

“Ekstreemofiller”

UZAYDAN GELEN CANLILAR

Antartika'nın Allan Hill bölgesinde 1984'te bulunan ve analizleri 1996 yılında tamamlanan ALH84001 kodlu meteor üzerinde araştırmalar yapıldı. Meteoradaki oval ve uzun yapılı fosilleşmiş şekillerin yeryüzündeki nanobakterilere çok benzediği belirlendi.

Prof. Dr. Adil Denizli, Alper Türkoğlu, Kivılcım Çaktı
Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü
Biyokimya Anabilim Dalı

Astrobiyoloji evrendeki hayatta ilgili araştırmalar yapan çok disiplinli bir bilim dalıdır. Bu bilim dalının ilk amacı evrendeki hayatın kökeni, dağılımı ve evrimidir. Astrobiyolojinin ilgilendiği başlıca ana araştırma konuları: Hayatın ne olduğu Dünya üzerinde nasıl yayıldığı, astrofiziksel gözlemlerin Dünya'daki yaşamın bu günü ve geleceği hakkında neler söyleyeceği, hangi tip habitatların bir canlının yaşadığı alan veya çevre) yaşama elverişli olduğu, eğer diğer gezegenlerde hayat varsa, bizim bunu nasıl ifade edeceğimiz, diğer gezegenlerde hayatın nasıl oluşacağı, canlıların uzaydaki yaşamları veya yaşama nasıl uyum sağlayacakları, biyoastronölik ve benzer konulardır.

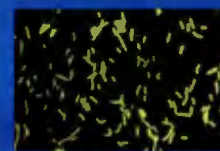
2008 itibarıyla, dünya dışı yaşamla ilgili kesin bir şey söylemek her ne kadar imkansız gözüküp, şu an hayatın olduğu tek gezegen bizim gezegenimiz gibi gözükse de, Mars yüzeyinde eskiden büyük miktarda su bulunduğu ve Jüpiter'in uydularında buz olduğu fikri buralarda yaşamın imkâna geldiği veya daha öncede olduğu yönünde bilim insanlarının görüşlerini şekillendirmektedir.

Bilim insanları Jüpiter'in uyduları ve Mars'ta bulmayı

hedefledikleri canlılar elverişli biyom gibi kompleks yapıları değil. Zaten şu an araştırma konusu olarak odaklanılan bu 2 gezegenin ekstrem yaşam şartlarında da bizim yaşamamız beklenemez. Bilim insanları bu düşüncelerden yola çıkarak birçok olumsuz koşulda hayatta kalabilen ve ökaryotlara (çok hücrelilere) nazaran olumsuz koşullara daha dayanıklı olan, genetik materyallerini ortamın şartlarına göre kolaylıkla değiştirebilen, dünyada canlılığın başlangıcından bu güne kadar var olan ekstremofillerin astrobiyolojik çalışmalar için model canlı grubu olarak seçmişlerdir. Mikroorganizmaların model olarak seçilmelerinde, Antartika'nın Allan Hill bölgesinde 1984'te bulunan ve analizleri 1996 yılında tamamlanan ALH84001 kodlu meteor üzerinde yapılan araştırmalar sonucu, meteoradaki oval ve uzun yapılı fosilleşmiş şekillerin yeryüzünde bulunan nanobakterilere çok benzemesi de etkili olmuştur.

Ekstreemofiller

Genellikle tek hücreli olan ve gelişmeleri için ekstrem çevre koşullarına gereksinim duyan mikroorganizmalara ekstremofiller denir. Ekstreemofiller, diğer birçok mikroorganizmanın yaşayamayacağı ortamlarda gelişebilen mikroorganizmalardır.



Bu canlılar -20 °C ile +120 °C arasında yaşayabiliyor.

