

KEŞFEDİLMEK İÇİN MİLYARLARCA YIL BEKLEYEN CANLI GRUBU

ARKELELER

Çok sıcaksever arkelerin bulunduğu ortamda kükürt bileşikleri bol miktarda bulunmaktadır. Bu madde bulunduğu ortama kırmızı bir renk vermektedir.

Onlar bakterilerle birlikte dünyamızın en eski sahipleri. Yaşam sahnesine yaklaşık üç buçuk milyar yıl önce çıktıkları tahmin ediliyor. Fakat bilim insanları onların farkına ancak otuz yıl önce varabildi.

Bugün bu organizmalara “arkeler” denilmekte fakat ilk keşfedildikleri 1970’ li yıllarda arkebakteriler (eski bakteriler) olarak tanımlanmışlardı. Çünkü, bu canlıların doğadan yalıtılan ilk örneklerinin yaşadıkları ortamlar oksijensiz, bol kükürtlü ve sıcaklığın yüksek olduğu yerlerdi. Bunlar, dünyamızda yaşamın da başladığı kabul edilen ilk zamanlardaki yeryüzü koşullarına benziyordu. Ayrıca bu mikroorganizmalar, bakteriler gibi, prokaryottu (çekirdek zarı içermeyen tek hücreli canlı) ve onlarla aynı ortamlarda yaşıyordu. Bu nedenle, arkelere arkebakteriler, bakterilere de öbakteriler yani “gerçek bakteriler” adı verilmişti.

Fakat bir süre sonra, moleküler biyoloji tekniklerine dayalı moleküler sınıflandırma araştırmalarından elde edilen bulguların artmasıyla, arkelerin bir tür bakteri olmayıp onlardan farklı bir prokaryot grubu olduğu anlaşıldı. Hatta bulgular, arkelerin bakterilere olan yakınlıklarının, bu organizmaların insan ya da meşe ağacına olan yakınlıklarından daha fazla olmadığını gösteriyordu. Moleküler biyoloji devrimi, insanlığa ve bilim dünyasına bu kez yeni ve büyük bir canlı grubunu armağan ediyordu.

Arkelerin bulunması, bilim insanlarının doğaya bakışında önemli değişikliklerin meydana gelmesine yol açtı. Bu etki her geçen gün artarak devam et-

mekte. Yaşadıkları olağan dışı ortamlar, diğer hiçbir canlıda görülmeyen genetik ve metabolik özellikleri, canlılığın kökeni ve biyolojik evrim konusunda sunduğu bilgiler, yüksek organizasyonlu canlılara (ökaryotlar) olan benzerlikleri, biyoteknolojik önemleri vb. özellikleriyle arkeler, insanlığın ilgi odağına girmeye başladı.

Arkelerin keşfi, bilim dünyasındaki ilk etkisini, canlıların sınıflandırılması ve gerçek bir soy ağacının oluşturulmasında göstermiş bulunuyor. Bu konular, özellikle biyolojik evrim ile yakından ilgili olduğu için çok önemlidir. Antik çağın büyük doğa bilgini Aristoteles’ ten beri, canlıların sınıflandırılmasında bir sorun yaşanmakta. Bunun nedeni, sınıflandırmada kullanılan ölçütlerin kimi zaman, canlılar arasındaki gerçek evrimsel bağların yani akrabalık ilişkilerinin ortaya çıkmasında yardımcı olamaması. Yani kim kimden önce evrimleşmişti, hangi canlı, hangi başka canlıyla ortak atayı paylaşıyordu; bu durum birçok noktada belirsizlik taşıyordu. Gözle görünür özelliklere da-



Çok tuzsuzların yaşadıkları ortamda renk, arkenin içinde bulunduğu oksijen ve organik madde miktarına göre, ya kırmızımsı turuncu ya da kırmızımsı mor bir renge bürünmektedir.

yanan sınıflandırma, özellikle, yüz binlerce tür içeren mikroskopik canlılarda pek yararlı olmamaktaydı. Bu nedenle 20. yüzyılın ortalarına dek mikroorganizmalar, sınıflandırma güçlüğü olan, basit bitki ve hayvan alt grupları olarak kabul ediliyordu.

