürlü kaynaklarından alınan bir örnekte siyanobakteri (çn. Cyanobacteria: mavı-yeşil alg) topluluğunun elektron mikroskop fotoğrafı. Mavı-yeşil alg türleri: *Spirulina* (helezonumsu iplikçikler), *Oscillatoria* (daha büyük, düz iplikçikler), *Synechococcus* (büyük topaklar). Aragonitler iri topaklar üzerinde toplanmış, küçük iğne şekilli kristaller olarak görülmektedir. Ölçek fotoğraf üzerinde belirtilmiştir.

minerallerin oluşumundaki ve değişimindeki rollerini sorgulamaya itiyor.

Biyolojik ve inorganik alanlar arasındaki bu çarpıcı ilişkiye artarak yönelen ilgi, 1997 yılındaki Ulusal Jeoloji Kongrelerinden sonra düzenlenen iki ayrı kısa kursta da dile getirildi.

Mayıs ayında Kanada Mineraloji Topluluğu, Kanada Jeoloji Kurumu'nun Ottawa'daki toplantıları kapsamında "Biyolojik Mineral Etkileşimleri" adlı bir kısa kurs düzenledi. Amerika Mineraloji Topluluğu ise Ekim ayında Amerika Jeoloji Topluluğu'nun Salt Lake'deki kongresi öncesinde "Jeomikrobiyoloji, Mikroplar ve Mineraller Arası Etkileşimler" adlı bir kurs gerçekleştirdi.

Bu toplantılarda sunulan raporlarda mikropların "yaşayan" dünyasını anlamamız için gerekli kavram ve mekanizmalar gözden geçirildi. Toplantılardan elde edilen bilgiler, asitli maden drenaj suları, metal biyoelektroliyi, küresel iklim ve iklim değişimi gibi güncel konuların yanısıra, mineral yüzeyleri, su-kayaç etkileşimi, elementel ve mineralojik birikim ve çözünme, kimyasal taşınım hızları ve tortulların yaşı gibi jeolojik araştırma konularında araştırma yapanlara kuşkusuz büyük katkı sağlayacaktır.

Oldukça geniş ve çeşitli mikrop topluluklarından oluşan biyolojik sistemler, buldukları ortamların ekolojik yapısına büyük uyum sağlayabildikleri gibi, bu ortamların çevresel koşullarının değişmesine de neden olabilmekte, buldukları ortamın çevresel koşullarını belirleyebilmektedirler.

Mikroplar olmaksızın herhangi bir ortam steril ya da

kimyasal açıdan daha doğru bir terimle "inorganik" tir. Böyle bir ortamı bulmak oldukça zordur; çünkü buzul karotlarında bile mikroplara rastlanmaktadır.

Çevrelerindeki unsurlardan besinleri elde etme konusundaki yeteneklerinden dolayı, mikroplar karbon, azot, oksijen ve hidrojenin biyolojik moleküllere (proteinler, polisakkaridler, lipidler, nükleik asitler) dönüştürülmesi için gerekli enerjinin mevcut olduğu her ortamda bulunabilirler.

Günümüzde artık pek çok mikrobun organları ve hücre duvarları için gerekli olan biyomoleküllerin inşasında gereksindikleri enerjiyi birleşik tepkimelerden (coupled reactions, örneğin  $Fe^{2+}$ 'nin  $Fe^{3+}$ 'e,  $CO_2$ 'in  $HCO_3^-$ 'e,  $HS^-$ 'in  $FeS_2$ 'e dönüşmesi) elde ettikleri bilinmektedir. Örneğin, muko (çn. sümüksü) polisakkarid hücre duvarı mikrobun ortamdaki bir yüzey üzerine tutunmasını ve bu yolla çevresindeki çözüldüden çoğunlukla seçimli bir şekilde katyonları bünyesine almasını sağlamaktadır.

Bu durum, bir tür diyajenez olan dehidratasyon (kuruma) sonucunda zayıf biçimde kristalleşmiş mineral-organik molekül karışımının bir inorganik bileşiğe dönüşmesi ve zamanla saptanabilir bir mineral fazının oluşması ile sonuçlanabilmektedir. Böylelikle örneğin ferrihidrit ( $Fe(OH)_3$ ) zamanla götite dönüşebilir. Diğer yandan, mikropların metabolik aktiviteleri ile üretilen karbondioksit  $HCO_3^-$  şeklinde çözüldüye geçebilir ve kalsiyum ile kompleks oluşturarak  $CaCO_3$ 'ün üç polimorfundan birisini oluşturabilir.

