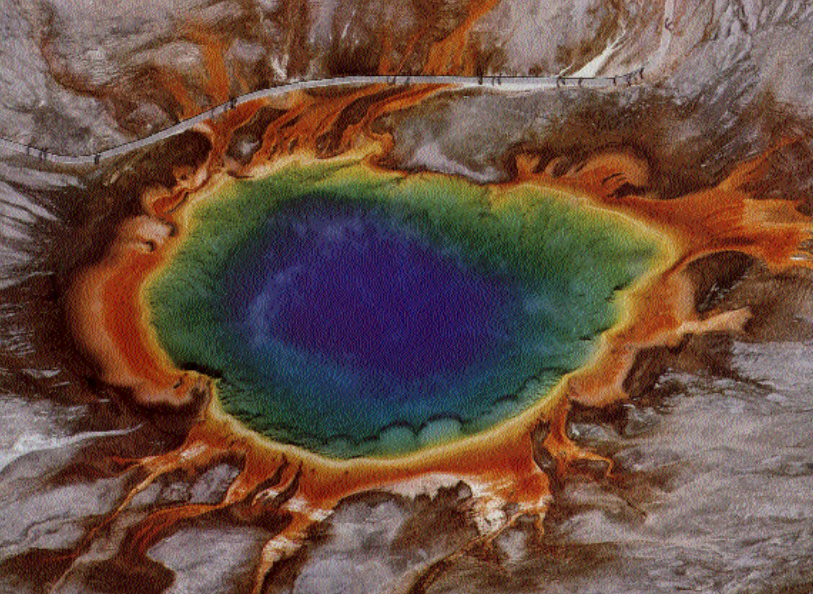


# Mikro Dünya Makro Dünyayı Cüceleştiriyor Arkeobakteriler



Yeni bir bin yıla çok az kaldı. Bu yüzyılın başında bilim adamları için mikrobiyal dünya biraz karanlık görünüyordu. Oysa mikroskobun geliştirilmesi gerçekten bambaşka bir dünyanın kapılarını aralanmıştı. Artık onları görebiliyorduk; ama onlar üstüne yapılan çalışmalar sınırlıydı. Laboratuvar koşullarında yetiştirilen mikroorganizmalarla uğraşıp duruyor, gerçekte sınırsız olan dünyada bir arpa boyu yol alıyorduk. Uç koşullarda canlı türleri bulmak kimsenin aklına gelmiyordu. Çünkü canlı ancak, insan ve benzeri canlıların yaşadığı koşullarda bulunabilirdi! Artık araştırmacılar nereye ellerini atsalar yeni bir bakteri türüyle karşılaşabilecek -

lerini biliyorlar. Tatlı su birikintilerinden, deniz dibindeki sıcak su kaynaklarına, oksijensiz ortamlardan, toprağa hatta buzullara kadar her yerde yeni bakteri türleri keşfediyorlar. Bu durum bakteriyologların işini güçleştirse de çalışma alanlarını genişletiyor. Mikro dünya, makro dünyayı cüceleştiriyor.