Araştırmacılar 1960’ lı yıllardan başlayarak canlıların sınıflandırılmasında protein, deoksiribonükleik asit (DNA) ve ribonükleik asit (RNA) moleküllerini kullanmaya başladı. Çünkü, ortak bir atadan evrimleştikleri için tüm canlılar ortak bir moleküler kalıtı paylaşmakta. Milyarlarca yıldır süregelen evrimleşme süreci içinde bu moleküllerin yapısında birçok kalıcı değişme (mutasyon) meydana geldi ve hâlâ da gelmekte. Fakat bu moleküller her canlıda farklı bir öykü yaşadıkları için, geçirdikleri değişimin boyutu da farklı oluyor. Doğal olarak, birbirlerine daha yakın (akraba) canlıların molekülleri arasındaki fark daha az, uzak olanlarında ise fazla. Bu durumu insanlardan bir örnek vererek açıklamak gerekirse, bir bireyin sahip olduğu büyük ve küçük kan grupları en fazla ana, baba ve kardeşlerine benzemekte, diğer insanlarla olan benzerlikse, akrabalık derecesine bağlı olarak, azalmakta.

Bu gelişmelere dayalı olarak Carl Woese ve George Fox 1977 yılında yayınladıkları bir makale ile, canlıların hücrelerinde protein sentez fabrikası olarak iş gören ribozomların bileşiminde yer alan ribozomal RNA (rRNA) moleküllerinin nükleotid dizilerinin karşılaştırılması sonucu, dünyamızdaki tüm canlıların üç büyük üst-alem içinde yer aldığını açıkladılar.

Günümüzdeki şekli ile bunlar:

I- Bakteriler (Bacteria), II- Metanojen (metan gazı üreten), hiperhalofil (çok tuzcul) ve hipertermofilleri (çok sıcak-sever) içeren Arkeler (Archaea) ve III- Bitki, hayvan, mantar ve prokaryotlar dışındaki tüm mikroorganizmaları içeren Ökaryalar (Eukarya) (çekirdek zarı içeren tek veya çok hücreli canlılar) idi. Görüldüğü gibi, arkelerle yapılan moleküler sistematik araştırmalar genişleyerek, tüm canlılar arasındaki gerçek evrimsel yani filogenetik ilişkilerin ortaya çıkmasını sağlamış bulunuyor.

Sınıflandırma

Filogenetik açıdan arkeler, üç aleme ayrılıyor. Üst alem: Arkeler I. Alem: Krenarkeota (Crenarchaeota) II. Alem: Öyarkeota (Euryarchaeota) III. Alem: Korarkeota (Korarchaeota)

Kısa bir süre öncesine kadar bu alemde sadece çok sıcaksever (hipertermofil) arkelerin yer aldığı sanılıyordu. Fakat son yıllarda, bu alemde çok daha düşük sıcaklıklarda yaşayan arkelerin de yer aldığı belirlendi.

Bu alemdeki arkelerin bir diğer özelliği kükürde bağımlı olmaları, oksijensiz solunum yapmaları ve genellikle asit ortamlarda yaşamalarıdır. Bu alem metan gazı üreticisi (metanojen) ve çok tuzcul (hiperhalofil) arkeleri içermekte. Metan üreticileri kendi içinde, sülfat redükleyici, halofil (tuzcul), termofil (sıcaksever) ve çok sıcaksever genoslara ayrılmakta.

Bu alemin diğer grubu olan çok tuzcullar, ökaryotlara en yakın özelliklere sahip olan arkeler.

Hücre Biyolojisi

Arkeler dünyanın her yerinde yaşamakta. Kaynar sularda, tuz ruhundan daha asit ortamlarda, oksijenin bulunmadığı yerlerde, memelilerin hatta bir tür karınca olan termitlerin sindirim sistemlerinde, denizin binlerce metre altında, içinde elinizi bile tutmanın mümkün olmadığı yüksek miktarda tuz içeren ortamlarda, Antarktika denizlerinde, toprağın yüzlerce metre derinliklerinde ve bunların yanında, insanlar için normal olarak nitelenen,

olağan koşullarda da yaşayan arkeleri bulmak olası. Arkeler, bu kadar farklı ortamlarda yaşayabilmelerini, sahip oldukları özel hücresel yapıya borçlu. Bunların başında da hücrenin etrafını örten tabakalar geliyor.

Bakterilerde sitoplazmik zarın üzerinde peptidoglikan olarak adlandırılan bir tabaka bulunmakta. Bu tabaka hücre duvarı olarak da nitelenen ve bakteriler için oldukça önemli işlevlere sahip özgün bir yapı. Arkelerde ise peptidoglikan tabakası bulunmuyor. Bunun yerine hücre duvarı, protein, glikoprotein ve karbonhidrat gibi çok çeşitli moleküllerden oluşmakta.

