



## Pestisitlerle Kirletilmiş Ortamların Biyoremediasyonu

Ülküye Dudu Gül<sup>1,2</sup> Şule Aybüke Yavuz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Hiz. MYO, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

<sup>2</sup>Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

<sup>3</sup>Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

\*Sorumlu Yazar:

Geliş Tarihi : 15 Mayıs 2018

E-posta: [ulkuyedudu.gul@bilecik.edu.tr](mailto:ulkuyedudu.gul@bilecik.edu.tr)

Kabul Tarihi: 19 Ekim 2018

### ÖZET

Modern tarım uygulamalarında pestisitler verim artırıcı olarak kullanılmasına karşın, uygunsuz pestisit kullanımı sonucu yüksek miktarlardaki pestisitler toprak ve sulara birikmektedir. Hem çevre hem de sağlık açısından problemler oluşturan bu pestisitlerin biyoremediasyon teknolojileri ile alıcı ortamlardan uzaklaştırılması yaklaşımları son zamanlarda önem kazanmıştır. Bu çalışmada literatürde hem dünya hem de ülkemizde pestisit kullanımı ile ilgili veriler derlenmiş olup, kullanılan pestisitlerin oluşturduğu sorunların giderimi için son yıllarda yapılan biyoremediasyon çalışmaları incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; biyoremediasyon teknolojilerinin pestisitlerle kirletilmiş ortamların iyileştirilmesinde başarılı bir şekilde kullanılabildiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoremediasyon, çevre kirliliği, pestisit

## Bioremediation of Pesticide Contaminated Environment

### ABSTRACT

Although pesticides are used as fertilizer in modern agriculture practices, high amounts of pesticides accumulate in soil and water, resulting in inappropriate pesticide use. Approaches to the removal of these pesticides from the receiving environment with bioremediation technologies have gained importance in recent times, which are problems both in terms of environment and health. In this study, data on the use of pesticides in both the world and our country have been collected in the literature and bioremediation studies carried out in recent years for the remediation of problems caused by used pesticides have been examined. When the studies in the literature are examined; it has been found that bioremediation technologies can be used successfully in the amelioration of pesticide contaminated environments.

**Keywords:** Bioremediation, environmental pollution, pesticide

## GİRİŞ

Son yıllarda tarımsal üretim faaliyetleri önemli derecede artan bir nüfusun gıda talebini karşılamak amacıyla artış göstermiştir. Tarımsal üretimin verimini artırmada önemli rolü olan pestisitlerin kullanımındaki artışa bağlı olarak daha yüksek verimle tarımsal üretim mümkün hale gelmiştir.

Pestisitler haşere olarak adlandırılan böcekler, fareler ve diğer hayvanlar, yabancı otlar gibi istenmeyen bitkiler veya mikroorganizmalar gibi tarımsal verime zarar veren canlıları öldürücü, yok edici veya önlenmesi için kullanılan maddeler veya karışımlardır [1]. Modern tarıma önemli katkısı olan pestisitlerin aşırı ve kalıcı kullanımları, tarım arazilerinde hasara yol açmakla birlikte ciddi toprak kirliliğine, toprak kalitesinin ve çevrenin bozulmasına neden olmaktadır. Tarımsal alanlara uygulanan pestisitlerin büyük bir yüzdesi hiçbir zaman hedef organizmalara tam olarak ulaşmamaktadır [2]. Çizelge 1'de farklı pestisit grupları ve etkilediği hedef zararlı grubu verilmiştir.

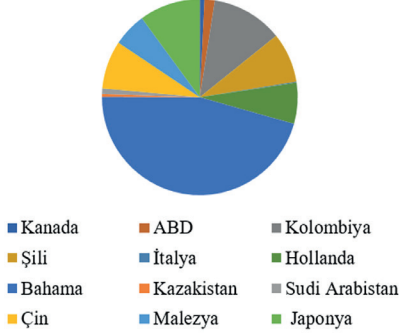
Çizelge 1. Pestisitlerin Önemli Sınıfları [3]

Pestisit Tipleri	Hedef Zararlı Grubu
Akarisit	Kene, Örtümcek
Bakterisit	Bakteri, Virüsler, Diğer mikroplar
Avenisit	Kuşlar
Fungisit	Funguslar
Herbisit	Yabancı Otlar
İnsektisit	Böcekler
Mollusisit	Salyangoz, Sümüklü böcek
Nematisit	Nematodlar
Predasit	Omurgalı yırtıcı hayvanlar
Rodentisit	Kemiriciler

Birleşmiş Milletler Çevre Programı Yönetim Konseyi 1995 yılında çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle 12 adet kimyasal Kalıcı Organik Kirletici (KOK) olarak tanımlanmıştır. Çevreye salınımını ortadan kaldırmak veya azaltmak için önlemler alınması gereken bu toksik bileşikler için küresel bir yasaklama politikası geliştirilmiştir. Bu KOK'ların sekizi insektisit (endrin, heptaklor, mireks, toksafen, aldrin, klordan, dieldrin ve DDT), biri fungusit (heksaklorobenken, HCB), diğerleri ise dioksinler (bazıları böcek ilaçlarının yan ürünleri), PCB'ler

ve PCDF'lerdir. Bu toksik pestisitler çevrede uzun süre var olmaya devam etmekte olup, besin zincirinde biyolojik olarak bozunmaktadır [4].

Dünya genelinde pestisit kullanımına devam edilmesinin (Şekil 1) yanı sıra bilinçsiz pestisit kullanımına karşı önlemler alınmaktadır. Pestisit kullanımı Bahama'da 59,4 kg/Ha iken, İtalya'da 0,2 kg/Ha'dır (Şekil 1).



Şekil 1. Dünyada Pestisit Kullanımı (kg/he)

Ülkemizde de uzun yıllardan beri tarımsal uygulamalarda pestisitler yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Çizelge 2'de ülkemizde 2002 ile 2013 yılları arasında kullanılan farklı gruplardaki pestisitlere ait kullanım miktarları verilmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü üzere 2002 yılında en fazla 3,697 ton herbisit grubu pestisitler kullanılırken, 2013 yılında en fazla 16,248 ton ile fungusitler kullanılmıştır. Diğer taraftan 2011 yılında 18,124 ton değerine ulaşmış olan fungusit kullanımı 2012 ve 2013 yıllarında ise azalmıştır. Bu durum tarımsal zararlı mantarların mücadelesinde başarıya ulaşıldığını ve kullanım miktarının sonraki yıllarda azalarak devam ettiğini göstermektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Türkiye'de Yıllara Göre Pestisit Tüketimi (Ton) [5, 6]

Yıllar/ Pestisitler	Insektisit (Böcek öldürücü)	Fungusit (Mantar öldürücü)	Herbisit (Bitki öldürücü)	Akarisit (Örümcek öldürücü)	Rodentisit (Fare öldürücü)
2002	2,251	1,964	3,697	297	1,8
2006	3,406	4,432	5,400	219	6,7
2007	7,304	4,945	4,638	315	11,0
2008	9,251	17,863	6,177	737	351
2009	9,914	17,396	5,961	1,533	78
2010	7,176	17,546	7,452	1,040	147
2011	6,120	18,124	7,407	1,062	421
2012	7,264	15,525	7,351	859	247
2013	7,741	16,248	7,336	858	129
<b>Toplam</b>	<b>60,427</b>	<b>114,043</b>	<b>55,423</b>	<b>6,920</b>	<b>1.392,5</b>

Ülkemizde de pestisitlerin bilinçsiz ve gereksiz kullanımını önlemek amacıyla çeşitli yasal sınırlamalar getirilmiştir. Çizelge 3'de Türkiye'de 2013-2014 yıllarında bazı bitkilerde bulunan pestisit miktarlarının yasal sınırları ve sınırın üzerindeki değerler verilmiştir.

