



Derleme

www.ziraat.selcuk.edu.tr/ojs
Selçuk Üniversitesi
Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi
25 (4): (2011) 103-108
ISSN:1309-0550



Kirlenmiş Arazilerin Islah Edilmesinde Fitoremidasyon Tekniği

Hüseyin KALKAN¹, Şule ORMAN^{1,2}, Mustafa KAPLAN¹

¹Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antalya/Türkiye

(Geliş Tarihi: 13.04.2011, Kabul Tarihi:29.07.2011)

Özet

Son yıllarda endüstri, madencilik, tarım, ve diğer insan aktivitelerindeki gelişmelere bağlı olarak çevre kirlenmesi küresel bir problem haline almıştır. Kirlenmiş arazilerdeki kirlenmeler arasında ağır metaller, pestisitler, organik ve radyoaktif atıklar önemli bir yer tutmaktadır. Kirlenmiş arazilerdeki kirlenmelerin davranışlarının ve ilişkilerinin karmaşık olmasından dolayı bu alanların fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak temizlenme maliyetleri yüksektir. Fitoremidasyon, bitki yetiştirilerek kirlenmiş arazilerin kirlenmelerden temizlenmesi işlemidir. Bitkiler organik ve inorganik kirlenmeleri bünyelerine alarak, biriktirerek, depolayarak veya parçalayarak ortamın temizlenmesini sağlarlar. Bu sayede kirlenmiş arazilerin yenilenmesi veya stabilize edilmesi mümkündür. Fitoremidasyon diğer ıslah yöntemlerine göre sürdürülebilir ve daha uygun maliyetlidir. Ayrıca kirlenmiş arazilerin çevrelerinde neden oldukları kirlilikleri (rüzgarla, yağışlarla taşınma ve yeraltı sularına karışma gibi) önleme açısından da etkili olup çevre dostu bir yöntem olarak da adlandırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Fitoremidasyon, çevre kirliliği, organik ve inorganik atıklar, ağır metaller.

Phytoremediation Technique in The Remediation of The Contaminated Lands

Abstract

In recent years, environmental pollution has become a global problem due to developments in industry, mining, agriculture and other human activities. Among the environmental pollutants, heavy metals, pesticides, organic and radioactive wastes are important pollutants. Due to the complex behavior and relations of pollutants in contaminated lands, the cost of the remediation of these areas by physical and chemical methods is significantly high. Phytoremediation is a process the decontamination of polluted areas by using plants. Plants can clean their surrounding environment by taking up, accumulating, storing or degrading organic and inorganic pollutants. Thus, it is possible to restore and stabilize contaminated lands by this technique. Phytoremediation is more sustainable and cost-effective compared to other remediation methods. In addition, phytoremediation is considered to be a more environmentally friendly technique and effective in prevention of pollution of environments (through wind, rain and leaching to groundwater) surrounding contaminated lands.

Key Words: Phytoremediation, environmental pollution, organic and inorganic wastes, heavy metals.

Giriş

Günümüzde çevre kirliliği, üzerinde durulması gereken en önemli konulardan biri haline gelmiştir. İnsanoğlu son birkaç yıl içinde ve özellikle de endüstri devriminden sonra çeşitli faaliyetleri ile çevresini çoğu kez olumsuz yönde etkilemiş ve kirlenmesine neden olmuştur. Kendi işlevleri açısından bakıldığında; doğanın, atık arıtım kapasitesi ve dayanıklılık sınırının çok yüksek olduğu bilinmektedir. Fakat özellikle insan kaynaklı olumsuz etkenler bu kapasitenin dayanabilme sınırını zorlamakta ve hatta aşmaktadır. Çevre kirliliğine neden olan kirlenmeler arasında şüphesiz ki ağır metal kirliliği önemli bir yer tutmaktadır. Ağır metallerin yer aldığı en önemli çevre kirlenme kaynaklarından biri endüstridir. Endüstriyel atıklardaki ağır metaller inorganik ve organik bileşikler halinde bulunduğu için su ve toprak açısından büyük bir kirlilik kaynağı olmaktadır. Ayrıca, ağır metal kirliliği tarımsal alanları da giderek tehdit etmekte ve besin zinciri yoluyla insan sağlığına ciddi düzeylerde zarar vermektedir (Schicker ve Haddar, 1999). İnsanlar