Ekstrem çevre koşulları; çok yüksek (45 ile 121 °C arası) ya da çok düşük (-2 ile -20 °C arası) sıcaklıklar, yüksek tuzluluk (2-5 M NaCl) ve çok yüksek asitlik (pH > 9) ya da çok yüksek asitlik (pH < 4) koşullardır. Çeşitli ekstremofiller, yüksek basınç, yüksek radyasyon ya da toksisite için ortamalarda, periyotlarında çok derin menfaçlerde ya da su seviyesi ve besin miktarı çok düşük olan kuru ortamlarda yaşamını sürdürebilirler. Ekstreemofilla mikroorganizmalar genellikle arkaalara dahil canlılardır. Arkae domeni ekstremofillerin geniş dağılımı Çizelge 1. Ekstreemofiller ve buldukları ekstrem çevre koşulları Natronococcus ve bazı Bacillus türleri olduğu bir domain olarak bilinmesine karşın, ekstremofiller hem bakteriler hem de arkaeler içinde sayısız ve farklı genetik hatlarda yaygın olarak bulunur. Arkae ve ekstremofillerin ara sıra kendi ortamlarında yer değiştirmesine karşın, pek çok mesofilik arkaenin ve pek çok ekstremofillik bakterilerin olduğu bilinmektedir. Yine de, tüm ekstremofiller tek hücreli değildir. Çok hücreli olarak örnek olarak ekstremofilla metazooidlerden Pompeii kurdu, psikrofilik (soğukta yaşamı seven) Gyrodactylodes (böcek), atarak kabuklular (crustacea) ve Tardigrada (mikroskobik canlı) verilebilir. Ekstreemofillerin optimum gelişim sıcaklıkları ve bulunabildikleri çevreler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Fenotip	Ortam	Mikroorganizma
Termofilik	45-80 °C	Thermus, Methanobacterium, ve bazı Bacillus türleri
Hipertermofilik	80-113 °C	Methanothermus, Pyrolobus, Pyrococcus ve Thermotoga türleri
Psikrofilik	-2 - 20 °C	Psychrobacter, Alteromonas türleri
Halofilik	2-5 M NaCl	Halobacterium, Halorurum türleri
Asidofilik	pH<4	Sulfolobus, Thiobacillus türleri
Alkalofilik	pH>9	Natronobacterium

Termofiller: Bazıları Sıcak Sever

Hayat için en üst sıcaklık limiti kaçtır? Veya yer küresinde 200-300 °C'de yaşayan süper canlılar var mıdır? Bu soruların cevaplarına ekstremofiller arasında en çok araştırma yapılan grup olan ve yaygın adıyla termofiller (sıcak seven mikroorganizmalar) olarak bilinen canlıların yapılan araştırmalar sonucunda ulaşılmak isteniyor.

Termofiller 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşar ve çoğalırlar. hipertermofiller olarak adlandırılan bir üst grup ise 80 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşar. Öyle ki bazı hipertermofiller deniz seviyesinde ki suyun kaynama sıcaklığı olan 100 °C'den daha sıcak ortamlarda (habitatlarda) bile yaşayabilirler. Karşılaştırmak gerekirse birçok toprak kaynaklı bakteri normal gelişimini 25-40 °C'de sürdürürken, termofiller ve hipertermofiller hiçbir çok hücreli canlının uyum sağlayamayacağı 50 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda yaşamını sürdürebilirler. Şu an Wisconsin Üniversitesi'nden emekli olan Thomas D. Brock ve çalışma arkadaşları Wyoming'deki Yellowstone Ulusal Milli Parkı'nda bulunan termal su kaynaklarında yaptıkları uzun dönemli mikrobiyal kaynaklı çalışmalarda, bundan yaklaşık 40 yıl önce termofillerin 60 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda yaşadıklarını belirlemişlerdir. 1960'ların sonlarında 70 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda yaşayan ilk ekstremofilli tanımlandı. Tanımlanan bu bakteri daha sonra dünya çapında PCR teknolojisi kullanılarak Taq Polimeraz enziminin üreten Thermus aquaticus'tan beslenen değildi. Thermus aquaticus'un bulunduğu zamanla aynı zamanda sıcak ve asitlik