Çizelge 3. Türkiye'de 2013-2014 Yıllarında Bitkilerde Bulunan Pestisit Miktarlarının Yasal Sınırı ve Sınırın Üzerindeki Değerleri (mg/kg) [7]

Pestisit	Ürün	Yasal Sınır (MKL)	Bulunan En Düşük ve En Yüksek Miktar (mg/kg)
Captan	Salatalık	0,02	0,031 – 0,896
Folbet	Kabak	0,02	0,078 – 0,861
Iprodione	Biber	0,05	0,012 – 0,452
Azinphos-methyl	Portakal	0,05	0,012 – 0,254
Fenamiphos	Patlıcan	0,02	0,037 – 0,112
Acetamiprid	Domates	0,15	0,012 – 0,667
Cyhexatin	Çilek	0,01	0,014 – 0,090

Bilinçsiz ve gereksiz pestisit tüketiminin neden olduğu en önemli sorunlardan biri de zararlı organizmalarda görülen duyarlılık azalışı ve takiben dayanıklılık sorunudur [5]. Bir pestisite karşı organizmaların duyarlılığı azaldıkça, o pestisit etkinliği de düşmektedir. Direncin ortaya çıkışına en fazla etki eden faktörlerin başında, pestisit dayanıklılık açısından riski ile pestisitlerin kullanım biçimi gelmektedir. Bilinçsiz ve kontrolsüz kullanım, ilaca karşı zararlı direncinin daha hızlı ortaya çıkmasına yol açmaktadır [8].

Pestisitler toprağa uygulandığında, oluşan tortular ve metabolitler atıklar halinde toprakta yüksek seviyelerde birikebilmektedir. Pestisitlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri, artık dünya genelindeki hükümetler ve insanlar tarafından kabul edilmiştir. Günümüzde insan sağlığını korumak ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için kirlenmiş toprakları iyileştirmek istenen bir hedef haline gelmiştir [9].

Ülkemizde ve dünyada tarımsal uygulamalarda kullanılan pestisitler ürün verimini artırmakta ancak kalıntı analizlerinde yüksek çıkan pestisit miktarları tarımsal ürünlerin ekonomik değerini olumsuz etkilemektedir. Diğer taraftan tarımsal alanlara uygulanan pestisitler toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır. Çevre ve sağlık üzerine olumsuz etkileri olan toksik pestisitlerin toprak ve sulardan giderimi oldukça önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, son yıllarda pestisitler ile kirlenmiş toprakların biyoremediasyonu ile ilgili literatürü özetlemektir.

### Pestisit Remediasyonu

Pestisitlerle kirlenmiş topraklar tek bir kirletici yerine farklı bileşiklerin kompleks karışımlarını içerdiğinden, bunların iyileştirilmesi karmaşık bir süreç olabilmektedir. Bir pestisiti azaltmak, ortadan kaldırmak, izole etmek veya stabilize etmek için toprak remediasyon teknolojileri fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçleri kullanmaktadır. Remediasyon; geleneksel ve biyolojik olmak üzere iki yönetime ayrılmaktadır.

Geleneksel remediasyon kazı ve tarama, toprak buharı çıkarma, katılaşma ve stabilizasyon, toprak yıkama, hava serpme, pompalama ve arıtma, kimyasal oksidasyon ve yakma gibi yöntemleri kapsamaktadır. Geleneksel yöntemlerin maliyetinin yüksek olması, tamamen kirletici giderim yapamamaları, seçiciliklerinin düşük olması, uygulamada fazla enerji harcamaları, pahalı ekipmana gereksinim duymaları, ağır metal kirliliğinin yüksek derişimlerde olması durumunda etkin olmamaları ve zehir

etkisi oluşturmaları gibi dezavantajları bulunmaktadır [10].

Biyolojik remediasyon (biyoremediasyon) ise tehlikeli maddeleri, zararsız veya daha az zararlı maddelere parçalamak için bitkiler, algler, bakteriler ve mantarlar gibi canlı organizmaların kullanıldığı uzun süreli arıtım proseslerini içermektedir. Biyoremediasyonun kirleticinin olduğu bölge (ortam içi) veya kirleticili maddelerin kirlenmiş bölgeden alınıp başka yerde muamele edilmesi (ortam dışı) olmak üzere iki farklı yaklaşımı bulunmaktadır. Ortam dışı biyoremediasyon kirliliklerin çıkarımını ve bunların özel bir bölgeye yerleştirilmesini içermektedir. Bu özel bölge, çevre koşullarının sağlanabilmesi ve işlemlerin daha kolay izlenebilmesi avantajını sağlamaktadır. Böylece biyoremediasyon süreci daha hızlı gerçekleşmektedir. Buna rağmen, kirlilik giderimi zaman alıcı ve pahalıdır. Ayrıca yüzeyden kirliliklerin giderilmesi, çalışanların ve genel halkın zehirli materyalden olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir. Bunun tersine ortam içi biyoremediasyon kirlenmiş bölgeden kirliliklerin çıkarılmasını gerektirmez. Kirleticilerin çıkarılmasına gerek duyulmaması ortam içi biyoremediasyon için önemli bir avantajdır. Örneğin kirleticilerin çıkarılmasında görev alacak çalışanların kirliliklerden etkilenmez. Buna ek olarak bu yöntemin maliyeti ortam dışı biyoremediasyona göre daha azdır.

**Çizelge 4.** Biyoremediasyonu etkileyen faktörler [13]

Uygun Kimyasal ve Biyolojik Faktörler	Uygun Olmayan Kimyasal ve Biyolojik Faktörler
Az sayıda organik kirlilik	Birçok organik ve inorganik kirleticilerin karışımı
Aşırı toksik olmayan kirleticiler	Toksik kirleticiler
Mikroorganizmaların çeşitliliği	Düşük mikrobiyal popülasyon
Oksidasyon için uygun elektron alıcı	Oksidasyon için elektron alıcısı yokluğu
Uygun pH aralığı	Uygun olmayan pH aralığı
Uygun Hidrojeolitik Faktörler	Uygun Olmayan Hidrojeolitik Faktörler
Granüler boşluklu alan	Kırık kayalar
Yüksek permeabilite ( $10^{-4}$ cm/s)	Düşük permeabilite
Uniform mineraloji	Kompleks mineraloji
Homojen alan	Heterojen alan
Doyurulmuş tabaka	Doyurulmamış tabaka

Uygun teknolojilerin seçimi, saha özellikleri ve pestisitlerin konsantrasyonu, türü ve kontamine ortamın son kullanımı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Organik pestisitlerin giderimi, benzer özelliklere sahip diğer organik kirleticiler için geliştirilen tekniklerden herhangi biri kullanılarak yapılabilir. Bu derlemede çalışmada sadece pestisitlerle kirlenmiş toprakların biyoremediasyon süreçleri incelenmiştir. Bu bağlamda bitkiler, algler, bakteriler ve mantarlar gibi mikroorganizmalarla yapılan biyoremediasyon çalışmaları araştırılmıştır.

#### Bitkilerle Pestisit Biyoremediasyonu

Çevredeki kirleticileri gidermek için bitkilerin kullanımı fitoremediasyon olarak adlandırılmaktadır. Fitoremediasyon terimi ilk olarak 1980'lerde kullanılmış, ancak organik kirleticilerdeki hızlı artış son yüzyılın sonunda başlamıştır [14]. Bazı pestisitler gibi düşük moleküler ağırlıklı bileşikler bitki zarları boyunca nakledilip, daha sonra topraktan çıkarılabilmektedir. Yapraklardan evapotranspirasyon işlemleri yoluyla serbest bırakılabilirler. Uçucu olmayan bileşikler bozulabilir (fitodegradasyon) veya enzimatik modifikasyon yoluyla toksik hale gelemeyen veya rizosferde bulunan mikroorganizmalar tarafından bozunur

Yine de bu yöntemin de birtakım dezavantajları vardır. Özel biyoremediasyon bölgesi içermediğinden koşulların denetlenmesi ve işlemlerin izlenebilmesi diğer yöntemlere göre çok daha zordur [11].

