



T.C.

GIDA TARIM ve HAYVANCILIK BAKANLIđI

TARIMSAL ARAřTIRMALAR ve POLİTİKALAR GENEL MÜDÜRLÜđÜ

Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü

Teknik Yayın No: T-70

BİTKİSEL İYİLEşTİRME TEKNİKLERİ

(PHYTOREMEDIATION)

Dr. İlknur YURDAKUL

Mayıs - 2014

Bu kitabın yayın hakları Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü'ne aittir. 5846 ve 2936 sayılı fikir ve sanat eserleri yasaı hükümleri gereğince "Bu kitap hiçbir yöntemle çoğaltılamaz. Resim, Şekil, Őema, grafik ve her hangi bir bölümü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü'nün izni olmadan kopya edilemez." Raporun içeriğindeki teknik bilgi yazar ve/veya yazarlarına aittir. Her hakkı Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü'ne aittir.

ÖNSÖZ

Çevre problemleri sanayileşmenin insan doğasına aykırı yönlerinin ortaya çıktığı ilk dönemlerde başlamıştır. Çevrede sanayileşmenin, makinalaşmanın ve insan faaliyetlerinde gelişen teknoloji ürünlerinin aşırı kullanımı nedeniyle kirletici etmenler yayılmaya ve birikmeye başlamışlardır. Doğanın dengesinin bozulmaması ve kirletici etmenlerle kirletilmesinin önlenmesi için bilinçli olarak savaş 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra oluşmaya başlamıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde 1869 yılında Halk Sağlığı Komitesi tarafından; her insanın temiz havaya, suya ve toprağa ihtiyacı olduğunu, bunların kirletilmemesi gerektiğini ve bunların sadece bir grup insanın değil bütün insanlığın ortak hazinesi olduğunu, bir kimsenin bilmeyerek de olsa doğayı kirletemeyeceğini açıklayan bir bildiri yayınlanmıştır. Çevreyi tehdit eden kirletici unsurları; kontrollü veya kontrolsüz arıtım işlemleri, proses hataları ve kazalar, tarımsal gübrelerin kullanımı, herbisitler, insektisitler, ve pestisitler, kirlenmiş alanlardan kirlenmemiş alanlara olan toprak taşınımı, metaller, patlayıcı ve zehirli atıklar, ağır metaller, inorganik ve organik bileşikler, yağlar, toksik ve patlayıcı gazlar, çürümüş maddeler olarak görmekteyiz.

Ekosistemi etkileyen maddelerin yok edilmesinde, azaltılmasında, zararsız bileşiklere dönüştürülmesinde veya doğada ya da kontrollü şartlarda depolanmasında kullanılan birçok iyileştirici ve kontrol edici teknoloji mevcuttur. Uygulanabilir iyileştirme tekniklerini temelde iki grup (In-Situ, Ex-Situ) halinde toplamak mümkündür. Bu çalışmada In-Situ tekniğinin uygulandığı, kirliliği depolayıcı materyal olarak bitkinin tercih edildiği bitkisel teknolojilerden bitkisel iyileştirme (phytoremediation) incelenmiştir. Phytoremediation; çeşitli faktörlerden etkilenmiş alanları eski haline çevirebilmek veya iyileştirebilmek için; doğa dostu, doğanın özünden gelen, bazı bölgelerde doğal süreçlerle gelişen endemik bitkilerle toprak ve suların kirliliğinin iyileştirilmesinde kullanılan, kirlenmiş alanların doğaya, tarıma kazandırılmasında faydalanılan yöntemlerdendir. Phytoremediation, kontaminasyonun olduğu tarımsal alanların, suların veya kirlilikten etkilenmiş değerli alanların kirlilik problemlerinin çözümünde kullanılan gelişmekte olan bir iyileştirme teknolojidir. Phytoremediation teknolojisinin çeşitlerini phytoextraction, phytostabilization, phytodegradation, rhizodegradation, rhizofiltration, hidrolik kontrol, tampon şeritler (riparian buffer strips) ve vejetatif örtü sistemleri olarak ayırmak mümkündür.

