

Mikroorganizmaların Çevreye Hizmeti

Dünyadaki hızlı sanayileşme ve modernleşme kaygı verici bir sonuç da doğuruyor: İnanılmayacak kadar çok miktarda toksik atık üretimi ve bunların çevreye yayılması, yani çevre kirliliği. Ancak doğa kendini yenileme mekanizması sayesinde bu durumun üstesinden gelmeye çalışıyor. Birçok mikroorganizma biyoremediasyon (biyolojik iyileştirme) ve biyodegradasyon (biyolojik parçalanma) faaliyetleri neticesinde çevremizdeki zararlı kimyasalları parçalayarak çevresel bulaşmanın temizlenmesinde etkin ve doğal bir rol alıyor.

Atıklar ülkelerin önemli çevre sorunları arasında yer alıyor. İnsanlar tarafından kullanılan kaynakların yaklaşık üçte biri atığa ve emisyonu dönüşüyor. Çeşitli kaynaklardan çıkan katı, sıvı ve gaz halindeki kirletici maddelerin havada, suda ve toprakta yüksek oranda birikmesi sonucu oluşan çevre kirliliği için etkili ve geniş kapsamlı önlemler alınmazsa, dünyamızdaki tüm canlı varlıklar için yaşama şartları durmadan bozulmaya devam edecek. Plansız endüstrileşme ve sağlıksız kentleşme, evsel, kentsel ve endüstriyel atıkların çevreye bırakılması, nükleer enerji santralleri, radyoaktif atıklar, ortama sızan petrol, verimi artırmak amacıyla tarımda kimyasal maddelerin ve ilaçların bilinçsizce kullanılması, gerekli çevresel önlemler alınmadan ve arıtma tesisleri kurulmadan, geri dönüşüm alanları hazırlanmadan yoğun üretime geçen sanayi tesisleri ve sanayi bölgeleri çevre kirliliğini tehlikeli boyutlara çıkardı.

Son yıllarda elektrik ve elektronik endüstrisi dünyanın en büyük ve hızla büyüyen üretim endüstrisi. Ürünlerinin hızla eskimesi/demoda olması nedeniyle eski/hurda elektronik cihazlar (elektronik atıklar) dünyada en ciddi katı atık problemini oluşturuyor. Bu atıklar büyük yer kaplamalarının yanı sıra inorganik kirleticiler olarak sayılan ağır metalleri de (bakır, kurşun, cıva, kadmiyum, berilyum, nikel, çinko, krom ve bromlu alev

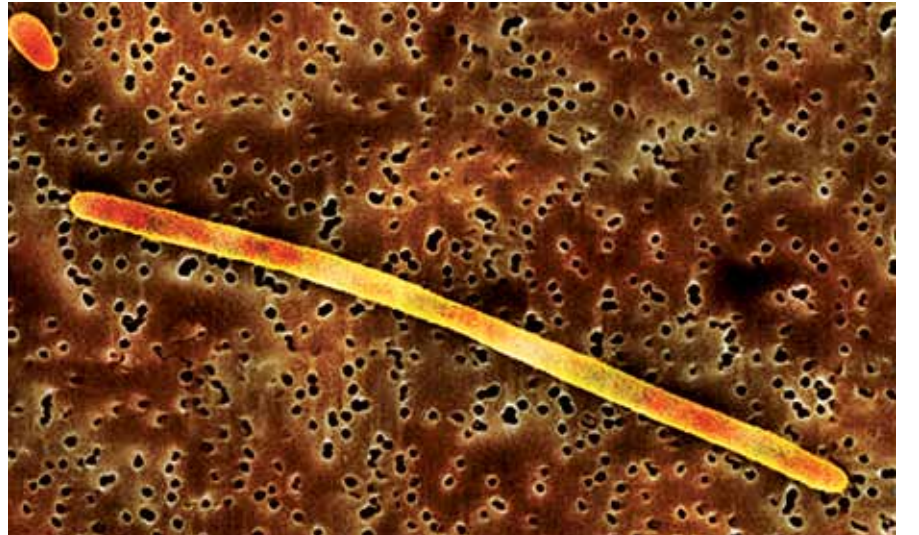
geciktiriciler) çevreye yayıyorlar. Bazı organik kirleticiler (petrol hidrokarbonları, fosil yakıtlardan oluşan aromatik hidrokarbonlar, endüstriyel işlemlerde kullanılan toksik bifeniller, atrazin ve bentazon gibi zirai ilaçlar) çevrede çok uzun süre kalarak çevre güvenliğini ve çevre sağlığını tehdit ediyor.