²Sorumlu Yazar: suleorman@akdeniz.edu.tr

üzerinde zihinsel, hormonal ve nörolojik açıdan olumsuz etkiler yapmaktadır. Bunların yanısıra alerjik reaksiyonlara, genlerin mutasyonuna, vücuda yararlı bakterilerin ölümlerine de neden olmaktadır (Siegel, 2002). Miktarları her geçen gün artan ağır metal kirliliklerinin çevresel sorunlar yaratmaması için uygun yöntemlerle bertarafı gerekmektedir. Bazen çinko, bakır, demir ve mangan gibi gerekli olan mikro besinler ya da bazen alüminyum, kurşun, civa ve kadmiyum gibi çevresel kirlenme ajanları ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, tüm canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır (Niober ve Richardson, 1980). Çevrede kirlenme etkenleri en fazla gözlenen ağır metaller kadmiyum, krom, kobalt, bakır, kurşun, civa, nikel, gümüş, kalay, çinko ve lantanitler/aktinidlerdir.

Ağır metal kirliliklerinin çeşitli nedenlerle oluştuğu bilinmektedir. Bunlar insan kaynaklı ya da doğal kaynaklı olabilir. Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda gübreleme ve ilaçlama gibi

pek çok etken ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında yer alabilir. Bu metallerin besin zincirinde birikerek insana kadar ulaşması ve doğada kalıcı olmaları ise en büyük problemdir (Gadd, 2000). Doğadaki insan kaynaklı ağır metaller çoğunlukla kentsel atıklar, kömür madenciliği, maden cevheri üretim ve imalatıdır. Bu metallerin buldukları ortamdan uzaklaştırılmaları amacı ile çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında redüksiyon, kimyasal çöktürme, filtrasyon, elektrokimyasal muamele ve havalandırma yer almaktadır. Bu tekniklerin kullanımı açısından maliyetinin fazlalığı, bölgeye uyum sağlayamama, uygulanabilir olmama gibi sebeplerden dolayı bazı zorluklar bulunmaktadır. Çeşitli etmenlerle meydana gelen kirliliğin giderilmesinde potansiyeli yüksek alternatif bir uygulama olan fitoremidasyon tekniğinin kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır (Anderson, 1977).

Fitoremidasyon

Fitoremidasyon terimi kelime anlamı olarak; bitki anlamındaki “fito” ile ıslah anlamındaki “remediasyon” kelimelerinden türetilmiş olup, 1991 yılında terminolojiye girmiştir. Bu terim İngilizce’de phyto-remediation, botanical remediation ve green remediation olarak da geçmektedir (EPA 2000, Meagher 2000). Türkçe’de “Yeşil Islah” (Fitoremidasyon) olarak kullandığımız bu ifade bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme teknolojisidir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik atık maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir (Henry, 2000). Fitoremidasyon yöntemiyle giderilen kirleticilerin başında ağır metaller gelmektedir. Ağır metaller Periyodik Cetvel’de bakır ve civa arasında yer alan, atom ağırlıkları 63.546 ile 200.590 arasında değişen ve 5 g/cm³’den daha yüksek özgül ağırlığa sahip bir grup element olarak tanımlanır (Zenk, 1996).

Fitoremidasyon çok yeni bir teknoloji olmasıyla birlikte birçok avantaj ve dezavantaja sahiptir (Mcintyre, 2003).

Avantajları;

- Daha ekonomiktir.
- Saha tekrar bitkilendirilerek estetik bir görünüme kavuşturulup halk tarafından hoş karşılanabilir.
- Döküntü sahalarına ihtiyaç duyulmaz.
- Kirlenmiş sahanın kazılarak başka bir yere taşınmasına gerek olmayıp kirleticilerin yayılma riski de azaltılmış olur.
- Tek bir kirleticiden ziyade daha fazlasıyla kirlenmiş sahaların ıslah edilmesi potansiyeline sahiptir.

Dezavantajları;

- Bu amaçla kullanılacak uygun bitkiler için gerekli olan büyüme ve gelişme şartlarına (iklim, jeoloji, rakım ve yükseklik) bağlıdır.