Bu tür mineral oluşum tepkimeleri mikroskopik ölçekte de olsa milyarlarca kez tekrarlandıklarında, sonuçta sedimanter çökellerin oluşmasını sağlayabilmektedir. Diğer yandan, başka mikrop türleri minerallerdeki elementleri özümleyerek kullanabilirler. Bu şekildeki mineral çözünmeleri farklı minerallerin oluşumu ile sonuçlanabilir. Bu durum, örneğin indirgen ortamda siyah şeyllerin içindeki plirite kristallerinin oluşumu ile sonuçlanabilmektedir.

Günümüzde, mikropların varlığını ve çevreye olan etkilerini belirlemek amacıyla kullanılabileceğimiz bazı temel bilgilere sahibiz:

- Mikroplar çoğunlukla kullandıkları elementin izotopları arasında seçim yaparak daha hafif kütleli izotopunu bünyelerine almaktadırlar. (çn. Bir elementin hafif kütleli izotopunu içeren kimyasal tepkimeler, termodinamik olarak daha düşük enerjiye gereksinim duyarlar. Mikroplar bu nedenle  $^{13}C$  yerine  $^{12}C$ 'yi,  $^{34}S$  yerine  $^{32}S$ 'yi kullanmayı yeğlemektedirler). Bu durumda, aynı elementin ağır izotopları ortamda oluşan minerallerde yoğunlaşmaktadır.
- Mikroplar organik bileşenleri parçalayarak geri dö-



Boulder Çayı ve Kuzey Kaliforniya'daki Iron Dağı'nın diğer dereleri asitli maden drenaj suları ile kirlenmektedir. Bu durum, pirit gibi sülfür minerallerinin çözünmesi ve oksitlenmesinden kaynaklanmaktadır. Mikroorganizmalar sülfür çözünme ve oksidasyonunu hızlandırarak asitli maden drenaj suyu miktarını arttırmaktadırlar.

nüştürürler ve bu moleküller çökeltme ile ortamda hızlı bir biçimde birikmedikçe, mikroplar tarafından yok edilirler, parçalanırlar ya da bozunma yoluyla tepkimelere dirençli daha basit moleküllere dönüştürülürler. Sonuçta ortamda kalan kimyasal bileşikler, ne tür mikrop türlerinin veya alt gruplarının bu süreçte etkili olduğunun belirteçleridirler.

- Mikropların üreme, büyüme ve temel yapısal - genetik materyallerini üretmeleri, bizlerin normal olarak jeokimyasal tepkimelerde beklediğimizin tersi yönde gerçekleşir (çn. Normal olarak, özellikle yüze yakın jeokimyasal tepkimeler, termodinamik olarak serbest enerjinin en düşük düzeye ulaşacağı yönde gerçekleşir. Mikroplardan, insana kadar tüm canlıların metabolik faaliyetleri ise diğer kimyasalların enerjilerinin toplanması yoluyla kendilerinin kullanabileceği serbest enerjinin artırılması yönünde ilerler).
- Mikroplar bir ya da daha fazla mineralin oluşmasına neden olacak biçimde çok farklı türdeki elementleri bünyelerinde biriktirdiklerinden, bu elementlerin ortamda normalin üzerinde jeokimyasal derişime sahip olmalarına neden olurlar. Bu tür birikimler olasılıkla belli mikrop türlerine özgü bazı özel mukoprotein molekülleri ile ilişkilidir.

Öte yandan, mikrobiyoloji konusunda bilmediğimiz, yeni araştırmaların da ufkunu açmaktadır. Yüksek çözünürlüklü mikroskop ve mikrop üretme (çn. kulçuka) tekniklerinin kullanılmasıyla birlikte, pek çok mikrop topluluklarının yapısı, bileşimi ve davranışları konusundaki çalışmalar sonucunda ciltler dolusu bilginin üretilmesi beklenmektedir. Beklenen odur ki, araştırmacılar her türlü jeolojik ortamda üremiş çeşitli mikrop türlerini kapsayan ciltler dolusu bilgi üreteceklerdir. Bu bakımdan, Woese Aile Ağacı (bakınız ilgili şekil) bu tür araştırmalar için olası başlama noktalarını göstermektedir.