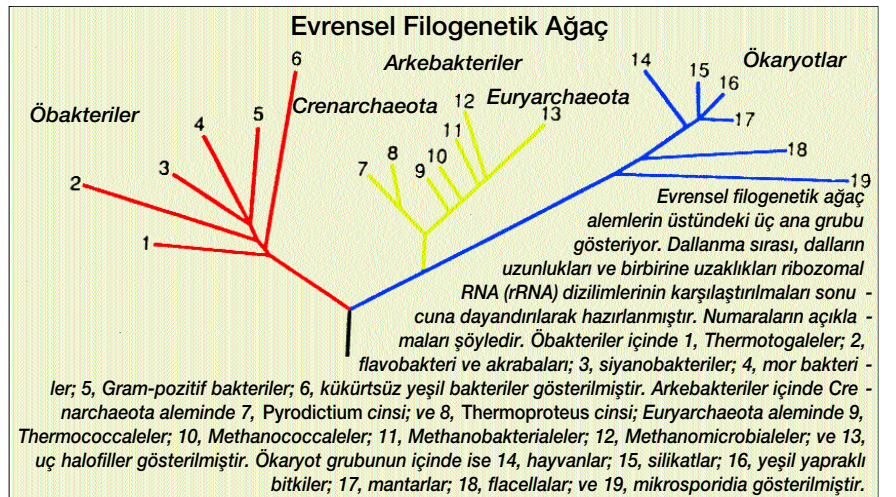
**H**ER YERDELER. Bu her yerdeliğin büyüleyici bir yanı var. Alışılmı-şın dışında uç yaşam biçimleri sergiliyorlar. Genel canlı tanımını aşılıyorlar. Kimileri soğukta yaşıyor, kimileri 100 °C'nin üstünde. Kimileri oksijensiz ortamda rahat ederken kimileri tuzu tercih ediyor. Böylesine uç yaşam biçimlerini sergileyen "arkaik" bakterilere Arkeobakteri deniliyor. Yaşadıkları çevrelerin uç olması dışında yapıları ve metabolizmaları da bu uç çevrelere bağlı olarak farklılık gösteriyor. Yüksek sıcaklıklara, asiditeye ve yoğun tuz derişimine dayanıklı protein yapıları bilim adamlarının ilgisini çekiyor. Bilinen bakterilerden farklı olarak hücre duvarlarında peptidoglikan yok (Peptidoglikan, bakteri hücre duvarındaki makromoleküler ağı oluşturduğu için çok önemlidir). Burada yaşadıkları ortam ve buna bağlı morfolojik farklılıklara bakarak Arkeobakteriler'i üç ana grupta ele alacağız:

Halofiller, Termofiller ve Metanojenler. Uç Halofiller'in fenotiplerine

baktığımızda ilk başta yüksek NaCl derişiminde (6 molar kadar) yaşadıklarını görüyoruz. Bu ortamdan etkilenmemek ve hücre içinin dengede kalmasını sağlamak için, hücre içindeki KCl derişimini yüksek tutuyorlar. Oksijenli ortamı seviyorlar ve heterotrofikler.

Uç Termofil'ler, adları üzerinde, 55-113 °C sıcaklıklar arasında yaşamlarını sürdürebiliyorlar. Bunların hem aerobik hem anaerobik türleri var. Yine

kendi içlerinde pH 1-4 asiditede bulunan Asidofiller ve pH 7'de yaşayan Nötrofiller olarak ikiye ayrılıyorlar. Halofiller gibi Termofiller'in de heterotrofik türlerinin yanı sıra ototrofik türleri de var. Metanojenler'in oksijenli ortamlarda kesinlikle öldüklerini söyleyebiliriz. Bunlar arasından tuzlu ve sıcak ortamlarda yaşayan türler de çıkmakta. CO<sub>2</sub> ve C-1 bileşiklerini CH<sub>4</sub>'e indirgeyerek enerji elde ediyorlar.