termal sularda yaşayan *Sulfolobus* acidobalderia adlı hipertermofil tanımlandı. Bu bakteri ortamı sıcaklığının 65 °C olduğu sıcaklıklarda yaşayabiliyordu. Böylelikle yapılan bu çalışmalarda mikroorganizmaların kaynar su sularda bile bulunabileceğini gösterilmiş oldu. Brock yaptığı çalışmaların sonucunda, bakterilerin yüksek sıcaklıklara okaryotlara nazaran daha iyi adapte olduğunu ve mikroorganizmaların sıvı bir suyun bulunduğu her yerde bulunabileceği gösterdi. 1970'lerin sonlarında başlayan diğer çalışmalar, bilim insanlarını daha çok sıcak termal kaynaklara ve denizlerin (özellikle okyanusların) derinliklerinde bulunan sıcak su çıkış noktalarına (hidrotermal menfezler) yönlendirdi. (Fotograf-1). Hidrotermal menfezler, deniz altındaki mihralca zincir 350 °C'deki süper sıcaklığa sahip suyu fişkırlan kabilyurundan meydana gelmiş basca döürümlü yapılarıdır. Bu güne kadar Almanya'daki Regensburg Üniver-

sitesi öğretim üyesi olan Karl O. Stetter ve çalışma arkadaşları 50'den fazla hipertermofil izol edip tanımlamışlardır. Tanımladıkları mikroorganizmalar arasında sıcaklığa en dayanıklı olan deniz altındaki hidrotermal menfezlerin bulunduğu yerlerden izole edilen *Pyrolobus fumarii*'dir. Bu bakteri 105 °C'de tüm yaşamsal özelliklerini gösterir. Bu canlının 113 °C'de dahi canlılığını sürdürdüğü gözlemlenmiştir. Bu canlıyla yapılan çalışmalarda, canlınin kendisi için çok soğuk bir sıcaklık olan 90 °C'de yaşayamadığı görülmüştür. Bir başka deniz altındaki hidrotermal menfezlerde yaşayan hipertermofilik bir metan üreticisi arkae olan *Methanopyrus* son yıllarda tüm okullardan öğrenenler için Dünya'nın ilkin atmosfer metan ağırlıklı olduğundan, bu arkaenin gelişiminin ve proteinlerinin genomik ve proteomik çalışmalarıyla aktifitesinin bölünmesiyle dünyanın ilk oluşum şartlarının daha iyi anlaşılması hedeflenmektedir.

Sıcaklıkla nasıl baş edilir?

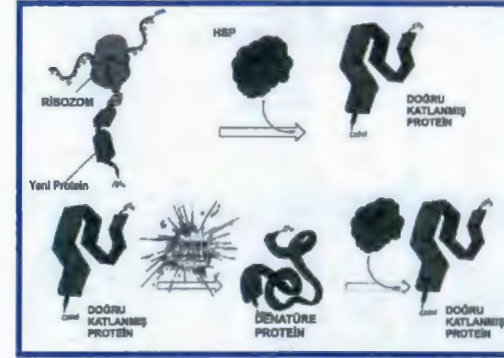
Termofiller olarak adlandırılan mikroorganizmalar 45 °C'nin üzerinde gelişirken hipertermofiller olarak bilinen mikroorganizmalar 80 °C'nin üzerinde gelişimini sürdürürler. Yüksek sıcaklıklarda yaşayan organizmaların varlıkları 20. yy'dan önce bilinmesine rağmen aşırı yüksek sıcaklıktaki bu organizmaların yapısal ve fonksiyonel adaptasyonları hala araştırılmaktadır.

Son zamanlarda termofilliğin moleküler temelini ne olduğunu öğrenmek için biyoteknoloji, moleküler biyoloji ve astrobiyoloji alanlarında araştırmalar yapılmaktadır. Biyoteknoloji, daha kararlı ve etkili enzimlerin bulunması ve geliştirilmesiyle ilgilidir. Moleküler biyoloji ve astrobiyoloji iki konuyla ilgilenebilir. İlkin bilinen biyomoleküllerin ısıya dayanıklı moleküllere dönüşmesiyle ortaya çıkan moleküler adaptasyonu belirlemektir. İkincisi ise canlı sisteminin kaynama sıcaklığında dahi bu sıcaklıkla nasıl başa çıktığıdır.