Biyoremediasyon diğer yöntemlerden daha ekonomik olması, proses sonunda atık madde üretmemesi ve diğer teknolojilerle birleştirilebilmesi nedeniyle avantaj sağladığı için son yıllarda tercih edilen bir teknoloji olmuştur. Diğer taraftan biyoremediasyonun dezavantajları arasında ise filtrelerin veya enjeksiyon kanallarının mikroorganizmalarca tıkanabilmesi, düşük geçirgenli akiferlere (yer altı suyunu tutan ve ileten kayalar) uygulanmasının zor olması, uygulanan akiferlerde sadece fazla geçirgen tabakaların temizlenebilmesi, sürekli izlenme ve bakım gerektirmesi sayılabilir [10].

Başarılı bir biyoremediasyon stratejisi, toprak özelliklerindeki değişken etmenleri de kapsayacak özellikte olmalıdır. Toprak özellikleri, toprak kirleticilerinin davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle kullanıma uygun bir remediasyon metodu, spesifik toprak özelliklerini ve arıtımı yapılacak alanın şartlarını göz önünde bulundurmalıdır [12]. Biyoremediasyonu etkileyen faktörler hidrojeolojik, kimyasal ve biyolojik faktörler şeklinde gruplandırılabilir (Çizelge 4).

(rizodegradasyon). Bitkilerde tutulan bu toksik bileşikler, yakma için biyokütle ile ayrılabilir [14]. Bitki aktivitesi ile giderim; iyileştirilecek ortama, kullanılan bitkinin türüne ve aynı zamanda kirleticinin özelliklerine bağlıdır [15].

*Thlapsi sp.*, *Urtica sp.*, *Chenopodium sp.*, *Polygonum sachalase* ve *Allyssim sp.* gibi bazı bitkilerin kadmiyum, bakır, kuşun, nikel ve çinko bünyelerinde biriktirme yetenekleri vardır ve bu nedenle söz konusu bitkilerin yetiştirilmesi kirlenmiş toprakların arıtılmasında dolaylı bir metot olarak kabul edilmektedir [16]. Karthikeyan ve ark. (2004), pestisit ile kirlenmiş toprağın düzeltilmesinde ağaç, çalı ve ot gibi hedef olmayan bitkilerin potansiyel kullanımıyla ilgili ayrıntılı bilgi vermiştir [17]. White (2002) ve White ve ark. (2003), DDT (dikloro - difenil trikloroetan)'nin yıkım ürünü olan DDE'nin alınmasının belirli alt türlere özgü olduğunu bildirmiştir [18,19]. *Cucurbitaceae* familyasından olanlar gibi bitkiler önemli ölçüde daha yüksek alım gösterirler. Mitton ve ark. (2016) domates, soya fasulyesi veya kaba yonca bitkilerine göre ayçiçeğinin, endosülfanı özütleme kapasitesi en yüksek bitki olduğunu göstermiştir [20]. Ancak, DDT (dikloro - difenil trikloroetan) ile kirlenmiş topraklarda domates bitkileri en uygun fitoremediasyon adayı gibi görünmektedir [21,20].

Fitoremediasyonda, son on yılda, spesifik pestisit-giderici enzimleri ifade eden transgenik bitkiler geliştirilmiştir [22,23]. Metabolizmaya dahil olan genlerin aşırı ekspresyonu, transgenik bitkilerde spesifik kirlenici maddelerin alınması veya taşınması, yüksek konsantrasyonlarda pestisitler veya organik kirleniciler biriktiren bitkilerin bertaraf edilmesi gibi bazı fito-modifikasyon dezavantajlarının üstesinden gelmeye olanak tanır [24,25]. Pestisitler, belirli transgenik bitkiler tarafından toksik olmayan metabolitlere indirgenmiş veya tamamen mineralize edildiğinde, bitkiler güvenli bir şekilde bertaraf edilebilmektedir. Saha uygulamaları çevre ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki olası etkileri nedeniyle henüz düzenlenmiş olmasa da yakın gelecekte bu strateji giderek daha fazla dikkat çekmektedir. İyileştirme amaçlı seçilen bir bitkinin iyileştirme yapılacak her ortam için uygun hale getirilmesi gerektiğinden, iyi bir aday bitki pestisitlerle kirlenmiş alanda doğal bitki ortamında veya spesifik kirlenmiş toprakta yetişebilmelidir. Her iki durumda da bitkiler kirlenici konsantrasyonunu azaltabilmelidir.

Fitoremediasyon ve mikrobiyal biyoremediasyon stratejilerinin etkileri, organik bileşiklerin iyileştirilmesinde daha başarılı bir yaklaşıma yol açmıştır. Rizodegradasyon; bitki büyümesi ve kök uçlarının salınmasıyla zenginleştirilmesi sonucu hem bitkileri hem de onların ortak rizosfer mikroplarını içeren spesifik bir fito-modifikasyon yöntemidir [26].

Bitki stres faktörü, kirlenicilerin düzgün olmayan dağılımı, nem içeriği, mikrobik aktivitenin mekansal değişkenliği, iklim koşullarının değiştirilmesi, farklı toprak özellikleri, besin içerikleri, toprağın havalandırılması gibi değişkenlerin çokluğu nedeniyle sayısız sonuçsuz ve başarısız girişim olmuştur. Bu iyileştirici stratejinin sınırları kabul edilmekle birlikte, bitki gelişimi ve özellikle köklenme, organik kirlenicileri ortamdaki uzaklaştırmanın ekonomik ve etkili yollarından biri haline gelmek için her zamankinden daha fazla potansiyele sahiptir. Fitoremediasyon diğer iyileştirme teknolojilerine kıyasla azaltılmış maliyetler, erozyon oranının azaltılması, kimyasal, fiziksel ve biyolojik toprak özelliklerinin iyileştirilmesi ve arazi estetiği geliştirme ve yüksek nüfus konsensüsü gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Fakat aynı zamanda iklim koşulları, kirlenici konsantrasyonu ve biyoyararlanımı, kirlenici maddelere karşı bitki toleransı, arazi restorasyonunun daha uzun sürmesi ve bunun güçlü bağımlılığı gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bu teknik, kontaminasyonun

düşük olduğu ve geniş alanlara yayılarak, müdahaleye zamansal sınırlar olmadığı yerler için özellikle uygundur.

### Mikroorganizmalarla Gerçekleştirilen Biyoremediasyon

Biyoremediasyonda kullanılan ana biyolojik ajanlar, kirlenicileri besin veya enerji kaynağı olarak kullanan bakteriler ve mantarlardır. Bölgenin mikrobiyal çeşitliliği, kirlenicilerin doğasıyla birlikte biyoremediasyon için en önemli parametrelerden biridir.

Bosecker (2001), toprak ve sedimentlerin, mineral endüstrisi atıklarının ve maden sahalarının artırılmasında mikrobiyal sızma teknolojilerinin basit ve etkili sistemler olduğuna dikkat çekmiş ve metalleri çözünebilir hale getirebilen mikroorganizmaların mutasyon ve seleksiyonla genetik anlamda geliştirilmesinin biyoremediasyon teknolojilerinin gelecekteki uygulamalarını arttıracaklarını vurgulamıştır [27].

Son yıllarda çeşitli fermantasyon atığı mikroorganizmalar, aktif çamur sistemlerinden çıkan atık aktif çamur, denizlerden toplanan algler çeşitli ağır metal ve boyarmaddelerin gideriminde ucuz ve yüksek kapasiteli adsorbanlar olarak kullanım alanı bulmaktadır. Çeşitli enzimlerin üretiminde kullanılan küf mantarları da pek çok ağır metal ve boyar madde gibi çeşitli kirlenicilerin adsorpsiyonunda oldukça sık olarak tercih edilmektedir [28, 29].

Mikroorganizmalar ile biyoremediasyon iki biçimde uygulanır. İlk yöntemde; atıkların döküldüğü bölgeye besin aktarımı yapılarak, toprağın mikrobiyal kompozisyonuna göre, halihazırda toprakta bulunan mikroorganizmalar etkin duruma geçirilir. Diğer yöntemde ise; toprağa yeni mikroorganizmalar aktarılır. Çevresel koşullar kontrol edilir veya mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini ve büyümelerini optimize etmek için koşullar değiştirilir. Biyoremediasyon için çevrenin optimizasyonunda; sıcaklık, inorganik besinler (azot ve fosfor), elektron alıcılar (oksijen, nitrat ve sülfat) ve pH gibi çevresel faktörler modifiye edilmektedir.