Biyolojik İyileştirme ve Biyolojik Parçalanma Nedir?

Hızlı sanayileşme ile beraber çevrenin de hızla kirlenmesi ve bu durumun doğurabileceği sınırsız tehlike, ancak son çeyrek yüzyılda yeterince anlaşılabilir. Günümüzde topraktaki ve sularındaki organik ve inorganik kirleticileri temizlemek ve kontrol altında tutmak için birtakım fiziksel, kimyasal ve biyolojik iyileştirme yöntemleri kullanılıyor. Biyolojik iyileştirme yöntemlerinin diğer yöntemlere göre birçok avantajı var. Masrafsız olması yani maliyetin düşük olması, kullanım kolaylığı, organik kirleticilerin tamamen parçalanması, çevre dostu bir yöntem oluşu ve yan etkilerinin olmayışı en önemlileri arasında sayılabilir. Bir çevre kirleticisini ortamdaki uzaklaştırmak için bakteri, fungus (mantar), alg ve bitki gibi organizmaların kullanılmasına **biyolojik iyileştirme**, bu organizmaların çeşitli zararlı kimyasal bileşiklere parçalayıp mineralize etmesine ise **biyolojik parçalanma** diyoruz. Mikroorganizmalar tarafından salgılanan yüzey aktif

Doğada birçok malzeme mikroorganizmalar tarafından farklı hızlarda parçalanır ve mineralize edilir.

Ürün	Biyolojik parçalanma zamanı
Sebzeler	5 gün-1 ay
Kâğıt	2-5 ay
Pamuklu kumaş	6 ay
Portakal kabuğu	6 ay
Ağaç yaprakları	1 yıl
Yün çorap	1-5 yıl
Plastikle kaplanmış karton kutular	5 yıl
Deri ayakkabı	24-40 yıl
Naylon kumaş	30-40 yıl
Alüminyum teneke kutular	80-100 yıl
Cam şişeler	1 milyon yıl
Strafor bardaklar	500 yıl-∞
Plastik poşetler	500 yıl-∞



Derin sularda bulunan ve petrol hidrokarbon zincirlerini parçalayan bakteri hücresi.

Bunları Biliyor musunuz?

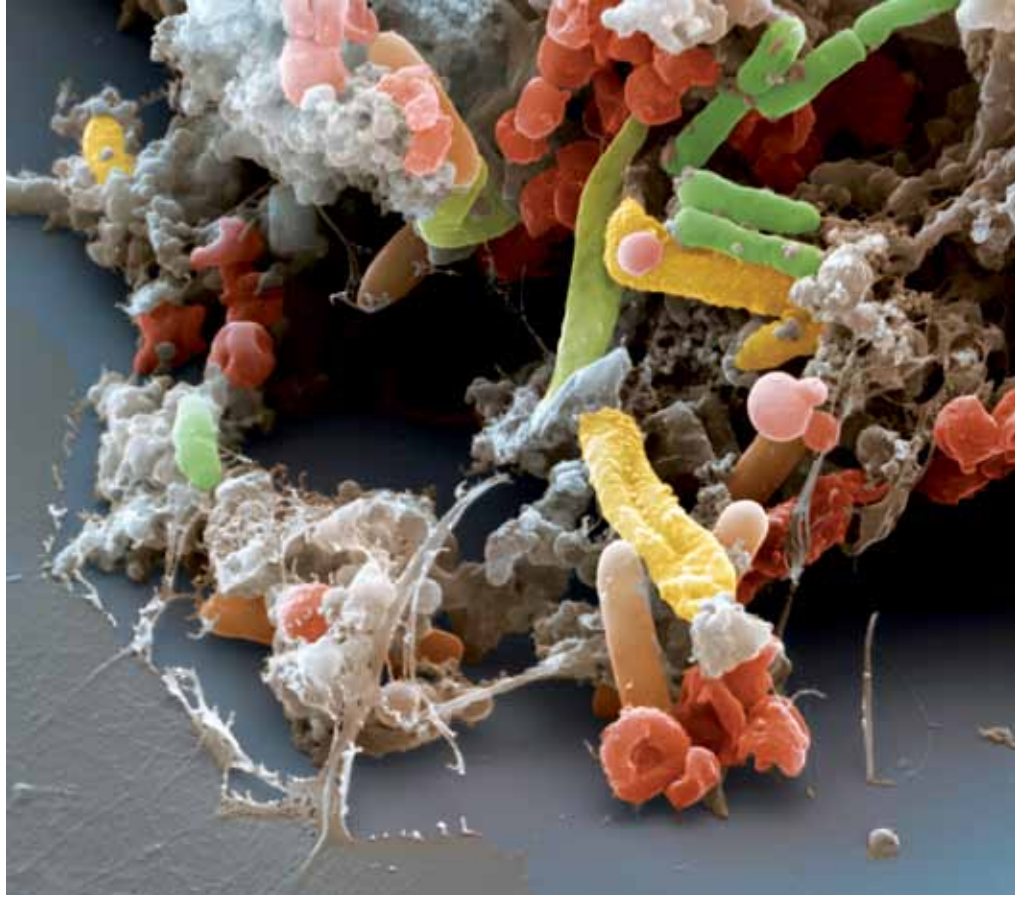
Birçok mikroorganizma hastalığa neden olmaz.