İnsan yaşamı için gerekli olan doğa, kendisini sürekli yenileyen bir çevrim içerisinde iken dış etkenlerin gücü ve sürekliliği nedeniyle değer kaybı, bozulma ve kirlenmeyle karşı karşıya

kalmakta ve eski döngüsünü gerçekleştirememektedir. Çevre bilincini artırarak, doğa dostu iyileştirme teknolojilerini tanıtmak ve çevreye duyarlı çalışmaları desteklemek amacıyla 'Bitkisel İyileştirme' konulu bu teknik yayın hazırlanmıştır. Çevre temizlenmesi, özel seçilmiş metotlar ve teknolojiler, akümülyasyon özelliği olan bitkiler, ilgili bilimler ve tehlikeli olabilecek mühendislik çalışmalarını içerisinde barındıran multidisipliner planlamalarla gerçekleştirilebilecek bir yönetim gerektirmektedir. Phytoremediation tekniğinin kullanımının artmasında hızlı yetişen hiperakümülyatör bitkilere veya hiperakümülyatörlük özelliği bulunan bitkilerin genetik özelliklerinin tespitlerinin yapıldığı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Dr. Aynur ÖZBAHÇE

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. İYİLEŞTİRME (REMEDIATION) TEKNOLOJİLERİ	9
3.1. Phytotechnology	10
3.1.1. Ağır Metallerle Kirlenmiş Topraklardaki Ağır Metal Alım Mekanizmaları	19
4. KİRLENMİŞ TOPRAKLARI İYİLEŞTİRME TEKNOLOJİLERİ	19
4.1. Metal Kirleticiler için Kullanılan Phytoremediation Teknikleri	23
4.1.1. Bitkisel Ekstraksiyon(Phytoextraction, Phytoaccumulation, Phytotranspiration)	23
4.1.2. Kök Bölgesi Filtrasyonu (Rhizofiltration)	24
4.1.3. Bitkisel Stabilizasyon (Phytostabilization)	25
4.2. Organik Kirleticiler için Kullanılan Phytoremediation Teknikleri	26
4.2.1. Bitkide Bozunma (Phytodegradation)	26
4.2.2. Kök Bölgesinde Bozunma (Rhizodegradation)	27
4.2.3. Bitkiden Buharlaştırma (Phytovolatilization)	27
4.3. Hidrolik Kontrol	28
4.4. Vejetatif Örtü	29
4.5. (Riparian) Buffer Strips	30
5. BİTKİ ÖZELLİKLERİ	38
5.1. Hardalgiller (<i>Brassicaceae</i>)	41
5.1.1. <i>Alyssum</i>	44
5.1.1.1. <i>Alyssum murale</i>	47
5.1.2. <i>Brassica</i>	48
5.1.2.1. <i>Brassica carinata</i>	49
5.1.2.2. <i>Brassica juncea</i> L.	50
5.1.2.3. <i>Brassica oleracea</i> L.	52

5.1.2.4. <i>Brassica napus</i> L.....	53
5.1.2.5. <i>Brassica nigra</i> L.....	54
5.1.2.6. <i>Brassica rapa</i> L.....	55
5.1.3. <i>Thlaspi</i>	56
5.1.3.1. <i>Thlaspi goesingense</i>	58
5.1.3.2. <i>Thlaspi caerulescense</i>	60
5.2. Phytoremediation Tekniğinde Kullanılan Diğer Bitkiler	61
5.2.1. <i>Eichornia crassipes</i>	61
5.2.2. Willows (<i>Salix spp.</i>)	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
6.1. Phytoremediation Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları	65
6.1.1. Phytoremediation Tekniğinin Avantajları	65
6.1.2. Phytoremediation Tekniğinin Dezavantajları.....	66
7. KAYNAKLAR.....	70

ÇİZELGELER

Çizelge 1. Ni Biriktiren <i>Brassicaceae</i> Türleri	17
Çizelge 2. Phytoremediation Teknolojilerinin Kirletici Çeşitlerine Göre Sınıflandırılması ...	23
Çizelge 3. Phytoremediation Tekniğinde Proses Hedefi, Farklı Kirletici Ortamlar ve Uygun Bitki Çeşitleri.	33
Çizelge 4. Phytoremediation Tekniğinde Kullanılan Bazı Bitkiler ve Bazı Ortamlar	34
Çizelge 5. Kirleticilerin Buldukları Ortama Göre Yapılan İyileştirme Çalışmaları	35
Çizelge 6. Farklı Phytoremediation Teknikleri ile Elde Edilmiş Bitkilerin En Son Giderim Yolları.....	36
Çizelge 7. Petrol Hidrokarbonlarını İyileştirme Potansiyeli Gösteren Bitkiler	37
Çizelge 8. Petrol Hidrokarbonlarını Tolere Etme Potansiyeli Olan Bitkiler	37
Çizelge 9. Toprak Kirliliğinin İyileştirilmesinde Kullanılan Bazı Bitki Türleri ile Bünyelerinde Biriktirebildikleri Metal Miktarları.....	39