Arkelerin sitoplazmik zarları diğer tüm canlıların zarlarından oldukça farklı. Bu farklılık temel olarak zarlarda yer alan yağ moleküllerinin (lipit) yapılarından kaynaklanıyor. Örneğin arkelerin yağları, diğer tüm canlılardan farklı olarak, yağ asidi içermez. Bunun yerine yapıda, izoprenoid olarak adlandırılan ve 25 ile 40 arasında karbon atomu içeren büyük moleküller bulunur. Arkeal yağlarda eter bağı olarak tanımlanan bir bağ bulunmakta. Bu, arkelere özgü kimyasal bir bağ. Diğer tüm canlılardaysa ester bağları iş görür. Ester bağı yağlarda, yağ asitleri düz zincirli yani doğrusal moleküllerdir. Arkelerin yağlarıysa dallanmış, uzun zincirli moleküllerdir.

Yağ molekülündeki bu yapısal özelliklerin arkelerin yüksek sıcaklığa, asiditeye ve basınca dayanıklı olmasında önemli olduğu belirlenmiş bulunuyor.

Temel Gruplar

Çok sıcaksever arkeler (hipertermofiller): Bu gruba giren canlıların üremesi için gerekli en uygun sıcaklık 80 °C'nin üstünde. Bu nedenle çok sıcakseverler, jeotermal yolla ısıyı yükseltmiş toprak veya sulardan (karasal volkanlar, termal kaynaklar, derin ve sığ deniz yüzeyindeki volkanlar) yalıtılıyorlar. Bu ortamlarda aynı zamanda bol miktarda elementel kükürt ve sülfat bulunmakta. Kükürt, adenosin trifosfat (ATP) sentezinin gerçekleştiği oksijensiz solunumda, elektron alıcısı veya vericisi olarak kullanılıyor. Diğer bir deyişle bunlar kükürt soluyan mikroorganizmalar. Bu nedenle çok sıcakseverlerin büyük bölümü, kükürde bağımlı mikroorganizmalar olarak tanımlanır.

Arkelerin Biyoteknolojisi

Arkelerin biyoteknolojik diğer bir deyimle ekonomik önemleri her geçen gün artmaktadır. Örneğin bazı çok tuzcul arkelerin tuzlu besinler, özellikle de salamura balıkların, etlerin üzerinde yaşaması besin endüstrisi açısından önemlidir. Halobacterium ve Halococcus genusları protein parçalayan hücre dışı enzimler salarak besin maddesinde bozulmaya yol açmaktadır. Araştırmalar, bazı safra tuzlarının (taurokolat ve deoksi-kolat) halofillerin üremesini durdurduğunu ortaya çıkarmasından sonra bu maddeler, besinlerin korunmasında kullanılmaya başlanmıştır.

Tuzcul arkelerin moleküler açıdan ökaryotlara benzemesi onların kanser araştırmalarında kullanılmalarına olanak vermiştir. Özellikle kanser tedavisi için geliştirilen sitostatik (hücre üremesini durduran) ilaçların denenmesinde bu canlılar, model organizma olarak işlev görmektedir. Bu ilaçların hedef moleküllerinin her iki hücre tipinde de oldukça benzer olması bunu sağlamaktadır.

Tuzculların sahip olduğu bakteriorodopsin molekülünün elektronik endüstrisinde biyoelektronik elemanı, özellikle de optik kayıt materyali olarak holografik ortamlarda kullanılması söz konusudur. Çünkü bu molekülün saflaştırılmış halinin, hem zamana hem de ısıya karşı oldukça dayanıklı olduğu ve fotokimyasal aktivitesini uzun süre devam ettirebildiği saptanmıştır. Bu sayede bilgisayar dahil çeşitli elektronik aletlerin devrelerinde kullanılabilir.

Arkelerden yalıtılan enzimlerin ısıya dayanıklı olması bunların endüstriyel amaçlı kullanımını olanaklı kılmaktadır. Çünkü, bu enzimlerin ısı arttıkça daha yüksek aktivite göstermeleri, endüstriyel uygulamalarında tercih edilmelerine neden olmaktadır. Örneğin, termofilik enzimler ekme ve peynir yapımında, amino asit ve antibiyotik üretiminde, şarap ve bira berraklaştırılmasında kullanılmaktadır.