Literatürde son yıllarda yapılan çalışmalarda çeşitli pestisitlerin gideriminde laboratuvar ve pilot ölçekli uygulamaların başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir (Çizelge 5). Buna ilaveten Çizelge 5’de farklı *Bacillus* sp. gibi farklı bakterilerin ve *Aspergillus* sp. gibi farklı mantar türlerinin başarılı bir şekilde pestisit biyoremediasyonunda kullanılabilirliği görülmektedir.

Çizelge 5. Pestisit ile kirlenmiş topraklarda mikroorganizmalar tarafından biyoremediasyon kullanımı [30].

Pestisit / Biyolojik Fonksiyon	Ölçek / Kirlenme	Mikroorganizmalar	Sonuçlar / Pestisit Giderme	Referanslar
<b>Molinat (herbisit)</b>	Laboratuvar (çeltik alan toprakları)	Endojen flora Mikrobiyal konsorsiyum: <i>G. molinativorax</i> 2012 ON4T, <i>Pseudomonas</i> (iki suş), <i>Stenotrophomonas</i> ve <i>Achromobacter</i>	%39 mineralize %63 mineralize	[31]
<b>Miklobutanil, tetrakonazol ve flusilazol (Mantar öldürücüler)</b>	Pilot (bağ arazileri)	<i>Bacillus</i> suşları, yani, DR-39, CS-126, TL-171 ve TS-204	20 gün sonra %85 biyo-degrade	[32]

<b>Fenpropatrin (böcek ilacı)</b>	Laboratuvar (çözüm)	<i>Bacillus</i> sp. DG-02	%93.3, 72 saat sonra biyobozunur.	[33]
<b>2,4-D (herbisit)</b>	Laboratuvar (Çeltik ekilen alan)	Novosphingobium, DY4 türü	%50-95, sırasıyla 3 ve 7 gün sonra biyolojik olarak bozunur.	[34]
<b>Klorpirifos (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	<i>Bacillus cereus</i> , Ct3 suşu	7 gün sonra %88 biodegradasyon	[35]
<b>Klorpirifos (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar (çeltik alan toprakları)	<i>Aspergillus terreus</i> JAS1	48 saat sonra %100 biyolojik olarak bozunur.	[36]
<b>Bensülfüron-metil (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	<i>Penicillium pinophilum</i> suşu, BP-H-02	60 saat sonra %87 biyolojik olarak bozunur	[37]
<b>Organoklor Tarım ilacı</b>	Pilot (tarımsal toprak)	Endojen flora	Biyodegrede	[38]
<b>DDT (böcek ilacı)</b>	Laboratuvar (toprak kırsal alanlardan)	Endojen flora	7 hafta biyolojik olarak parçalandıktan sonra %23	[39]
<b>Pentaklorofenol (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar (çeltik alan toprakları)	Endojen flora	%97'ye varan oranda biyo-degrade	[33]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	Endojen flora	67 gün sonra, %54.4 mineralize	[40]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	<i>Pseudomonas</i> sp. soy ADP	7 gün sonra %30.6 mineralize	[40]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	<i>Pseudomonas</i> sp. soy ADP	13 gün sonra %79.9 mineralize	[40]
<b>Klorpirifos (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	CS2 suşu	6 gün sonra %55 biodegradasyon	[41]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	Suşu A6 ( <i>Acinetobacter</i> )	6 gün sonra %30 biodegradasyon	[42]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	Suş A6, ramnolipidler ve Triton X-100	6 gün sonra %80 biodegradasyon	[42]
<b>Diuron (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	Bakteriyel konsorsiyum: <i>Arthrobacter</i> sp. N2, <i>Variovorax</i> sp. SRS16	%45 sonra mineralize 120 gün	[43]
<b>Diuron (herbisit)</b>	Laboratuvar (Tarımsal toprak)	Bakteri konsorsiyumu hidroksipropil-β siklodekstrin	120 gün sonra %98 mineralize	[43]
<b>Organoklor pestisitler (OCP'ler)</b>	Laboratuvar (çeltik tarla toprakları)	Nitrate (KNO <sub>3</sub> ), methyl-β-cyclodextrin	%74.3'ü 180 gün sonra degrede	[44]

<b>Atrazin, metolachlor, trifluralin (Herbisit)</b>	Laboratuvar (tarımsal toprak)	Mısır sapları, mısır fermantasyonu yan ürün, turba, gübre ve talaş	245 gün sonra %30, 33 ve% 44 biyolojik olarak bozunur.	[45]
<b>Triazin herbisitler</b>	Laboratuvar (tarımsal toprak)	Zeytin keki, kompost ve vermikompost zeytin keki	ilk hafta inkübasyon, daha hızlı herbisit konsantrasyonunu düşüşü	[46]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar (tarımsal toprak)	Sodyum sitrat, çiftlik gübresi	Sodyum sitrat, çiftlik gübresi	[47]
<b>Diuron (herbisit)</b>	Laboratuvar (tarımsal toprak)	Mikronütrientler, kanalizasyon çamuru karışımı budama atıkları ile kentsel katı kalıntıları, hidroksipropil-β siklodekstrin	140 gün sonra %46.5 mineralize	[48]
<b>Linuron, diazinon ve miklobutanil (Herbisit)</b>	Pilot (tarımsal toprak)	Aritma çamuru, üzüm marusu, harmanlanmış mantar substratı	Organik değişikliğe bağlı olarak mineralizasyon üzerinde olumlu veya olumsuz etkiler	[49]
<b>Hexachlorocyclohexane (böcek ilacı)</b>	Pilot Lindane üretim yeri	Endojen flora	21 gün sonra %89 biodegradasyon	[50]
<b>Lindane (herbisit)</b>	Laboratuvar	Lindane-acclimated inoculum, final electron acceptor (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) yardımcı substrat (sakaroz)	7 gün sonra %55-70 oranında biyolojik olarak bozunur.	[51]
<b>Pendimetalin (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar	Lağım	%91 biyolojik olarak bozulmuş	[52]
<b>2,4-D (herbisit)</b>	Laboratuvar	Aerobik (endojen flora)	14 gün sonra %93 biodegradasyon	[53]
<b>2,4-D (herbisit)</b>	Laboratuvar	Sülfat azaltıcı bakteriler	14 gün sonra %25 biodegradasyon	[53]
<b>Lindane (herbisit)</b>	Laboratuvar	Lağım pisliği	10 gün sonra %90 biodegradasyon	[54]
<b>Metoksiklor (Bitki öldürücü)</b>	Laboratuvar	<i>Actinobacteria</i>	12 saat sonra%60 degrade	[55]
<b>2,4-D (herbisit)</b>	Laboratuvar	İklimlendirilmiş aktif çamur	%90, 6 saat sonra biyo-degrade	[56]
<b>Bentazon, boscalid ve pirimehanil (Herbisit)</b>	Pilot (tarımsal toprak)	Biyofiltre materyalleri (toprak ile karışımları digestate ve / veya biochar)	Desorpsiyon, tüm pestisitler için histerikti.	[57]

<b>Karbofuran (böcek ilacı)</b>	Pilot (tarımsal toprak)	Lignoselülozik malzemeler kompostla karıştırıldı	16 gün sonra %98.5 mineralize	[58]
<b>Klorotalonil (Mantar öldürücü)</b>	Laboratuvar	Tükenmiş mantar substratı	DT50 7-9 gün, Biyodegradasyon	[59]
<b>Atrazin (herbisit)</b>	Laboratuvar	Toprak, turba ve saman, lignoselülozik artıkları.	90 gün sonra %90 degradasyon	[60, 61]
<b>Oxyfluorfen (herbisit)</b>	Laboratuvar	Vermicompost	30 gün sonra %70 biodegradasyon	[62]
<b>Karbofuran (böcek ilacı)</b>	Karbofuran (böcek ilacı)	Ligninolitik mantar <i>Trametes versicolor</i> , organik gübre	48 gün sonra %100 biyolojik olarak bozunur.	[63]

### Mikroalglerle Gerçekleştirilen Biyoremediasyon

Siyanobakteriler (*Cyanobacteria* veya *Cyanophyta*) aynı zamanda, mavi-yeşil algler olarak da bilinen ve enerjilerini fotosentez yolu ile elde eden mikroorganizmalardır. Atık sularındaki birçok kirleticinin çeşitli mikroalglerle arıtımı ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmakta olmasına rağmen pestisitlerin mikroalglerle arıtımı konusundaki literatür çok daha kısıtlıdır [64].