Çizelge 10. <i>Brassicaceae</i> Familyasına Ait Bitki Cinsleri.....	42
Çizelge 11. <i>Alyssum</i> Bitki Cinsi İçerisinde Bulunan Bitki Türleri	45
Çizelge 12. Türkiye’de Bulunan <i>Alyssum</i> Cinsi Bitki Türleri	45
Çizelge 13. Türkiye’de Bulunan <i>Brassica</i> Cinsi Bitki Türleri.....	49
Çizelge 14. <i>Thlaspi</i> Bitki Cinsi İçerisinde Bulunan Bitki Türleri.....	57
Çizelge 15. Türkiye’de Bulunan <i>Thlaspi</i> Cinsi Bitki Türleri.....	58

ŞEKİLLER

Şekil 1. Phytoextraction Modelsel Gösterimi	24
Şekil 2. Rhizofiltration Modelsel Gösterimi.....	25
Şekil 3. Phytostabilization Modelsel Gösterimi.....	26
Şekil 4. Phytodegradation Modelsel Gösterimi.....	27
Şekil 5. Rhizodegradation Modelsel Gösterimi.....	27
Şekil 6. Phytovolatilization Modelsel Gösterimi	28
Şekil 7. Vejetatif Örtü Uygulamasının Gösterimi.....	29
Şekil 8. Riparian Koridor Uygulamasının Gösterimi.....	31
Şekil 9. Riparian Koridor Uygulamasının Gösterimi.....	31
Şekil 10. Phytoremediation Tekniğinde Kullanılan Mekanizmaların Gösterimi	32
Şekil 11. <i>Brassica carinata</i> L..	50
Şekil 12. <i>Brassica juncea</i> L..	51
Şekil 13. <i>Brassica oleracea</i> L..	52
Şekil 14. <i>Brassica napus</i> L..	53
Şekil 15. <i>Brassica nigra</i> L..	54
Şekil 16. <i>Brassica rapa</i> L..	56
Şekil 17. <i>Thlaspi caerulescense</i>	60
Şekil 18. <i>Willows (Salix spp.)</i>	62

RESİMLER

	Sayfa No
Resim 1. <i>Alyssum murale</i>	48
Resim 2. <i>Thlaspi goesingense</i>	59
Resim 3. <i>Eichornia crassipes</i>	61

1. GİRİŞ

Çevre sorunları ilk defa 1869 yılında Massachusetts (ABD) Halk Sağlığı Komitesi tarafından değerlendirilmiştir. Bu konu ile ilgili olarak; her insanın temiz havaya, suya ve toprağa ihtiyacı olduğu, kirletilmemesi gerektiği ve bunların sadece bir grup insanın değil bütün insanlığın ortak hazinesi olduğu, bir kimsenin bilmeyerek de olsa doğayı kirletemeyeceğini açıklayan bir bildiri yayınlamışlardır.

Hava, toprak ve su çevremizi saran ortamda kirlenen sahalardır. Havanın kirlendiği bölge özellikle troposfer, antropojenik (insan faaliyetleri ile ilgili) ve doğal faaliyetlerin içerisinde gerçekleştiği atmosferin hacimce en küçük olan ve toprağı saran bölümünde görülmektedir. İnsan aktiviteleri ve doğal faaliyetler sonucu bu tabakaya bazı zararlı maddeler karışmaktadır. Bu maddelerin (azot oksitler, hidrokarbonlar, halokarbonlar, karbonmonoksit, kükürtdioksit ve partiküller) konsantrasyonunun canlılar üzerinde ölçülebilecek bir değişiklik meydana getirmesine neden olabilecek düzeye ulaşmasına atmosfer kirlenmesi denilmektedir. Troposfer tabakasından sızan gazlar bir üstte yer alan stratosfer tabakasına ulaştığında, burada bulunan ozon tabakasının zarar görmesi ile dolaylı olarak yine canlılar bu kirlenmeden olumsuz etkilenmektedir. Su kirliliğinde, kirlilik kıstasları içerisinde amaca uygun olmama ifadesi yer almaktadır. Yani kullanım amacına uygun olmayan suya kirli su denmektedir. Su kirleticileri çok farklıdır. Bunların içerisinde en çok dikkate alınan konular; organik kirleticiler, salgın hastalıklara neden olan kirleticiler, bitkilerin anormal büyümesine ve çoğalmasına neden olan kirleticiler, sentetik kirleticiler, sediment kökenli kirleticiler, petrol kökenli kirleticiler, inorganik kirleticiler, radyoaktif kirleticiler ve atık ısının meydana getirdiği kirlenmeyi sayabiliriz (Gündüz, 1994).