Öte yandan, yerbilimler olarak bizler de geniş boyutlu bakış açımıza katkıda bulunacak çalışmalar yapmak durumundayız. Bu ağacı nasıl ele almamız, Yerküre'ye bakış açımız ile nasıl bağdaştırmamız gerektiği konusunda dikkatle düşünmeliyiz. Mikroplar hakkında öğrendiğimiz bilgiler ve bu bilgilerin bilimsel soruların yanıtlanmasında kullanılması, yerbilimleri ile ilgili, örneğin oksijen içeren atmosferin ve maden yataklarının oluşumu gibi çok çeşitli soruların tartışılmasına katkıda bulunacaktır.

Çeşitli karmaşık tepkimeler içeren biyolojik sistemlerin de dikkate alınması, sedimanların çökeltmesine



Louise Cosca Bölgesel Parkı (Georges Kasabası-Madison/ABD). Akarsuda manganee oksitle kaplanmış, siyah renkli iri çakıllar. Manganee oksit hidrok-sitler *Leptothrix discophora* gibi hücre duvarı iplikçikleri (holdfast) ile iri çakıllar üzerine tutunan bakteriler tarafından çöktürülmektedir.

ve bunların taşındıkları yeni ortamlardaki tepkilerine ilişkin düşüncelerimizi etkileyecektir. Minerallerin jeolojik dönemler boyunca farklı iklim koşullarında var olmuş mikroplar ve ekosistemler ile birlikte değerlendirilmesi yeni düşünceler geliştirmemizi sağlayacak, önümüze yeni araştırma konuları getirecektir.

Biyoloji ve yer bilimlerindeki araştırma yaklaşımlarının, moleküler biyoloji ile Jeokimyanın, mikrobiyoloji ile paleontolojinin birlikte ele alınması bilimin farklı dünyalarını bir araya getirecektir. Bu araştırmalardan elde edilecek sonuçların uzun süreli gözlemlerimizle karşılaştırılarak sorgulanması, küresel ölçekte yeni modeller oluşturmamıza ve mevcut modelleri daha geliştirmemize yardımcı olacaktır.

Mikropların insanlar açısından önemi yeni bir konu değildir. Her şeyden önce, üzümün fermentasyonla şaraba dönüşmesi, unun mayalanması yoluyla ekmek yapımı pek çok ilkel toplumlarda da bilinmekteydi. Günümüz endüstrisinde, petrol döküntülerinin mikroplarla toplanması gibi, çevremizi temiz tutmaya ya da yeşil bir çevre yaratmaya yönelik daha etkili ve ekonomik olarak daha uygulanabilir bir yol olan mikrobiyal mekanizmaların kullanılması için yatırım yapılmaktadır.

Mikroplarla yadsınamayacak kadar yakın ilişkilerimiz vardır. Mikroplar, bizlerle karşılıklı fayda ilişkisi içinde olan

canlılardır (çn. Symbioint: kendisine ve konak olduğu canlıya fayda sağlayan canlı). Sindirim sistemimizin bitkisel ve hayvansal kökenli mikropları olmasaydı, yetkin makineler olarak, aldığımız gıdalardan faydalanmamız, gereksindiğimiz enerjiyi üretmemiz mümkün olamazdı.

Jeolojik dünyada mikropların rolü konusundaki araştırmalarımız henüz çocukluk çağında bulunmaktadır. Ancak şu kesindir ki, bu araştırmalar sorularımızın yanıtlanmasına yönelik yeni ve cesaret verici bir dünya sunmaktadır.

#### Kaynak

Catherine, H., Skinner, W., Banfield, J. F., 1997. Microbes All Around. *Geotimes*, 42, 8, 16-19.

#### Ek Okuma Kaynakları

Pentecost, A., Bayan, C.S., Yeşertener, C., 1997. Phototrophic microorganisms of the Pamukkale Travertine, Turkey: Their Distribution and Influence on Travertine Deposition, *Geomicrobiology Journal*, 14, 269-283.

Bayan, C.S., Kurttaş, T., 1997. Algae: An important Agent in Deposition of Karstic Travertines: Observations on Natural Bridge Yerköprü Travertines, Aladağlar, Eastern Taurids, Turkey, *Karst Waters & Environmental Impacts*, (Günay & Johnson, eds.), A.A. Balkema Rotterdam, 269-279.