Pestisit içeren atık suların arıtımında insektisitlerden "İmidakloprid" (IMI) ve preemerjans herbisitlerden "Knockdown 48 SL" içeren ortamlarda *Synechocystis* sp. ve *Phormidium* sp. türlerinin biyoremediasyon kapasiteleri incelenmiştir. *Synechocystis* sp. IMI, KD 48 SL ve triakontanol (TRIA) hormonu içeren kültür ortamında en yüksek biyokütle artışı ve % IMI giderimi göstermiştir. *Phormidium* sp. ise farklı olarak IMI içeren ortamda en yüksek popülasyon büyümesi ve giderim etkinliği göstermiştir [65].

### Bakterilerle Gerçekleştirilen Biyoremediasyon

Bakteriler, zararlı atıkları, zararsız yan ürünlere dönüştürdüktan sonra ya ölürlere ya da sayıları normal popülasyon düzeyine gelir. Böylece ekolojik denge bozulmamaktadır.

Lopes ve ark. (2012), bir tarım toprağındaki molinleşmeyi düşürmek için doğal zayıflama ya da biyodegradasyon potansiyel kapasitesini ve biyomodifikasyon teknolojilerinin yerel mikrobiyota bileşimi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir [31]. Biyolojik olarak parçalanma deneylerinde inokulum olarak bir molinat mineralizasyon konsorsiyumu kullanılmıştır. İyileştirmede kullanılacak suşlar, kirlenmiş alandan yerli toprak flora izolasyonu suşlarından elde edilebilmekte ve kirletici (zenginleştirme kültürleri) uyarınca laboratuvar koşullarında seçilebilmektedir. Laboratuvar ortamında geliştirilen suşlar daha sonra, kirlenmiş alana inoküle edilebilmektedir.

Salunkhe ve ark. (2015), izole edilmiş *Bacillus* suşları ile üç triazol fungusitin *in-vitro* ve *in-vivo* biyodegradasyonunu bildirmektedir [32]. Chen ve ark. (2014), yaptıkları deneylerde *Bacillus* sp. türünün daha önce bir piretroid imalat atık sularından izole edilen DG-02, fenpropratin ve çok çeşitli sentetik piretroidleri degrade edebildiğini göstermiştir [33]. Dai ve ark. (2015), 2,4-D ile kirlenmiş toprak için yeni bir ayrıştırıcı suşun biyoremediasyon potansiyelini ve mikrobiyal toprak topluluğu üzerindeki biyodegradasyon etkisini araştırmıştır [34]. Farhan ve ark. (2014) pamuk yetiştiren tarım topraklarından izole edilen mikrobik suşları klorpirifosla yönetmiştir [35].

Ayrıca, yüzey aktif maddeler topraktaki maddelerin çözünürlüğünü arttırmak suretiyle pestisit

mineralizasyonunu hızlandıran biyoremediasyon promotörleri olarak kullanılabilir. Singh ve ark. (2016), ChlD tarafından üretilen, ham pramolipid biyosüfaktanı kullanmış ve bu da klorpirifosun sulu faz çözünürlüğünü 2-15 kat arttırmıştır [41]. Singh ve Cameotra (2014), farklı yüzey aktif maddelerin (ramnolipidler ve triton X 100) atrazin herbisitinin, *Acinetobacter*'lere ait A6 degrader türüyle biyodegradasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir [42]. Bakteri hücre yüzeyi hidrofobikliğinin yanı sıra atrazin çözünürlüğü, yüzey aktif madde varlığında artmıştır. Villaverde ve ark. (2012), ilk kez bir diuron biyodegrader konsorsiyumu kullanarak toprakta neredeyse tam bir diuron cevherleşmesini gösteren bir siklodekstrin bazlı biyoremediasyon teknolojisini geliştirmiştir [43].

Larsen ve ark., (2009) yaptıkları çalışmada arıtma çamurundaki PAH'ların giderilmesinde biyoreaktörlerin kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Biyolojik parçalanmanın hızlanması için *Proteiniphilum acetatigenes* kullanılarak biyotik ve abiotik şartlarda %80'e varan parçalanma meydana geldiğini bulmuşlardır.

### Mantarlarla Gerçekleştirilen Biyoremediasyon

Mantarlar çok hücreli, ökaryotik, klorofil içermeyen organizmalardır ve kendi besinlerini sentezleyemezler. Genellikle tatlı sularda ve toprakta, nadiren de denizlerde yaşarlar. Karanlık ve nemli yerlerde iyi gelişirler. Organik maddelere zengin olan her yerde bulunurlar. Mantarlar aleminde en önemli mikroorganizmalar mayalar ve küflerdir [66].

Pestisitlerin mikrobiyal biyodegradasyonu çoğunlukla bakteriler kullanılarak çalışılmış olsa da son yapılan çalışmalarda farklı pestisitlerin biyodegradasyonunda kullanılmak üzere farklı cinslere ait birkaç mantar suşu da izole edilmiş ve karakterize edilmiştir [67]. Peng ve ark. (2012) bensulphuron-methyl'i hızla parçalayabilen bir mantar suşunu (BP-H-02) kontamine toprak numunesinden izole etmiştir. Bu suş, sülfonilüre herbisit kontaminasyonunu gidermek için kullanılmıştır [37]. Klorpirifosun biyodegradasyonu, mineral ortamı ve toprakta, çeltik tarlalarından izole edilen yeni mantar suşu JAS1 ile incelenmiştir [36]. Çevre mikrobiyolojisi çalışanlar mikroorganizmaların 2%'sinin laboratuvar ortamında kültürlenebildiğini tahmin etmekte ve bu nedenle biyoremediasyonda kullanılacak mikroorganizmaların seçilmesi ile ilgili araştırmalar için moleküler yaklaşımları içeren bir biyoremediasyon tekniğinin uygulanması ihtiyacının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Biyoremediasyonda mantarların kullanılmasının pek çok avantajları vardır. Örneğin mantarlar, bitki ya da alglere göre daha hızlı büyüebilme yeteneğine sahiptir ve kültür

alınmaları çok kolay olmaktadır. Üretimlerinin kolay olması dışında büyüdükleri besiyerleri de pahalı değildir ve biyokütle üretimi fazla miktarlarda gerçekleştirilmektedir [68]. Bu şekilde fermantasyon teknolojisinde kullanılmaları da ekonomik avantaj sağlamaktadır. Bir diğer en önemli özellikleri de patojenite göstermemeleridir. Böylelikle güvenle kullanılmaktadırlar [69].

*Rhizopus arrhizus* kültürünün biyobirikim ve biyosorpsiyonla atrazin giderimine pH değerlerinin etkisi belirlenmiştir. Atrazin analizinde elektrokimyasal yöntem kullanılmıştır. Biyobirikim ve biyosorpsiyon sonunda en iyi atrazin giderimi sırasıyla pH 4 ve pH 6'da gerçekleşmiştir. Gelişmekte olan *R. arrhizus* kültürü ve kurutulmuş fungal biyokütle sırasıyla %57.45 ve %63.16 atrazin giderimi gerçekleştirmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre fungal biyokütle pestisitlerle kirlenmiş sıvı ortamlardan atrazin giderimini kısa bir zaman aralığında gerçekleştirebilmektedir [70]. Madrigal-Zúñiga ve ark. (2016) pestisit karbofuranın hızlı biyodegradasyonunu elde etmek için kompost ve turba bazlı biyomikstrasyonlarda biyo-parçalanma ajanları olarak ligninolitik mantar *Trametes versicolor* kullanmıştır [63].

Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda bakteri ve fungusların biyoremediasyonda birlikte kullanımı olanakları araştırılmıştır. Castillo-Diaz ve ark. (2016) farklı herbisitlerin mineralleşme oranlarını arttırmak için bir ay boyunca kuluçkalan farklı karışımlardan 6 bakteri ve 4 mantar suşu kullanmıştır [62].

## SONUÇ

Topraklarda pestisit birikimi araştırmacıların dikkatinin son zamanlarda odaklandığı oldukça önemli bir çevresel konudur. Bu derleme, pestisitler ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için kullanılan teknolojilere genel bir bakış sunmuştur. Teknolojilerin temelleri, avantajları ve dezavantajları, ilerlemeleri ve sınırlamaları özetlenmiş ve analiz edilmiştir.

Geleneksel remediasyon yöntemleri; yüksek maliyetli olması, tamamen kirletici giderim yapamamaları, seçiciliklerinin düşük olması, uygulamada fazla enerji harcamaları ve zehir etkisi oluşturmaları gibi dezavantajlara sahipken, biyolojik remediasyon yöntemleri diğer yöntemlerden daha ekonomik olması, proses sonunda atık madde üretmemesi ve diğer teknolojilerle birleştirilebilmesi nedeniyle avantaj sağlayan bir teknolojidir. Diğer taraftan biyoremediasyonun dezavantajları arasında ise filtrelerin veya enjeksiyon kanallarının mikroorganizmalarca tıkanabilmesi, düşük geçirgenli akiferlere uygulanmasının zor olması, uygulanan akiferlerde sadece fazla geçirgen tabakaların temizlenebilmesi, sürekli izlenme ve bakım gerektirmesi sayılabilir. Biyoremediasyon teknikleri, geleneksel remediasyon yöntemlerine kıyasla ekolojik çevrenin kalitesinin korunması sağlayan daha kaliteli bir giderim teknolojisidir.

Ortam dışı biyoremediasyonda; çevre koşullarının sağlanabilmesi ve işlemlerin daha kolay izlenebilmesi avantajını sağlamaktadır. Buna rağmen, kirlilik giderimi zaman alıcı ve pahalıdır. Bunun tersine ortam içi biyoremediasyon kirlenmiş bölgeden kirliliklerin çıkarılmasını gerektirmemesi nedeniyle daha avantajlıdır. Buna ek olarak bu yöntemin maliyeti ortam dışı biyoremediasyona göre daha azdır. Yine de bu yöntemin de birtakım dezavantajları vardır. Özel biyoremediasyon bölgesi içermediğinden koşulların denetlenmesi ve işlemlerin izlenebilmesi diğer yöntemlere göre çok daha zordur. Her iki yöntem de bir takım avantaj ve dezavantajlara sahip olup uygulanacak olan yöntem; kirlilik miktarı, kirletici çeşidi, ortamın büyüklüğü ve dış faktörler gibi birçok parametreye

dikkat edilerek seçilmelidir.

Fitoremediasyon diğer iyileştirme teknolojilerine kıyasla azaltılmış maliyetler, erozyon oranının azaltılması, kimyasal, fiziksel ve biyolojik toprak özelliklerinin iyileştirilmesi ve arazi estetiği geliştirme ve yüksek nüfus konsensüsü gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Fakat aynı zamanda iklim koşulları, kirletici konsantrasyonu ve biyoyararlanımı, kirletici maddelere karşı bitki toleransı, arazi restorasyonunun daha uzun sürmesi ve bunun güçlü bağımlılığı gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir.

Biyoremediasyonda mantarların kullanılmasının bazı avantajları; bitki ya da algelere göre daha hızlı büyüyebilme yeteneğine sahip olup kültüre alınmalarının çok kolay olmasıdır. Üretimlerinin kolay olması dışında büyüdükleri besiyerleri de pahalı değildir ve biyokütle üretimi fazla miktarlarda gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde fermantasyon teknolojisinde kullanılmaları da ekonomik avantaj sağlamaktadır. Bir diğer en önemli özellikleri de patojenite göstermemeleridir. Böylelikle güvenle kullanılabilirler.

Biyoremediasyon teknolojilerinde özellikle mikrobiyal süreçler endüstri atıklarından kimyasalların, kötü muamele sistemleri olarak ortadan kaldırılması için geniş çapta kullanılmaktadır. Kirleticiler biyolojik aktivitelerle karbondioksit ve su gibi zararsız son ürünlere dönüştürülmektedir. Proses biyolojik aktiviteye dayalı olarak gerçekleştiği için ortamda yeterli mikroorganizma bulunması, biyoremediasyon boyunca oluşacak ürünlerin toksisite yaratmaması, mikroorganizmaları inhibe edici kimyasallar mevcutsa seyreltilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca mikroorganizmaların büyümesini ve aktivitesini arttıracak besinler, oksijen, diğer elektron alıcılar, uygun nem oranı, sıcaklık, karbon ve enerji kaynağı sağlanmalıdır. Bununla birlikte, biyolojik parçalanma aktivitesine sahip olan bir mikrofloranın olmaması nedeniyle pek çok bileşik her zaman tamamen bozulmaz, bunun için yeni veya modifiye biyoremediasyon tekniklerine olan ihtiyacı vurgulayan optimize edilmiş teknikler önerilmektedir. Biyoremediasyon teknikleri ile başarılı ve etkin pestisitlerle kirlenmiş ortamların iyileştirilmesine yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999. "Waste Research Strategy", *Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH*, EPA/600/R98/154.
- [2] Niti, C., Sunita, S., Kamlesh, K., Rakesh, K., 2013. 'Bioremediation: An emerging technology for remediation of pesticides', *Res. J. Chem. Environ*, 17, 88–105.
- [3] Delaplane, K., S., 1996. "Pesticide usage in the United States: Benefits, Risks and Trends", *Cooperative Extension Service, The University of Georgia, Athens, Georgia*.
- [4] Ali, U., Syed, J.H., Malik, R.N., Katsoyiannis, A., Li, J., Zhang, G., Jones, K.C., 2014. "Organochlorine pesticides (OCPs) in South Asian region: a review", *Sci. Total Environ*, 476, 705–717.
- [5] Delen, N., Durmuşoğlu, E., Günçan, A., Güngör, N., Turgut, C. ve Burçak, A., 2008. "Türkiye'de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Organizmalarda Duyarlılık Azalışı Sorunları", *Türkiye Ziraat Mühendisliği 6. Teknik Kongre ve Eğitim Merkezi, Nükleer Kimya Bölümü, Ankara*.
- [6] Delen N., Tirkayi O., Türkseven S., Temur C., 2015. "Türkiye'de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Dayanıklılık Sorunları, Çözüm Önerileri", *Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, At Ankira, Volume:*



*Bildiriler Kitabı - 2*, 758 – 778.

[7] Şık A., 2015. “Meyvemizi bile zehir ettiler”, *Cumhuriyet Gazetesi*, 05 Temmuz 2015, [http://www.cumhuriyet.com.tr/haber/turkiye/314463/Meyvemizi\\_bile\\_zehir\\_ettiler.ht.ml](http://www.cumhuriyet.com.tr/haber/turkiye/314463/Meyvemizi_bile_zehir_ettiler.ht.ml).

[8] Delen, N., Tosun, N., Toros, S., Öztürk, S., Yücel, A. ve Çalı, S., 1995. “Tarım ilaçları kullanımı ve Üretimi”, Türkiye Ziraat Mühendisliği IV. Teknik Kongresi, T.C. Ziraat *Bankası Kültür Yayınları*, 1015-1028.

[9] Cheng, M., Zeng, G., Huang, D., Lai, C., Xu, P., Zhang, C., Liu, Y., 2016. “Hydroxyl radicals based advanced oxidation processes (AOPs) for remediation of soils contaminated with organic compounds: a review” *Chem. Eng. J.* 284, 582–598.