Arkelerin büyük bir kısmı litotroftur, yani enerjilerini inorganik (mineral) maddelerin oksidasyonundan elde etmektedir. Sıcak ve asit sever (termoasidofilik) arkeler kömürden çevre kirliliğine neden olan kükürt elementinin uzaklaştırılması işleminde kullanılmaktadır. Bunun dışında biyohidrometalurji endüstrisinde de bu arkelerin kullanım olanığı belirlenmiştir. Bu mikroorganizmaların yüksek derişimlerdeki metal iyonlarının olumsuz etkilerine karşı dirençli olmaları, bakır ve altının cevherden uzaklaştırılması işlemlerinde kullanılabileceklerini göstermektedir.

Son yıllarda arkelerin zarları, daha şiddetli bir immün cevabın oluşmasına yol açmaları ve dayanıklı olmaları nedeniyle lipozom sentezinde kullanılmaya başlanmıştır. Lipozomlar yapay yağ mikro kesecikleri olarak, ilaç ve aşılardan ağızdan uygulanmasında kullanılmaktadır. Böylece kullanılan madde vücudun savunma sisteminin daha yüksek düzeyde alarma geçmesi sağlanmakta ve bu sayede hastalıkla daha etkin bir savaş verilebilmektedir.

Elementel kükürdün kaynağı, jeotermal kaynaktan çıkan hidrojen sülfürdür (H₂S). Bu ortamların diğer önemli bir özelliği, genellikle oksijensiz olmaları. Bu nedenle çok sıcaksever arkeler çoğunlukla oksijensiz ortamlarda yaşayabilen mikroorganizmalarıdır.

Çok tuzcul arkeler (hiperhalofiller): Bu grupta yer alan arkeler çok yüksek tuz derişimlerinde yaşayan yani çok tuzcul canlılardır. Bunlar sıcak, kuru ve buharlaşmanın fazla olduğu tuz göllerinde, Ölü Deniz’de, tuz üretim tesislerinde ve balık, et gibi tuzlanmış yiyeceklerin yüzeyinde yaşarlar. Bu organizmaların üremesi için en az 1.5 M (%9) sodyum klorür (NaCl) gereklidir (deniz suyu 0.6 M NaCl içerir). Fakat çoğu tuzcul arkelelerin en iyi üremesi için 2-4 M (%12-23) NaCl gereklidir. Araştırmalar çok tuzcul arkelerin 5.5 M NaCl (% 32) derişimine kadar yaşayabildiklerini göstermekte.

Çok tuzcul arkelerde, başka hiçbir canlı grubunda bulunmayan özel bir fotosentez yolu işlev görür. Bu sistemde ışık yoluyla, fakat klorofil veya bakterioklorofil gibi diğer canlılarda bulunan pigmentler kullanılmadan ATP, yani enerji sentezi yapılıyor. Bu yol ilk kez, Halobacterium salinarum’ da saptandı. Bu tip fotosentezin temel yapıtaşını, zarda yer alan bakteriorodopsin isimli bir pigment oluşturmaktadır.

Çok tuzcullar, diğer arkelerden farklı olarak, ATP gereksinimlerini temel olarak oksijenli solunum yoluyla sağlarlar. Fakat ortamda oksijen ve organik besin kaynağı azaldığında, oksijenli solunum yapma olanağı ortadan kalktığı için, enerji eldesi ve üremek amacıyla bakteriorodopsin yolu devreye sokulur. Bakteriorodopsin pigmentinin emdiği ışık, spektrumun yeşil-sarı bölgesine karşılık gelmekte. Bu bölgedeki ışık emildiğinde dışarı yansıtılan ışık mor renkte gözükür. Aslında zarda bakteriorodopsin molekülü olmadığında, tuzcul arkelerin bulunduğu ortam kavun içi veya kırmızımsı bir renge bürünmekte. Ortamda oksijen derişimi düştüğünde, pigmentin sentez edilip zara yerleştirilmesi gerçekleştiği için bu arkelerin bulunduğu yerde renk, mora döner.



Arkelerin çevresinde yaşama uyum sağladıkları okyanus dibi sıcak su kaynakları

Metan üreten arkeler (metanojenler): Metan (doğal gaz ya da biyogaz) sentezi tüm canlılar arasında sadece bu grup tarafından gerçekleştirilir. Metan üreticilerinde olay büyük bir önem taşır; çünkü, bu grupta ATP sentezi sadece bu yolla yapılır. Metan gazıysa, bu metabolik işlemin atığı olarak açığa çıkar.