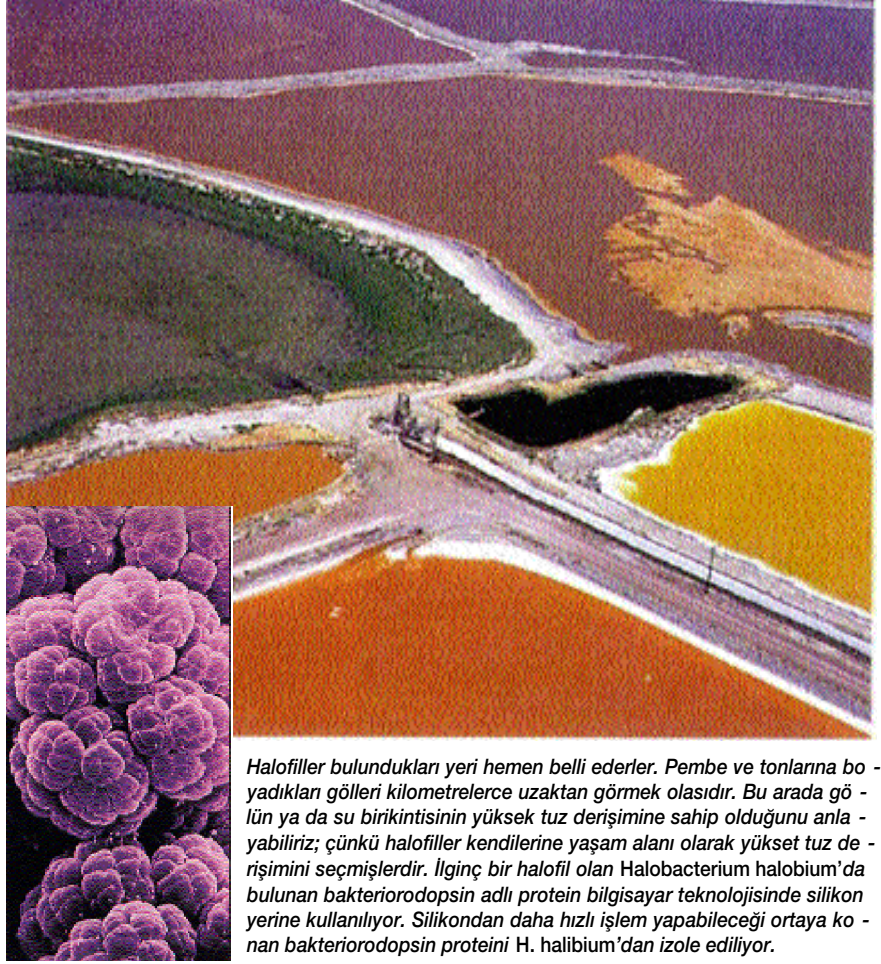
## Arkebakteriler ve Filogenetik Ağaç

Özellikle bakteri gibi basit yapılı canlılarda moleküler yapılar ve DNA, RNA ve protein dizilimlerine göre yapılan sınıflandırmanın, evrimsel ilişkilerde klasik dış görünüme bağlı sınıflandırmadan daha etkilidir. Canlıların akrabalık ilişkilerini açıklamak için önceleri dış görünümleri karşılaştırılıyordu. Bu karşılaştırma sonraları hücre düzeyine indirildi, ama gerçekler, moleküllerin diziliminde yazılıydı. Canlıların moleküler düzeyde karşılaştırılmaları bu gezegendeki yaşamın üç temel gruba ayrıldığını gösterdi: Öbakteriler (gerçekbakteriler), Arkebakteriler (eskibakteriler) ve Ökaryotlar.

Bu üçü birbirinden çok farklı yapılar sergiliyor. Onları birbirinden ayıran farklılık bitkiler ve hayvanlar alemini birbirinden ayıran farklılıktan daha derin bir farklılığa sahip. O yüzden alem düzeyinden daha yukarıda yeni bir sınıflandırma alanı açmış bilim adamları. Bu alan içinde de biraz önce saydığımız üç grup var. Her birinin içinde iki ya da daha çok alem bulunuyor. Örneğin Ökaryot'lar içine hayvan ve bitki alemiyle birlikte protista ve fungus da giriyor. Carl R. Woese ise 26 Mart 1990'da yayımladığı makalesinde Arkebakteriler'i de ayrıca iki aleme ayırmak gerektiğini söylüyor. Metanojenler ve onların çeşitli akrabaları *Euryarchaeota* alemini, Termofilik Arkebakteriler ve akrabaları da *Crenarchaeota* alemini oluşturuyor. Bu alemler tıpkı bitkiler alemi gibi sınıflandırmada yerlerini alıyorlar. Tanımlamada hiçbir fark taşıyorlar.

Taksonomik olarak alemden bile yukarıda olan bu üç grup, Arkebakteri, Öbakteri ve Ökaryot, tüm canlılardaki gibi ortak özellikler de taşıyor. Öbakteriler'e ve Arkebakteriler'e baktığımızda büyüklüklerinin ve yapılarının benzer olduğunu görüyoruz. Her ikisinde de hücre çekirdeği ve mitokondri ya da kloroplast gibi organeller yok. Bunun yanında Arkebakteriler Ökaryotlar'la da benzerlik gösteriyor. Her ikisinde de histon benzeri proteinler var ve ökaryotik mikroorganizmaların etkiledikleri antibiyotiklerden ve toksinlerden Arkebakteriler de etkileniyor.