Mikroorganizmalar soluduğumuz oksijenin yaklaşık yarısını üretir. Mikroorganizmalar metabolizma işlemleri ile yaşamın kimyasını yürütür ve küresel iklimi etkiler. Mikroorganizmalar birçok zararlı kimyasal maddeyi parçalayarak çevreyi temizler.

maddeleri ve enzimler bu işlemin gerçekleşmesine yardımcı oluyor. Parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmalar genelde oksijen, ışık ve suya ihtiyaç duyar, ancak birçok mikroorganizma bu işlemi oksijen olmadan da yapmayı başarır. Doğal bir işlem olduğu için zamana ihtiyaç vardır. Bu işlemi yapan mikroorganizmalar, doğal yaşam alanlarında her durumda hazır bulunur. Bazı durumlarda işlemi daha etkili kılmak için ortama ilave besin kaynağı olarak azot, fosfor ve demir içeren gübreler eklenebilir.

Biyolojik İyileştirmenin ve Biyolojik Parçalanmanın Arkasındaki Bilimsel Gerçek Nedir?

Cevap gayet basit: Canlı organizmalarda oluşan ya da bu organizmalara dışardan giren maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak değişim ve dönüşüm tepkimele-ri dizisi, yani **metabolizma**. Bu da iki şekilde gerçekleşiyor: İlki besinsel maddelerin canlı dokulara dönüşmesi yani anabolizma, ikincisi canlı varlıklarda meydana gelen organik bileşiklerin parçalanması, yıkılması ve enerji sağlanması, yani katabolizma. Kirlenmiş bölgelerdeki kimyasallar yapım ve yıkım işlemlerinin bir parçası haline gelir. Örneğin petrol ürünleriyle bulaşmış ortamlarda bulunan hidrokarbonlar mikroorganizmalar tarafından alınarak, canlı hücre dokularının yapıtaşlarını oluşturmak için besin maddesi olarak kullanılır. Mikroorganizmalar için gerekli olan diğer kimyasallar arasında fosfor, potasyum, kalsiyum



Toprakta ve yeraltı sularında bulunan klorlanmış çözücü kimyasalları ortamdaki uzaklaştıran Dehalococcoides sp. bakterileri diğer bakteriler arasında kırmızı renkte görünüyor.

ve sodyum bileşikleri gelir. Bununla beraber, krom, kobalt, bakır ve demir gibi iz elementlere de ihtiyaç duyulur. Tüm bu kimyasal maddeler bulaşık ortamlarda fazlasıyla bulunarak ihtiyaca hizmet eder.

Çevre İşçisi Organizmalara Örnekler

Petrol ürünlerinde bulunan organik kirleticiler, örneğin aromatik hidrokarbonlu bileşikler, mikroorganizmalar tarafından enerji ve besin kaynağı olarak kullanılarak kolayca parçalanır ve karbondioksit ve suya dönüştürülür.

Biyolojik iyileştirme sadece mikroorganizmalarla sınırlı değil. Bazı bitkiler bitkisel iyileştirme (*phytoremediation*) denilen işlemi gerçekleştirerek topraktaki ve sudaki ağır metal, pestisit, çözücü ve patlayıcı gibi kimyasal maddelerden kaynaklanan bulaşıklığı temizliyor. Bu tür bitkiler ağır metalleri bünyelerinde, köklerinde, toprak üstü yeşil aksamalarında biriktiriyor

ve daha sonra hasat edildiklerinde kirleticiler ortamdaki uzaklaştırılmış oluyor. Hasat edilen bu bitkiler ya yakılıyor ya da bazı durumlarda geri dönüşüme tabi tutularak endüstride kullanılabilir. Özellikle yaklaşık son 20 yıldır ayçiçeği, hardal bitkisi, eğreltiotu, yonca, kavak, söğüt, ardıc ağaçları ve bazı çim bitkileri bu iş için başarılı bir şekilde kullanılıyor. Yapılan çalışmalarda bazı eğreltiotlarının yapraklarında topraktakinden 200 kat daha fazla arsenik depolayabildiği söyleniyor. Çernobil nükleer santrali felaketinden sonra uranyum ile kirlenmiş toprakların ayçiçeği bitkileriyle temizlendiği bildiriliyor.