Termofiller yüksek sıcaklığa adapte olmuş canlıların kanıtıdır. Peki, nükleik asit, lipid ve protein gibi makro moleküller bu sıcaklıklarda nasıl bozulmadan kalabilirler? Nasıl oluyor da yaşayan sistemlerdeki koordinasyon ve denge bu sıcaklıklarda olduğu gibi kalır? Bu sorular doğrultusunda iki cevap ortaya çıkar. Birincisi termofillerde bulunan makro moleküller küçük değişikliklerle modifiye olmuşlardır. Böylece ısıya dayanırlıkları artmıştır. İkinci cevap ise hücre içi koşullarının modifikasyonu ısıya dayanırlıklarının artmasına neden olur. Bu modifikasyonlar hücre içi tuzlarının değişimi, uyumlu çözünen maddelerin üretimi ve özel (spesifik) proteinlerin sentezidir.

Çeşitli ekstrem koşullara dayanabilen canlıların yapılan araştırmalarında 'heat shock proteinler' (HSPs) adı altında bir protein grubu ortaya çıkmıştır. HSP'lerin üretiminin termofilik ve hipertermofilik canlılarda oldukça çok olduğu, HSP genleri olarak bilinen bir grup genin sıcaklığın artması gibi stresli koşullarda ifade olup bu proteinlerin sentezlediği gözlemlenmiştir. Sıcaklığa maruz kaldıktan sonra

bu genler ifade edildiği için gen grubu bu şekilde adlandırılmıştır. Bu proteinler oldukça önemlidir. Çünkü bunlar hücre içinde gerekli durumlarda üç boyutlu kıvrımlarla bazı yeni protein formlarını meydana getirir. Stres proteinleri aynı zamanda denatüre (yapısı bozulmuş) olmuş proteinlerin onarımına da yardımcı olurlar.



Şekil 1: Şekilde HSP Ter'nin iki fonksiyonu gösterilmektedir.

Üstteki şekilde; yeni polipeptit zincirleri ribozom tarafından hücre içinde üretilirken HSP Ter, fonksiyonel proteindeki polipeptit zincirinin doğru katlanmasına yardımcı olur. Heat shock proteinlerin varlığı yeni proteinlerin üç boyutlu konfigürasyonunu oluşturmasını sağlar. Altta şekildedir ise; proteine uygulanan stresten (burada değişilen stres sıcaklıktır) sonra oluşan proteinlerin yeniden eski halini almasına yardımcı olur.

HSP'lerin yanı sıra proteini oluşturan atomlar arasındaki hidrojen bağları ve atomların yapılarındaki eşleşmemiş elektronların sayıları arttıkça hipertermofilik proteinlerin üç boyutlu yapılarındaki kararlılığın arttığı gözlemlenmiştir.

Canlılar için DNA oldukça önemlidir. Yüksek sıcaklıkta yaşayan canlılar için nükleik asitlerin nasıl olupta bozulmadan kalabilirdiği ve görevini yerine getirdiği büyük merak konusudur. Termofilik canlılar nükleik asitlerini ısıya karşı dayanıklı hale getirmek için bazı stratejiler geliştirmişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda DNA'nın korunmasında temel amaç sadece genetik bilginin bütünlüğünü sağlamak değil, aynı zamanda metabolik fonksiyonları da emniyete almaktır. Termofilik prokaryotlar ilimî ortamda yaşayan canlılarla karşılaştırıldıklarında nükleotid oranları ve tercihleri, esneklikleri, bazların modifikasyonları ve histon-histon benzeri proteinlerin varlıkları bu iki canlı grubunun DNA'sı arasındaki farklılıkları gözler önüne sermektedir.