[10] Yılmaz, P., 2006. “Sulu ortamlardan ağır metallerin mikroorganizmalar yoluyla giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-17.

[11] Rittman, B. E., McCarty, P. L., 2001. “Environmental Biotechnology: Principles and Applications”, *McGraw-Hill International Editions*, 695-725.

[12] Cheng, H. H., Mulla, D. J., 1999. “Bioremediation of Contaminated Soils”, *The Soil Environment. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, USA*.

[13] Dindar E., Başkaya H. S., Topaç Şağban F. O., 2010. “Kirlenmiş Toprakların Biyoremediasyon ile Islahı”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2.

[14] Gerhardt, K. E., Huang, X. D., Glick, B. R., Greenberg, B. M., 2009. “Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges”, *Plant Sci.* 176, 20–30.

[15] Newman, L. A., Reynolds, C. M., 2004. “Phytodegradation of organic compounds”, *Curr. Opin. Biotechnol.* 15, 225–230.

[16] Mulligan, C. N., Yang, R. N., Gibbs, B. F., 2001. “Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils and Ground Water: an evaluation”, *Engineering Geology*, Vol:60, pp.193-207.

[17] Karthikeyan, R., Davis, L. C., Erickson, L. E., Al-Khatib, K., Kulakow, P. A., Barnes, P. L., Hutchinson, S. L., Nurzhanova, A. A., 2004. “Potential for plant-based remediation of pesticide-contaminated soil and water using nontarget plants such as trees, shrubs, and grasses”, *Crit. Rev. Plant Sci.* 23, 91–101.

[18] White, J. C., 2002. “Differential bioavailability of field-weathered p,p'-DDE to plants of the Cucurbita and Cucumis genera”, *Chemosphere*, 49, 143–152.

[19] White, J. C., Wang, X., Gent, M. P., Iannucci-Berger, W., Eitzer, B. D., Schultes, N. P., Arienzo, M., Mattina, M. I., 2003. “Subspecies-level variation in the phytoextraction of weathered p,p'-DDE by Cucurbita pepo”, *Environ. Sci. Technol.* 37, 4368–4373.

[20] Mitton, F. M., Gonzalez, M., Monserrat, J. M., Miglioranza, K. S. B., 2016. “Potential use of edible crops in the phytoremediation of endosulfan residues in soil”, *Chemosphere*, 148, 300–306.

[21] Wu, N., Zhang, S., Huang, H., Shan, X., Christie, P., Wang, Y., 2008. “DDT uptake by arbuscular mycorrhizal alfalfa and depletion in soil as influenced by soil application of a non-ionic surfactant” *Environ. Pollut.* 151, 569–575.

[22] Doty, S. L., 2008. “Enhancing phytoremediation through the use of transgenic plants and endophytes”, *New Phytol.* 179, 318–333.

[23] Hussain, S., Siddique, T., Arshad, M., Saleem, M., 2009. “Bioremediation and phytoremediation

of pesticides: recent advances”, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 39, 843–907.

[24] Kawahigashi, H., Hirose, S., Ohkawa, H., Ohkawa, Y., 2006. “Phytoremediation of the herbicides atrazine and metolachlor by transgenic rice plants expressing human CYP1A1, CYP2B6, and CYP2C19. *J. Agric.*”, *Food Chem.* 54, 2985–2991.

[25] Viktorova, J., Novakova, M., Trbolova, L., Vrchotova, B., Lovecka, P., Mackova, M., Mack, T., 2014. “Characterization of transgenic tobacco plants containing bacterial bphc gene and study of their phytoremediation ability”, *Int. J. Phytorem.* 16, 937–946.

[26] Agnello, Huguenot, D., Van Hullebusch, E. D., Esposito, G., 2014. “Enhanced phytoremediation: a review of low molecular weight organic acids and surfactants used as amendments”, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 44, 2531–2576.

[27] Bosecker, K., 2001. “Microbial leaching in environmental clean-up programmes, Hydrometallurgy”, 59, 245-248.

[28] Maurya, N. S., Mittal, A. K., Cornel, P., Rother, E., 2006. “Biosorption of dyes using dead macrofungi: effect of dye structure, ionic strength and pH”, *Biores. Technol.* 97, 512521.

[29] Vilar, V. J. P., Botelho, C. M. S., Boaventura, R. A. R., 2007. “Methylene Blue adsorption by algal biomass based materials: Biosorbents characterization and process behaviour”, *J. Hazard. Mater.* 147, 120-132.

[30] Morillo e., Villaverde j., 2017. “Advanced technologies for the remediation of pesticide-contaminated soils” *Institute of Natural Resources and Agrobiolgy of Seville (IRNAS-CSIC)*.

[31] Lopes, A. R., Danko, A. S., Manaia, C. M., Nunes, O. C., 2012. “Molinate biodegradation in soils: natural attenuation versus bioaugmentation”, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-012-4096-y>.

[32] Salunkhe, V. P., Sawant, I. S., Banerjee, K., Wadkar, P. N., Sawant, S. D., 2015. “Enhanced dissipation of triazole and multiclass pesticide residues on grapes after foliar application of grapevine-associated bacillus species”, *J. Agric. Food Chem.* 63, 10736–10746.

[33] Chen, S., Chang, S., Deng, Y., An, S., Hu, Dong, Y. H., Zhou, J., Hu, M., Zhong, G., Zhang, L. H., 2014. “Fenpropathrin biodegradation pathway in bacillus sp. DG-02 and its potential for bioremediation of pyrethroid-contaminated soils”, *J. Agric. Food Chem.* 62, 2147–2157.

[34] Dai, Y., Li, N., Zhao, Q., Xie, S., 2015. “Bioremediation using Novosphingobium strain DY4 for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-contaminated soil and impact on microbial community structure”, *Biodegradation*, 26, 161–170.

[35] Farhan, M., Ali-Butt, Z., Khan, A. U., Wahid, A., Ahmad, M., Ahmad, F., Kanwal, A., 2014. “Enhanced biodegradation of chlorpyrifos by agricultural soil isolate”, *Asian J. Chem.* 26, 3013–3017.

[36] Silambarasan, S., Abraham, J., 2013. “Ecofriendly method for bioremediation of chlorpyrifos from agricultural soil by novel fungus Aspergillus terreus JAS1”, *Water Air Soil Pollut.* 224, 369.

[37] Peng, X., Huang, J., Liu, C., Xiang, Z., Zhou, J., Zhong, G., 2012. “Biodegradation of bensulphuron-methyl by a novel Penicillium pinophilum strain BP-H-02”, *J. Hazard. Mater.* 213, 216–221.

[38] Islas-García, A., Vega-Loyo, L., Aguilar-López, R., Xoconostle-Cázares, B., RodríguezVázquez, R., 2015.