Öbakteriler, Arkebakteriler ve Ökaryotlar arasındaki moleküler düzeydeki işlevsel farklar ise, hücrenin



Halofiller buldukları yeri hemen belli ederler. Pembe ve tonlarına boyadıkları gölleri kilometrelerce uzaktan görmek olasıdır. Bu arada gölün ya da su birikintisinin yüksek tuz derişimine sahip olduğunu anlayabiliriz; çünkü halofiller kendilerine yaşam alanı olarak yüksek tuz derişimini seçmişlerdir. İlginci bir halofil olan *Halobacterium halobium*'da bulunan bakteriorodopsin adlı protein bilgisayar teknolojisinde silikon yerine kullanılıyor. Silikondan daha hızlı işlem yapabileceği ortaya konan bakteriorodopsin proteini *H. halobium*'dan izole ediliyor.

eskilere dayanan tarihinde bir yerlerde evrilmiş olmalı. Örneğin, tüm Öbakteriler, kendi RNA polimeraz enzimlerinin altbirimlerinde neredeyse aynı dizilimi izliyorlar. Buna karşın aynı dizilim Arkebakteriler'de ya da Ökaryotlar'da çok çok az benzerlik gösteriyor.

Fosil kayıtları fotosentez yapan Öbakteriler'in (Arkebakteriler'in ve Ökaryotlar'ın da) 3-4 milyar yıl önce yaşadıklarını söylüyor. Bu üç ana grup canlıdan önce üzerinde yaşadığımız gezegende ne vardı ya da ilk canlı nasıl bir şeydi sorusuna yanıt bulunamasa bile, bilim adamları bu fosil kayıtlarından kuramlar üretebiliyorlar. Düşünülen bu basit atanın, ilk canlının en azından gezegenin tarihinde çok göreceli çabuklukta evrilerek Arkebakteriler'e, Öbakteriler'e ve Ökaryotlar'a dönüştüğü varsayımını öne sürebiliyorlar. Dünyamızın yaşamın 4,5 milyar yıl olduğunu ve Öbakteriler'in fosil kayıtlarının 3-4 milyar yıl öncesine dayandığını göz önünde bulundurduğumuzda, ilk canlının evrimle bu üçüne dönüşmesi için ortalama 1 milyar yıl gerektiğini varsayabiliriz. Evrensel filogenetik ağaç görsel olarak bu üç grubun birbirine olan uzaklıklarını anlamak açısından yardımcı olabilir. Şekilde gösterilen evrensel filogenetik ağaçta basit atadan iki

dal çıkıyor. Biri Ökaryotlar diğeri ise Öbakteriler için. Arkebakteriler ise Ökaryotlar'ın özel ama uzak bir akrabası olarak görünüyor.

Yapısal olarak Arkebakteriler Öbakteriler'e Ökaryotlar'dan daha yakındır. Ne Arkebakteriler'in ne de Öbakteriler'in çekirdeği yoktur. Buna karşılık Arkebakteriler'in Öbakteriler'in uç koşullara uyum sağlamış türleri olduklarını söyleyemeyiz. Birkaç Arkebakteriye protein özellikle transkripsiyon ve translasyonda görev alanlar, ökaryotik homologlarına dizilimce, işlevce ve altbirim etkileşimince kuvvetle benzerlik gösterirler.

## Yaşam Alanları

Arkebakteriler'in Dünya'nın ilkel koşulları altında (yüksek sıcaklık, oksijensiz bir atmosfer ve yüksek tuzluluk) bu özellikleri kazandıklarını söyleyebiliriz. Onlar hâlâ aynı koşullarda yaşıyorlar. Yine de bu bir süreç, onlar evrim geçirmeye devam ediyorlar.