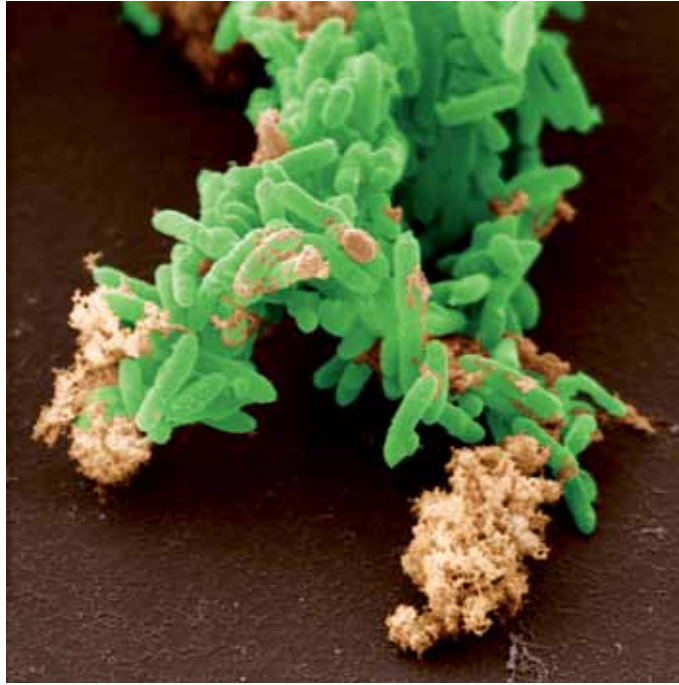
Yılda yaklaşık 600,000 ton ham petrolün bir şekilde çevreye sızdığı tahmin ediliyor. Bu sızıntılar toprağa oradan da yeraltı suyuna karışarak kirlilik ve tehlike oluşturuyor. Aynı tehlike deniz ve okyanus yaşamı için de söz konusu. Bir günde yaklaşık 15 milyon litre petrolün açık denizlere ve okyanuslara sızdığı uzmanlar tarafından bildiriliyor.

Bunun en son örneğini 20 Nisan 2010'da yaşadık. Meksika Körfezi'ndeki bir derin su petrol istasyonunda yaşanan patlama sonucunda petrol kulesinin batması ile milyonlarca litrelik ham petrol okyanusa yayıldı. Bu yayılma uydu fotoğraflarında bile net bir şekilde görülüyordu. Yapılan filtreleme çalışmaları neticesinde yüzeydeki bulaşıklık bir nebze olsun temizlendi, ancak derinlere inen sızıntı ve kirlilik endişe vericiydi. İşte bu noktada petrol yiyen milyarlarca sayıda minicik bakteri devreye girerek bu sorunu halletmeye başladı. Derin sularda doğal olarak bulunan *Alcanivorax borkumensis* isimli bakteri oksijeni kullanarak

petrol hidrokarbonlarını parçalayıp karbondioksit'e çeviriyor. Meksika Körfezi'ndeki mevcut oksijenin % 30 oranında azalması bu bakterilerin hızlı bir şekilde çalıştığını gösteriyor. Bu tür petrol ürünleriyle beslenen bakteriler derin sularda yaygın olarak bulunuyor Antarktika'dan Kuzey Kutbu'na kadar hemen her yerde bu mikroorganizmaları bulmak mümkün. Petrolle bulaşık ortamlara o kadar iyi uyum sağlamış durumdadır ki, genetiği değiştirilerek sırf böyle amaçlara hizmet etmek için tasarlanmış süper mikroorganizmalar bile doğal olanlar kadar başarılı olamıyor. Yüze

yakın olan kısımlarda bulunan bakteriler bu işi oksijen kullanarak başarıyor, ancak çok derinlerde, sedimentlerde oluşan bulaşıklığı temizlemek için bakteriler oksijen yerine sülfat kullanıyor. Oksijensiz derin ortamlarda petrol hidrokarbonlarının parçalanması oksijenli ortama göre daha yavaş seyrediyor, ama bunun başka yolu da yok, tek çare mikrobiyal parçalanma. *Thalassolituus oleivorans* gibi yüze yakın ılık sularda yaşayan birçok bakteri parçalama işlemini derin sularda yaşayan hemcinslerine oranla daha hızlı gerçekleştiriyor. Bunun sebebi de metabolizmanın derinlere indikçe yavaşlaması, her

