

Çevreci  
Mikroorganizmalar  
İş Başında

# biyolojik iyileştirme ve biyolojik parçalanma

Dr. Özlem Kılıç Ekici [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Dünyadaki hızlı sanayileşme ve modernleşme kaygı verici bir sonuç 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. Biyolojik iyileştirme ve biyolojik parçalanma faaliyetleri neticesinde birçok mikroorganizma çevremizdeki zararlı kimyasalları parçalayarak çevresel bulaşmanın temizlenmesinde etkin ve doğal bir rol alıyor.







**A**tıklar ülkelerin önemli çevre sorunları arasında yer alır. İnsanlar tarafından kullanılan kaynakların yaklaşık üçte biri atığa ve emisyonu dönüşür. Çeşitli kaynaklardan çıkan katı, sıvı ve gaz hâlindeki 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.

Elektrik ve elektronik endüstrisi de dünyanın en hızla büyüyen üretim endüstrilerinden. Ürünlerin arızalanması ya da sürekli yeni modellerin piyasaya sürülmesi nedeniyle eski/hurda elektronik cihazlar (elektronik atıklar) dünyada en ciddi katı atık problemini oluşturuyor. Bu atıklar büyük yer kaplamalarının yanı sıra inorganik kirleticiler sayılan ağır metalleri de (bakır, kurşun, civa, 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 İyileştirmenin ve Biyolojik Parçalanmanın Arkasındaki Bilimsel Gerçek Nedir?

Cevap gayet basit: Metabolizma, yani canlı organizmalarda var olan ya da bu organizmalara dışardan giren maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak değişime ve dönüşüme uğramasına neden olan tepkimeler dizisi. Bu da iki şekilde gerçekleşir: İlki besin maddelerinin 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 hâline gelir. Örneğin, petrol ürünlerinin bulaştığı 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 ve sodyum bileşikleri yer alır. Bununla beraber, krom, kobalt, bakır ve demir gibi iz elementlere de ihtiyaç duyulur. Tüm bu kimyasal maddeler bulaşık ortamlarda fazlasıyla bulunarak ihtiyaca hizmet eder.

## BİYOLOJİK İYİLEŞTİRME ve BİYOLOJİK PARÇALANMA

Hızlı sanayileşme ile beraber çevrenin de hızla kirlenmesi ve bu durumun doğurabileceği sınırsız tehlike, ancak son çeyrek yüzyılda yeterince anlaşılabilir. Günümüzde topraktaki ve sulardaki 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 ortamdan uzaklaştırmak için bakteri, fungus (mantar), alg ve bitki gibi organizmaların kullanılmasına biyolojik iyileştirme (biyoremediasyon), bu organizmaların çeşitli zararlı kimyasal bileşikleri parçalayıp mineralize etmesine ise biyolojik parçalanma (biyodegradasyon) diyoruz.**

Mikroorganizmalar tarafından salgılanan yüzey aktif maddeler ve enzimler bu işlemin gerçekleşmesine yardımcı oluyor. Parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmalar genelde oksijen, ışık ve suya ihtiyaç duyar. Yine de birçok mikroorganizma bu işlemi oksijen olmadan da yapabilir. Biyolojik parçalanma, 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.