Tüm canlılar arasında yaşadığı bölgeyi Halofiller kadar belli eden başka bir grup yoktur. Halofiller'i çok uzaktan görmek mümkün; çünkü buldukları yer pembe ve tonlarına bürünüyor. Yaşadıkları suların tuz oranı çok

	Arkebakteriler	Öbakteriler	Ökaryotlar
Hücre tipi	prokaryotik	prokaryotik	ökaryotik
Hücre duvarı	değişiklik gösterir peptidoglikan yoktur	peptidoglikan vardır	değişiklik gösterir karbonhidrat bulunur
Zar yağları	gliserole ester bağıyla bağlanmış dallı karbon zincirlerinden oluşur	gliserole ester bağıyla bağlanmış düz karbon zincirlerinden oluşur	gliserole ester bağıyla bağlanmış düz karbon zincirlerinden oluşur
Protein sentezi	metiyonin	formilmetiyonin	metiyonin tetikleyicisi

**Arkebakteriler'in Öbakteriler'in ve Ökaryotlar'ın bazı özellikleri**

yüksek; deniz suyundan 10 kat daha tuzlu.

Metanojenler diğer mikroorganizmaların oksijeni tükettiği bataklıklarda ve farklı sıcaklıklarda yaşayabilirler. Eğer bir bataklığın kokusu artık rahatsız etmeye başladıysa, buradaki Metanojen popülasyonunun arttığını söyleyebiliriz.

Bir çok canlı için 37-40 °C sıcaklık büyüme, üreme ve metabolik aktiviteleri sürdürme için çok uygundur. Termofiller ise 37-40 °C sıcaklıklarda uyku gibidirler. Onların çoğalıp metabolik aktivitelerini sürdürmeleri için 55-113 °C gerekir. Onların yaşamak için bu sıcaklıktaki derin denizlerdeki sıcak su kaynaklarına gereksinimleri vardır.

## Teknolojideki Kullanım Alanları

Uç koşullara karşı geliştirdikleri yaşama prensipleri bilim adamlarına hep çekici gelmiştir. Bunun da ötesinde Metanojenler, Halofiller ve Termofiller üzerine yapılan araştırmalar arttıkça, bunların biyoteknolojinin bazı alanlarında kullanılabilirlikleri anlaşılmıştır. Örneğin, derin deniz sıcak su kaynaklarında yaşayan Termofiller'den izole edilen DNA polimeraz enzimi, polimeraz zincir tepkimesinde (Polymerase Chain Reaction: PCR) kullanılır. PCR, DNA'nın birçok kopyasını çok kısa bir sürede yaparak çoğaltmak için kullanılan bir tekniktir. PCR'da, DNA'nın 98 °C'de çift sarmalının çözülerek tek sar-

mal halini alması sağlanır. Sonra soğutulur DNA polimeraz enzimi her bir tek sarmal kopyalar. Bu ısıtma ve soğutma işlemi her birkaç dakikada bir tekrarlanır ve birkaç saatte milyarlarca DNA kopyası üretilir. Özgün PCR işleyişinde DNA polimeraz 98 °C'de bozunduğu için, her defasında tekrar tekrar ortama enzim koymak gerekiyordu. Bu da işlemi güçleştiriyordu. Birgün zaten yüksek sıcaklıklarda yaşayan *Thermococcus litoralis*'den DNA polimeraz enzimi izole edilerek PCR tekniğinde uygulandı. Artık ortama tekrar tekrar enzim koymak gerekmiyordu; çünkü bu türden alınan enzim diğerleri gibi bozunmuyor ayrıca yüksek sıcaklıklarda aktif hale geliyordu. Bu enzimle dakikada 1000 baz DNA'ya eklenebilir hale geldi.

*T. litoralis* tam bir anaerobik canlı. Büyüebilmesi için 98 °C'ye gereksinimi var, yani hipertermofilik. Galapagos Adaları'nın 300 km kuzeydoğusunda bulunan sualtı vadisinde yaşayan bu Arkebakteriler güneş ışığını hiç görmüyorlar.

Arkebakteriler'in başka kullanım alanları da var. Bunlardan biri gerçekten çok ilginç: Bilgisayar teknolojisi. Bu teknolojiyi anlatmadan önce kullanılan canlıyı biraz tanıtmak gerekiyor. İlginç bir Halofil olan *Halobacterium halobium*'un hücre duvarı iki parçadan oluşuyor, kırmızı ve pembe. Kırmızı parça üzerinde oksidatif fosforilasyon gerçekleşiyor. Pembe parçanın %75'i ise, insan gözünde de bulunan rodopsin benzeri bir proteinden oluşuyor. Gözümüzde ışığa tepki veren bu protein Ar-

kebakteriler'de fotofosforilasyonda kullanılıyor. Rodopsinin bakteride bulunmasına bakteriorodopsin deniliyor.