Metan sentezi kesinlikle oksijensiz bir koşul gerektirmektedir. Bu nedenle metan üreten arkeler, göl, nehir ve okyanusların diplerindeki çamur tabakasında, insan dahil hayvanların sindirim sistemlerinde ve arıtma tesislerinde yaşamaktadır.

Arkelerin Genom Projesi

Dünyaca ünlü bilim dergisi Science, 23 Ağustos 1996 tarihli sayısında daha sonra insan gen haritası taslağının oluşturulmasında önemli rol oynayacak Dr. Craig Venter’in yönettiği Genomik Araştırma Enstitüsü’nden gönderilen bir makaleyi yayınladı. Makalede, bilim tarihinde ilk kez, bir arkeon (arkelerin tekili) (Methanococcus jannaschii) genomunun tam nükleotid dizisi açıklanıyordu. Bu arkeonun genomunun yayınlanması, canlılığın evriminin çözülmesi yolunda önemli bir kilometre taşı niteliği taşıyor. Çünkü M. jannaschii oldukça dikkat çekici bir canlıdır. Bu arkeon, Pasifik Okyanusu’ nun yaklaşık 2600 metre derinliğinde yer alan hidrotermal kanallarından yalıtıldı. Bu ortamda sıcaklığın 90°C’ tan, basıncınsa 200 atmosferden daha yüksek olduğu ölçülmüş bulunuyor. Ayrıca bu arkeon, basit inorganik maddelerden enerji elde etmekte ve oksijensiz ortamda yaşamakta. Bu özellikler göz önüne alındığında böyle bir canlının

hem fizyolojik, hem de evrimsel açıdan dünyamızda ilk oluşan canlılarla birçok ortak nokta taşıyabileceği akla yakın geliyor.

Bu proje ortaya dikkat çekici bir sonucun daha çıkmasına neden oldu. Bu arkeonun genomunun yaklaşık % 40’i diğer canlılarda örneği olmayan özgün dizilerden oluşmakta. Buna karşılık, bir bakteri olan Haemophilus influenzae genomunun % 80’i, araştırılmış diğer canlı genomlarında saptanmış dizilerle benzeşim (homoloji) gösteriyor. Buna göre, arkeler evrimsel açıdan diğer canlılardan oldukça yalıtılmış organizmalar. Prokaryot olmalarına karşılık arkelerle bakteri genomları arasındaki dikkate değer farklılık, bu organizmaların, evrim sürecinin oldukça başlarında bakterilerden ayrılarak kendi yollarına gittiklerini göstermektedir. Bu bulgu, zaman içinde bilim insanlarının arkelerin tanımlamasında kullandıkları arkebakteri kavramını terketmelerinin nasıl doğru bir karar olduğunu göstermesi açısından da ilginç. Araştırmanın ortaya koyduğu diğer bir önemli sonuç, arkeler ile ökaryotlar yani yüksek organizasyonlu canlılarla arasındaki dikkat çekici yakınlıktır. Tüm bunlar arkelerin genomlarından bilim dünyasının öğreneceği çok şey bulunduğunu gösteriyor.

Sonuç olarak arkeler, bizleri şaşırtan ve gelecekte insanlığa büyük yararlar sağlayacak bir canlı grubu olarak yükselişini sürdürüyor. Önümüzdeki yıllarda uzay biyolojisinde de aktif bir yer alacakları görülmekte. Yer dışı yaşam araştırmaları sonucu uzayda bulunabilecek ilk canlıların arkelere benzeşmesi yüksek bir olasılık. Aynı şekilde Güneş sistemimizde yer alan bazı gök cisimlerinin yaşanabilir yerler haline dönüştürülme projelerinde de bu organizmaların öncelikle kullanılacağı kesin. Görünen o ki gelecek, insanlık için büyük sürprizleri içinde saklıyor.

Doç. Dr. Haluk Ertan

İ.Ü. Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı

Kaynaklar

- Howland J.L. (2000). The Surprising Archaea. Oxford University Press Inc. New York, Oxford.
- White D. (2000). The Physiology and Biochemistry of Prokaryotes. Oxford University Press, Inc. New York, Oxford.
- Danson M.J., Hough D.W., Lunt G.G. (Ed.). (1992). The Archaeobacteria: Biochemistry and Biotechnology. Portland Press. London, Chapel Hill.
- Madigan M.T., Martinko J.M., Parker J. (1997). Brock Biology of Microorganisms. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.