10 derecelik sıcaklık düşüşünde metabolizmanın hızı da yaklaşık 2-3 kat azalıyor. Fakat bu tür ortamlarda doğal olarak bulunan bu mikroorganizmalar o kadar çeşitli ve uyumlu ki, hemen her ortamda aynı işi farklı hızlarda başarabiliyorlar. Başarı oranını ortamın sıcaklığının yanı sıra azot, fosfor, demir gibi besin elementlerinin varlığı da etkiliyor. Doğada hidrokarbonları parçalayan organizmalar bakteri, fungus ve mayalar olarak biliniyor. Yapılan çalışmalar etkinlik derecesinin toprak fungusları için % 6-% 82, toprak bakterileri için % 0,13-% 50 ve deniz-okyanus bakterileri için % 0,003-% 100 arasında değiştiğini gösteriyor.



Uranyum ile beslenen *Geobacter metallireducens* bakteri hücreleri yeşil renkte görülüyor.(Solda)

Örnekler sadece petrol hidrokarbonları ile sınırlı değil. Son yıllarda transgenik bakterilerin ağır metal, radyoaktif element, sentetik gübreler, insektisit ve herbisit gibi zirai ilaç kalıntıları ve toluen, benzen, etilbenzen ve ksilen gibi diğer toksik maddelerle kirlenmiş toprakların ve yeraltı su kaynaklarının temizlenmesinde kullanılması konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiş. Günümüzde birçok ticari hazır preparat bu amaçla kullanılıyor. *Pseudomonas putida* isimli bir bakterinin organik çözücü olarak kulla-

nılan tolueni metabolize ederek, toluen ile kirlenmiş bir araziye hiç bir yan etki yaratmadan bir yıl içinde % 75 oranında temizlediği bildiriliyor. Bilindiği gibi uranyum nükleer enerji üretim tesislerinde yakıt olarak kullanılıyor ve atık olarak çevreye bırakılıyor. Uranyumun, uranil iyonu şeklinde çözünür olarak çevreye bırakılması sağlık açısından ciddi tehlikeler oluşturuyor. Ama bazı bakterilerde, bu tehlikeli iyonun zararsız olan çözünmez formuna dönüştürülmesini sağlayan değişik metabolik yollar var. *Desulfovibrio vulgaris* ve *Deinococcus radiodurans* isimli bakteriler radyoaktif elementlerin zararsız hale dönüştürülmesinde

hayli etkili. Bu tür bakterilerin kendi proteinlerini radyoaktif bileşenlerden korumak için geliştirdikleri inanılmaz bir savunma mekanizmaları olduğundan bahsediliyor. Tarım arazilerinde yabancı otların mücadelesinde yoğun bir şekilde kullanılan atrazine gibi bazı herbisitler, toprakta uzun yıllar kaldıkları için kirlilik ve tehlike yaratıyor. Kullanılan bazı bakteriler salgıladıkları enzimler ile atrazine parçalayarak ortamdaki uzaklaştırabiliyor.

Günümüzde toprak, yeraltı suları, deniz ve okyanuslarda meydana gelen kimyasal kirliliğin temizlenmesinde mikroorganizmaların başarıyla

kullanıldığı pek çok örnek var. Mikroorganizmalar, her birinin kendine özgü olması, özel kültür ve çevre koşulları altında önceden tahmin edilemeyen metabolizma yetenekleri ile zor problemlerin çözülmesinde öncelik almaya devam edecektir.

Kaynaklar
<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioremediation>
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biodegradation>
<http://water.usgs.gov/wid/html/bioremed.html>
<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=how-microbes-clean-up-oil-spills>
http://astonjournals.com/manuscripts/Vol2010/GEBJ-3_Vol2010.pdf (Bioremediation: Developments, Current Practices and Perspectives)
 Erdogan, E., Karaca, A., "Bioremediation of Crude Oil Polluted Soils", Asian Journal of Biotechnology, Cilt 3, s. 206-213, 2011.
 Chatterjee, S., Chatterjee, P., Roy, S., Sen, S., "Bioremediation: a tool for cleaning polluted environments", Journal of Applied Biosciences, Cilt 11, s. 594-601, 2008.