83-100 °C veya bu sıcaklıktan daha da yüksek sıcaklıkta yaşayan canlıların DNA'larını korumak için sahip oldukları özelliklerden biri özellikle gen kodlayan bölgelerinde CG (sitozin-guanin) içeriğinin oldukça yüksek olmasıdır. Termofiller mezofillere (normal sıcaklıklarda yaşayan canlılar) göre DNA'larında daha çok CG içerirler. Fakat hipertermofillerle karşılaştırıldığında, hipertermofillerden daha az miktarda CG içerirler.

Fakat unutulmamalıdır ki; DNA'nın ısıya karşı dayanıklı olmasından CG içeriği tek başına sorumlu değildir.

CG içeriğinden başka genetik materyalin korunmasını sağlayacak başka özellikler de vardır. Bu özelliklerinden bir tanesi de potesyum ve çok değerli katyonların 60 °C ve

üstü sıcaklıklarda nükleik asit oranına bakmaksızın termal kararlılığın korunmasında etkili olduğudur.

Yukarıdaki faktörlere ek olarak purin-purin ve pirimidin-pirimidin nükleotidlerinin düzenlenmesi verilebilir. Hipertermofillerin DNA'sı daha yüksek sıcaklıkta purin-purin ve pirimidin-pirimidin kompozisyonu içermektedir. Bu kompozisyon DNA'ya daha az esneklik sağlarken büyük bir ihtimalle ısıya dayanıklı olmasını da sağlar. Bu tarz nükleotid düzenlemelerinin artması 60 °C'nin üzerine çıkılmasıyla artmıştır. Histon-histon benzeri proteinlerin DNA'ya bağlanması veya ilişki olması DNA'nın ısıya adapte olmasında tercih ettiği diğer bir yoldur.

Bahsettiğimiz tüm bu DNA'nın korunmasını sağlayan faktörlere rağmen termofil DNA'ları kolaylıkla zarar görebilir. Hipertermofillerdeki DNA zararları diğer organizmalar kıyasla daha yüksek oranda olmaktadır. Sitolinlerdeki hidrolik bozunma, guanin oksidasyonu, zincirin kırılması yüksek sıcaklıkta daha çok olmaktadır. Bu zararların ortadan kaldırılması için termofilik canlılar kendi tamir sistemlerini geliştirmişlerdir. Mezofillerde DNA tamiri için birçok protein bulunurken termofillerde aynı şekilde tamir mekanizmasında görevli proteinler bulunur. Böylece oluşan hatalar ortadan kaldırılarak, yüksek sıcaklıklarda da canlılığın devamı sağlanmış olur.

Psikrofiller

Soğuk habitatlara sıcak habitatlara nazaran Dünya'da daha çok rastlanır. Örneğin, Dünya yüzeyinin yarısından fazlasını kaplayan okyanuslarda ortalama sıcaklık 1-3 °C arasında değişir ve başka bir örnek olarak yaz aylarını bile sadece birkaç hafta donsuz geçiren ve yılın büyük bir kısmını kar ve buz altında geçiren büyük kara parçaları arktik ve antarktika verilebilir. Bu çok kırılğan sıcaklıklarda yaşayabilen canlılara soğuk seven (yaygın adıyla psikrofiller) mikroorganizmalar denir. James T. Staley ve çalışma arkadaşları Antarktika'da yaptıkları çalışmalarda soğuk seven bir mikroorganizma olan *Polaromonas vacuolata*'ı gözlemlenmişlerdir. Bu canlının optimum gelişim sıcaklığı 4 °C dir ve 12 °C'nin yukarısındaki sıcaklıklarda gelişimi için çok sıcaktır. Soğuk seven organizmalar, soğuğa ihtiyaç duyan endüstriyel alanlarda ihtiyaç duyulan enzimler için birçok bilim insanı ve endüstri kolunun ilgisini çekmesinin yanı sıra astromikrobiyoloji çalışmalarında da özellikle soğuk gezegenlerde yaşayabilecek mikroorganizmalar için model görevi görmektedir. ●

Biliminsanları Jüpiter'in uyduları ve Mars'ta bizim gibi kompleks yapıları canlıları bulmayı hedeflemiyor.