## Çevreye Hizmet Eden Organizmalara Örnekler

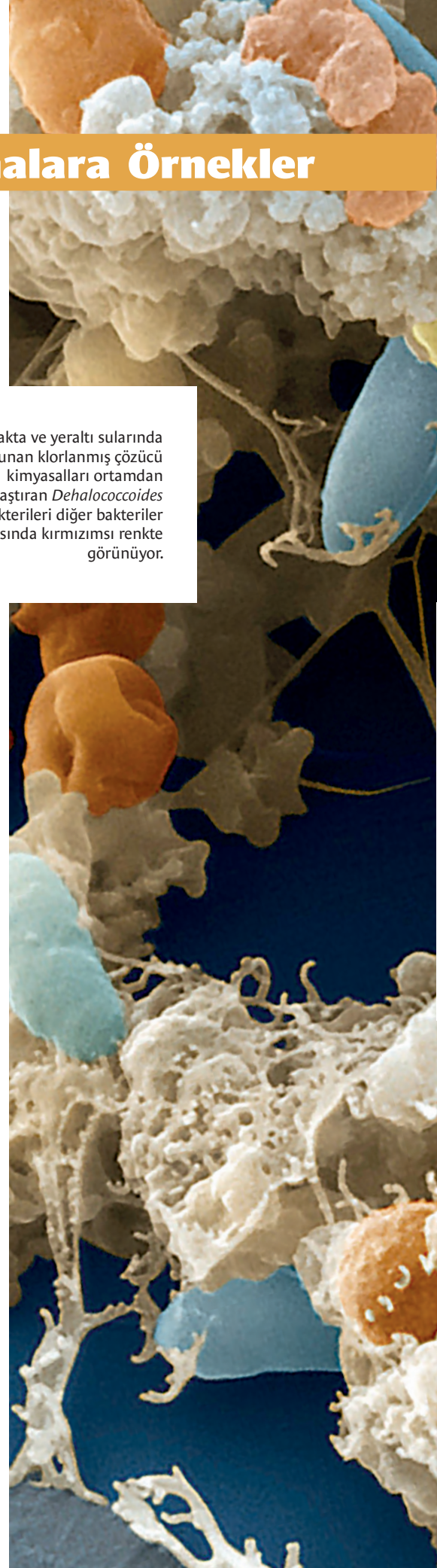
Petrol ürünlerinde bulunan organik kirleticiler, örneğin aromatik hidrokarbonlu bileşikler, mikroorganizmalar tarafından enerji ve besin kaynağı olarak kullanılarak kolayca parçalanıp karbondioksit ve suya dönüştürülür.

Biyolojik iyileştirme yapan canlılar sadece mikroorganizmalarla sınırlı değil. Bazı bitkiler de 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 kısımlarında biriktiriyor. Sonrasında bu bitkiler hasat edildiği zaman kirleticiler de 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, ardıç ağaçları ve bazı çim bitkileri bu iş için başarılı bir şekilde kullanılıyor. Yapılan çalışmalarda bazı eğreltiotlarının yapraklarında, yetiştikleri toprağa kıyasla 200 kat fazla arsenik depolayabildiği söyleniyor. Çernobil nükleer santrali felaketinden sonra uranyum ile kirlenmiş toprakların ayçiçeği bitkileriyle temizlendiği bildiriliyor.

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 köpük bardaklar	500 yıl - ∞
Plastik poşetler	500 yıl - ∞

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



## BUNLARI BİLİYOR 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.

Ağır metaller içeren  
zehirli atıklarla kirletilmiş arazi.

Yılda yaklaşık 600.000 ton ham petrolün bir şekilde çevreye sızdığı tahmin ediliyor. Bu sızıntılar toprağa, oradan da yer altı sularına 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. Fark edilen sızıntılarda vakit kaybetmeden yapılan filtreleme çalışmaları yüzeideki kirlenmeyi bir nebze olsun temizliyor. Ancak derinlere inen sızıntı ve kirlilik için çoğu zaman daha etkili çözüm yollarına başvurmak gerekiyor. İşte bu noktada petrol yiyen milyarlarca minicik bakteri devreye girerek bu sorunu özlemeye başlıyor. Derin sularda doğal olarak bulunan *Alcanivorax borkumensis* isimli bakteri, oksijeni kullanarak petrol hidrokarbonlarını parçalayıp karbondioksite çeviriyor. 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 durumdalar ki genetiği değiştirilerek surf böyle amaçlara hizmet etmek için tasarlanmış süper mikroorganizmalar bile doğal olanlar kadar başarılı olmuyor. Yüzeide 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 seyretse de bunun başka yolu da yok, tek are mikrobiyal parçalanma. *Thalassolituus oleivorans* gibi yüzeide 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. Öte yandan bu tür ortamlarda doğal olarak bulunan bu mikroorganizmalar o kadar çeşitli ve uyumlu ki hemen her ortamda aynı işi farklı hızlarda başarabiliyorlar. Başarı oranını ortam sıcaklığının yanı sıra azot, fosfor ve demir gibi besin elementlerinin varlığı da etkiliyor.



Doğada hidrokarbonları parçalayan organizmalar bakteri, fungus ve mayalar olarak biliniyor. Yapılan alışmalar etkinlik derecesinin toprak fungusları için %6 - %82, toprak bakterileri için %0,13 - %50 ve deniz-okyanus bakterileri için %0,003 - %100 arasında değiştiğini gösteriyor.