*H. halobium* üzerinde yapılan çalışmalar sırasında ışık ya da oksijene tabi tutulduğunda Halofil'in ATP sentezinin arttığı gözlenmiş. Bu sonuçla birlikte, şimdi neden *H. halobium*'un pembe ve kırmızı parçalardan oluştuğuna geleceğiz. Eğer ortamda oksijen varsa kırmızı parça hemen oksidatif fosforilasyona başlıyor ve ortamda ışık varsa pembe parça üzerinde başka bir tür fosforilasyon gerçekleşiyor. Burada bakteriorodopsin klorofile benzer bir görev üstleniyor. Peki tüm bunların bilgisayar teknolojisi ile ne ilişkisi var?

Geleneksel bilgisayarlarda bilgiyi ince silikon katmanlar üzerine depoluyorlar. Bilgi, bilgisayarın silikon üzerindeki anahtarlar üzerinden geçen elektronların ürettiği bir dizi sıfır ve biri "okumasıyla" işleniyor. Yalnız, silikon, robotlar için görme işlevi ya da yapay zeka gibi çok ve hızlı işlem gerektiren uygulamalarda bilgiyi yeterince işleyemiyor. Buna karşılık bakteriorodopsin çipi bilgiyi silikon çipten daha hızlı işleyebilir. Yeşil ışık, proteinin 3 boyutlu biçiminde değişikliğe neden olur. Bu değişiklik "bir" olarak okunur ve yeşil ışığa maruz kalmayan protein ise "sıfır"ı temsil eder. Böylece bilgi işlenir.

Şimdiden bu teknolojiyi askeri amaçlı olarak savaş uçaklarında kullanıyorlar. Protein uçakta -4 °C'de saklanarak bilgisayarda kullanılıyor. Eğer böyle bir uçak düşerse, çip içinde saklı olan bilgiler sıcaklık değişimi yüzünden bozulan çipte okunamaz duruma gelecek. Askeri amaçla kullanılan bu uçaklarda bilginin istenmeyen kişilerin eline geçmesini kimse istemez. Daha keşfedilmemiş milyonlarca Arkebakteri türü var. Bu gizli hazine keşfedildiğinde kimbilir teknolojiye, ilaç sanayisinde ya da tıpta yararlı olabilecek ne gibi değişik özelliklerle karşılaşacağız.

Özgür Ergin

Konu Danışmanı: Cumhuriyet Çökmüş  
Prof. Dr., A.Ü. Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,  
Moleküler Biyoloji Ana Bilim Dalı

Kaynaklar:  
Çökmüş, C., Canlılık Kurallarına Uymayan Bakteriler, TÜBITAK Bilim ve Teknik Dergisi, Ağustos 1991  
Danson, M. J., The Archaeobacteria (1), Protein Structure, Function and Stability, ODTÜ, 1994  
Holmes, B., Life Unlimited, New Scientist, 10 Şubat 1991  
Tortora, G. S., Funke, B. R., Case, C. L., Microbiology, The Benjamin/Cummings, 5. baskı  
Woese, C. R., Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria, and Eucarya, PNAS, USA, 1990  
<http://www.personal.psu.edu/users/n/m/nmal109/html>  
<http://www.ucmp.berkeley.edu/bacteria/bacteria.html>

	Metanojenler	Halofiller	Termoasidofiller
Yaşam bölgeleri	oksijensiz göller bataklıklar	tuz gölleri	asidik toprak sıcak su kaynakları
Hücre duvarı	peptidoglikan yok	peptidoglikan yok	peptidoglikan yok
Diğer karakterler	kemosentetik, yan ürün olarak metan üretirler	kemosentetik, fotosentetik olanları da var	kemosentetik, ATP üretiminde elektron kaynağı olarak kükürt kullanırlar
Örnekleri	<i>Methanobacterium</i>	<i>Halobacterium</i>	<i>Sulfolobus</i>