- “Evaluation of hydrocarbons and organochlorine pesticides and their tolerant microorganisms from an agricultural soil to define its bioremediation feasibility”, *J. Environ. Sci. Health B*, 1532–4109.
- [39] Ortíz, I., Velasco, A., Le Borgne, S., Revah, S., 2013. “Biodegradation of DDT by stimulation of indigenous microbial populations in soil with cosubstrates”, *Biodegradation*, 24, 215–225.
- [40] Silva, E., Fialho, A., SA-Correia, I., Burns, R.G., Shaw, L.J., 2004. “Combined bioaugmentation and biostimulation to cleanup soil contaminated with high concentrations of atrazine”, *Environ. Sci. Technol.*, 38, 632–637.
- [41] Singh, P., Saini, H.S., Raj, M., 2016. “Rhamnolipid mediated enhanced degradation of chlorpyrifos by bacterial consortium in soil-water system”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 134, 156–162.
- [42] Singh, A.K., Cameotra, S.S., 2014. “Influence of microbial and synthetic surfactant on the biodegradation of atrazine”, *Environ. Sci. Pollut Res.*, 21, 2088–2097.
- [43] Villaverde, J., Posada-Baquero, R., Rubio-Bellido, M., Laiz, L., Saiz-Jimenez, C., SanchezTrujillo, M.A., Morillo, E., 2012. “Enhanced mineralization of diuron using a cyclodextrin-based bioremediation technology”, *J. Agric. Food Chem.*, 60, 9941–9947.
- [44] Ye, M., Sun, M., Hu, F., Kengara, F.O., Jiang, X., Luo, Y., Yang, X., 2014. “Remediation of organochlorine pesticides (OCPs) contaminated site by successive methyl- $\beta$ -cyclodextrin (MCD) and sunflower oil enhanced soil washing - Portulaca oleracea L. Cultivation”, *Chemosphere* 105, 119–125.
- [45] Moorman, T.B., Cowan, J.K., Arthur, E.L., Coats, J.R., 2001. “Organic amendments to enhance herbicide biodegradation in contaminated soils”, *Biol. Fertil. Soils*, 33, 541–545.
- [46] Delgado-Moreno, L., Peña, A., 2009. “Compost and vermicompost of olive cake to bioremediate triazines-contaminated soil”, *Sci. Total Environ.*, 407, 1489–1495.
- [47] Kadian, N., Gupta, A., Satya, S., Mehta, S.K., Malik, A., 2008. “Biodegradation of herbicide (atrazine) in contaminated soil using various bioprocessed materials”, *Bioresour Technol.*, 99, 4642–4647.
- [48] Rubio-Bellido, M., Madrid, F., Morillo, E., Villaverde, J., 2015. “Assisted attenuation of a soil contaminated by diuron using hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin and organic amendments”, *Sci. Total Environ.*, 502, 699–705.
- [49] Marin-Benito, J.M., Herrero-Hernández, E., Andrades, M.S., Sánchez-Martín, M.J., Rodríguez-Cruz, M.S., 2014. “Effect of different organic amendments on the dissipation of linuron, diazinon and myclobutanil in an agricultural soil incubated for different time periods”, *Sci. Total Environ.*, 476–477, 611–621.
- [50] Rubinos, D.A., Villasuso, R., Muniategui, S., Barral, M.T., Díaz-Fierros, F., 2007. “Using the landfarming technique to remediate soils contaminated with hexachlorocyclohexane isomers”, *Water Air Soil Pollut.*, 181, 385–390.
- [51] Varo-Arguello, W.E., Camacho-Pérez, B., Ríos-Leal, E., Vazquez-Landaverde, P.A., Ponce-Noyola, M.T., Barrera-Cortés, J., Sastre-Conde, I., Rindernknecht-Seijas, N.F., Poggi-Varaldo, H.M., 2012. “Triphasic slurry bioreactors for the bioremediation of lindane-impacted soil under aerobic and anaerobic conditions”, *Environ. Eng. Manag.*, J. 10.
- [52] Ramakrishnan, B., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Sethunathan, N., Naidu, R., 2011. “Mixtures of environmental pollutants: effects on microorganisms and their activities in soils”, *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 63–120.
- [53] Robles-González, I., Fava, F., Poggi-Varaldo, H.M., 2008. “A review on slurry bioreactors for bioremediation of soils and sediments”, *Microb. Cell Factories*, 7, 5–50.
- [54] Quintero, J.C., Moreira, M.T., Lema, J.M., Feijoo, G., 2006. “An anaerobic bioreactor allows the efficient degradation of HCH isomers in soil slurry”, *Chemosphere*, 63, 1005–1019.
- [55] Fuentes, M.S., Alvarez, A., Saez, J.M., Benimeli, C.S., Amoroso, M.J., 2014. “Use of actinobacteria consortia to improve methoxychlor bioremediation in different contaminated matrices”, *Bioremediation in Latin America. Current Res. Pers.*, 267–277.
- [56] Znad, H., Ohata, H., Tade, M.O., 2010. “A net draft tube slurry airlift bioreactor for 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) pesticide biodegradation”, *Can. J. Chem. Eng.*, 88, 565–573.
- [57] Mukherjee, S., Weihermüller, L., Tappe, W., Hofmann, D., Köppchen, S., Laabs, V., Vereecken, H., Burauel, P., 2016. “Sorption-desorption behaviour of bentazone, boscalid and pyrimethanil in biochar and digestate based soil mixtures for biopurification systems”, *Sci. Total Environ.*, 559, 63–73.
- [58] Chin-Pampillo, J.S., Ruiz-Hidalgo, K., Masis-Mora, M., Carazo-Rojas, E., RodríguezRodríguez, C.E., 2015. “Adaptation of biomixtures for carbofuran degradation in onfarm biopurification systems in tropical regions”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22, 9839–9848.
- [59] Gao, H., Gao, X., Cao, Y., Xu, L., Jia, L., 2015. “Influence of hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin on the extraction and biodegradation of p,p'-DDT, o,p'-DDT, p,p'-DDD, and p,p'-DDE in soils”, *Water Air Soil Pollut.*, 226, 208–213.
- [60] Diez, M.C., Levio, M., Briceño, G., Rubilar, O., Tortella, G., Gallardo, F., 2013a. “Biochar as a partial replacement of peat in pesticide-degrading biomixtures formulated with different soil types. J. Biobased Mater”, *Bioenergy*, 7, 741–747.
- [61] Diez, M.C., Tortella, G.R., Briceño, G., Castillo, M.P., Díaz, J., Palma, G., Altamirano, C., Calderón, C., Rubilar, O., 2013b. “Influence of novel lignocellulosic residues in a biobed biopurification system on the degradation of pesticides applied in repeatedly high doses”, *Electron. J. Biotechnol.*, 0717–3458.
- [62] Castillo-Diaz, J.M., Delgado-Moreno, L., Núñez, R., Nogales, R., Romero, E., 2016. “Enhancing pesticide degradation using indigenous microorganisms isolated under high pesticide load in bioremediation systems with vermicomposts”, *Bioresour. Technol.*, 214, 234–241.
- [63] Madrigal-Zúñiga, K., Ruiz-Hidalgo, K., Chin-Pampillo, J.S., Masis-Mora, M., CastroGutiérrez, V., Rodríguez-Rodríguez, C.E., 2016. “Fungal bioaugmentation of two rice husk-based biomixtures for the removal of carbofuran in on-farm biopurification systems”, *Biol. Fertil. Soils*, 52, 243–250.
- [64] Cáceres, T., Megharaj, M. and Naidu, R., 2008. “Biodegradation of The Pesticide Fenamiphos By Ten Different Species Of Green Algae and Cyanobacteria. Current Microbiology”, 57, 643-6.
- [65] Aminfarzaneh H., 2010. “Siyenobakterilerde Bitki

Büyüme Düzenleyicilerin Biyokütle Üretimi Ve Pestisit Giderimi Üzerine Etkisi”, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi*, 10.1501/ankara-24407.

[66] Çoban, Ç., 2011. “Saccharomyces cerevisiae Mayasıyla Reactive Blue 222 Biyosorpsiyonunun Kinetik Ve Termodinamiği”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22 s.

[67] Maqbool, Z., Hussain, S., Imran, M., Mahmood, F., Shahzad, T., Ahmed, Z., Azeem, F., M u z a m m i l , S.,2016. “Perspectives of using fungi as bioresource for bioremediation of pesticides in the environment: a critical review”, *Environ. Sci. Pollut. Res*, 23, 16,904–16,925.

[68] Eliçin, K., Koç, C., Gezici, M., Gürhan, R., 2013. “Biyoyakıt Amaçlı *Nannochloropsis salina* Mikroalg Türünün Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 99-107.

[69] Girgin, M., 2011. “Pinus nigra kozalaklarında immobilize Saccharomyces cerevisiae biyokütlesi ile sulu çözeltilerdeki bazı tekstil boyarmaddelerinin renk giderimi”, *Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, 112 s.

[70] Gül Ü. D., Silah H., 2017. “Tarımda Kullanılan Atrazin Gideriminde Rhizopus Arrhizus Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi”, *GIDA*, 42 (3): 261-267.