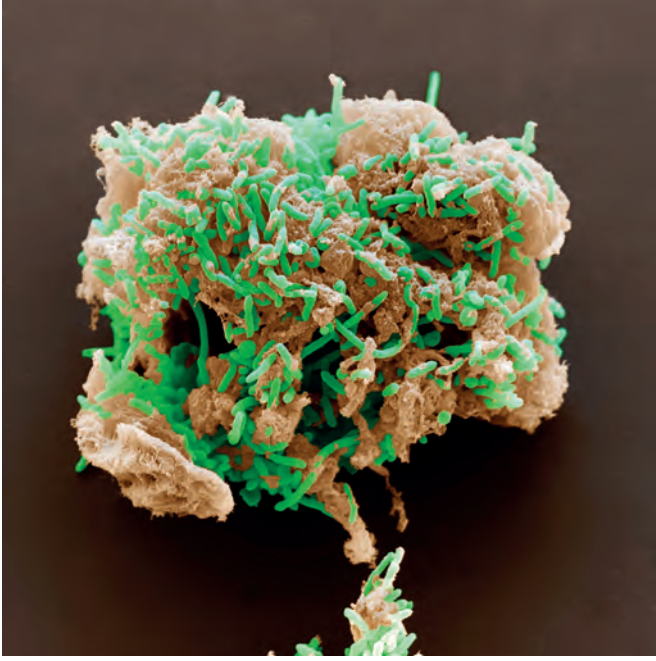




Tarımsal gübre atıklarını temizlemek için kullanılan topraklar. Bu toprakların içeriğinde çok fazla miktarda nitratlayıcı bakteri bulunur. Bu bakteriler amonyağı nitrit ve nitrata dönüştürürler (nitrifikasyon).







Uranyum ile beslenen *Geobacter metallireducens* bakteri hücreleri yeşil renkte görünür.



Manyetik demir oksit (madeni atıklar) ile beslenen *Geobacter sulfurreducens* bakteri hücreleri turuncu renkte görünür.

Örnekler yalnızca bunlarla da 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 yer altı su kaynaklarının temizlenmesinde kullanılması konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiş. Günümüzde ticari olarak satışa sunulmuş birçok hazır preparat bu amaçla kullanılabilir. *Pseudomonas putida* isimli bir bakterinin organik çözücü olarak kullanılan tolüen maddesini metabolize edebildiği ve toluen ile kirlenmiş bir araziye hiçbir 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. Neyse ki 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 hâle dönüştürülmesinde hayli etkili. Bu tür bakterilerin kendi proteinlerini radyoaktif bileşenlerden korumak için geliştirdikleri inanılmaz bir savunma mekanizmaları olduğundan bahsediliyor.

Tarım arazilerinde yabancı otlarla mücadelede 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, yer altı suları, deniz ve okyanuslarda meydana gelen kimyasal kirliliğin temizlenmesinde mikroorganizmaların başarıyla kullanıldığı pek çok örnek var. Mikroorganizmalar, her birinin kendine özgü olması ve özel kültür ve çevre koşulları altında sergiledikleri metabolizma yetenekleri ile zor çevre problemlerinin çözümünde öncelik almaya devam edeceğe benziyor. ■

#### Kaynaklar

- <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](http://astonjournals.com/manuscripts/Vol2010/GEBJ-3_Vol2010.pdf)
- Chatterjee, S., Chattaopadhyay, P., Roy, S., Sen, S., "Bioremediation: a tool for cleaning polluted environments", *Journal of Applied Biosciences*, Cilt 11, s. 594-601, 2008.
- [http://www.yorku.ca/bunchmj/ICEH/proceedings/Sasikumar\\_CS\\_ICEH\\_papers\\_465to469.pdf](http://www.yorku.ca/bunchmj/ICEH/proceedings/Sasikumar_CS_ICEH_papers_465to469.pdf)
- [https://www.researchgate.net/publication/319313545\\_Role\\_of\\_microbes\\_as\\_cleaning\\_degrading\\_industrial\\_wastes\\_for\\_environmental\\_sustainability-A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/319313545_Role_of_microbes_as_cleaning_degrading_industrial_wastes_for_environmental_sustainability-A_Review)
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4707294/>