Çevrimizi saran ortamlardan bir diğeri de topraktır. Doğal aktiviteler ve insanlardan dolayı dünyada ağır metal konsantrasyonu artmaktadır. Radyonükleotid ve ağır metal kirliliği ekosistemi tehdit etmeye başlamıştır. Bu zararlı bileşikler uzun zaman inaktif bir durumda kalabilmekte ve uygun şartlar oluştuğunda da zararlı etkilerini hemen gösterebilmektedirler (Goodson, 2003; Stepien, 2004; Szyzewski, 2009). Kontrollü veya kontrolsüz atık arıtılması, proses hataları ve kazalar, tarımsal gübrelerin kullanımı, herbisitler, insektisitler, ve pestisitler ile kirlenmiş alanlardan kirlenmemiş alanlara olan toprak taşınımı, çevreyi etkisi altına alan çok miktarda metaller, patlayıcı ve zehirli

atıklar, ağır metaller, inorganik ve organik bileşikler, yağlar, toksik ve patlayıcı gazlar, çürümüş maddeler kirlilik etmenleridir (Khan, 2000). Metal zenginleştirme prosesleri, elektroplating, eksoz gazları, enerji üretimleri, yoğun tarım ve atıklarının etkileri gibi çeşitli prosesler sonucunda topraklar ağır metal bileşikleri ile kirlenmektedir (Seward ve Richardson, 1990). İnsan aktiviteleri ve doğal toprak bileşikleri içerisinde de ağır metallere rastlamak mümkündür. Ağır metallerin yüksek seviyeleri toprak kalitesinin bozulmasına, ürünün, verim ve kalitesinde azalmaya neden olmakta (Long vd., 2002) ve dolayısıyla insan ve diğer organizmalar için önemli tehlikelere yol açmaktadır (Blaylock ve Huang, 2000).

Bazı metallerin yaşam için gereklilikleri vardır, ancak yaşayan organizmadaki birikimleri toksik etki yapmaktadır. Çevredeki birikimleri yok olmadıkları ya da bozunmaları çok uzun zaman aldığı için artmıştır. Örneğin kurşun uzun sürede bozunanlardan birisidir ve toprağın temizlenmesi için 150-5000 yıla ihtiyaç vardır (Friedland, 1990).

Ağır metaller yoğunluğu $5 \text{ g (cm}^3\text{)}^{-1}$ 'den büyük olan metaller olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaya göre ağır metaller periyodik cetvelde B grubu (Cu, Hg gibi) ve sınır elementleri (Fe, Zn, Cd, Pb gibi) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Martin ve Coughtrey, 1985). Ağır metaller potansiyel toksik (birikim sonucu zehir etkisi) elementlerdir. Zehirlilik (toksikite); zehirli (toksik) maddelerin canlı yapısına girdiği zaman, canlının yapısına ve çeşidine bağlı olarak canlıyı olumsuz şekilde etkilemesi ve belli doz aşımalarında ölümüne neden olması şeklinde tanımlanmaktadır (Conor, 2004). Atom ağırlıkları 63 ile 200 arasında olan, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), civa (Hg), arsenik (As), krom (Cr) gibi ağır metallerin çevreye yayılmaları farklı şekillerde olmaktadır. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Özay ve Mammadov, 2008).

- 1- Egzoz gazı kaynaklı yayılımlar ile Pb,
- 2- Madencilik kaynaklı yayılımlar ile Cr ve B,
- 3- Endüstriyel kaynaklı yayılımlar ile (pil üretimi ve kullanımı) Hg ve Cd,
- 4- Demir çelik sanayi ve atıkları ile Cr,
- 5- Petrol rafinerisi ile Pb,
- 6- Boyalar ile Pb ve Cd,