- Başarısı bitkinin kirleticiye olan toleransına bağlıdır.
- Kirleticiler yakıt olarak kullanılan (kereste) bitki dokularında toplanmış olabilir.
- Diğer teknolojilere göre ıslah daha uzun zaman alabilir.
- Kirletici çözünürlüğü ve yıkanma ihtimali artabilir.

Fitoremidasyon kapsamında söz konusu olan yöntemler; Fitoeleştirasyon, Fitostabilizasyon, Fitovolatilizasyon, Rizodegradasyon, Fitodegradasyon, Rizofiltrasyon, Hidrolik Kontrol, Vejetatif Örtü Sistemleri, Kıyı Tampon Şeritleri başlıkları altında toplanmaktadır. Tablo 1’de fitoremidasyon yöntemlerinin hedef proses, ortam, kirletici ve kullanılan bitkiler yönüyle uygulanması ile ilgili genel bilgiler bulunmaktadır (EPA, 1995).

Fitoeleştirasyon (Fitoeleştirasyon - Bitkisel Özümlenme)

Fitoeleştirasyon, topraklardaki metal kirleticilerin bitki kökleriyle alınmasıyla gerçekleşen bir yöntemdir. Kirli alanların iyileştirilmesi için çok geçerli bir yöntem olup, kirlenmiş bölgeye dikilen, giderim yeteneği olan bitkinin budanması veya sökülmesi ile kirlilik etmenleri alandan uzaklaştırılmaktadır. Hasat edilen kısımlar gübre olarak değerlendirildiği gibi içindeki ağır metaller yeniden elde edilebilir. Bitkisel madencilik (phytomining) denilen bu yöntem; işlenerek çıkarılması ekonomik olmayan maden cevherlerinin elde edilebilmesi yolunu açmaktadır. ABD’nde bu yolla altın ve nikel gibi elementler geri kazanılmaktadır. Bu teknoloji daha çok, ağır metallerle kirlenmiş topraklarda uygulanmaktadır (EPA, 2000). Fitoeleştirasyon sonucunda hasat edilen bitki kalıntıları;

- Kurutulup, yakılarak kül haline getirilerek,
- Kompost haline getirilerek,
- Biyolojik metal madeni halinde yeniden dönüşüme sokularak izole edilebilir (Memon ve ark., 2000).

Bu yöntemde kirlilik taban suyuna geçmişse bitki köklerinin ulaşabileceği derinlik dikkate alınmalıdır (Pivetz, 2001). Bu yöntemle topraktan alınan kirleticiler, elementler (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn), radyonükleidler (90Sr, 137Cs, 239Pu, 238U, 234U), metal olmayanlar (B) ve bazı organiklerdir. Buna bağlı olarak ABD’nin Trenton şehrinde kurşunla kirlenmiş topraklarda yerinde yapılan çalışmalarda fitoeleştirasyonun performansı kanıtlanmıştır. Toprakta bulunan kurşunun yaklaşık %50’si Hardal bitkisi (*Brassica juncea*) kullanılarak bir yılda temizlenmiştir (Schnoor, 1997).

Fitostabilizasyon

Bitkilerin kullanılmasıyla topraktaki kirleticilerin stabil hale getirilerek biyolojik alınabilirliğinin azaltılması anlamındaki fitostabilizasyon, kirleticilerin hareketsizleştirilmesi, kökler tarafından biriktirilmesi, köklerin yüzeyine yapışması veya bitkinin kök bölgesinde çökmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Ayrıca bitki kökleri tarafından rüzgar ve su erozyonu, sızma ve toprak dispersiyonu yoluyla kirleticilerin muhtemel hareketinin engellenmesi olarak da tanımlanır. Bu yöntemle bitkinin kök çevresi mikrobiyolojisi ve kimyası ile yakından ilişkili olan sistemde bitki, kirletici etmenin yapısını suda çözünemeyen-taşınamayan şekilde değiştirebilmektedir (EPA, 2000). Toprak taşınmasını gerektirmemesi önemli bir avantajdır. Ayrıca alan bitkilendirildiği için ekosistemi zenginleştirir. En önemli dezavantajı kirlilik etmenleri-

nin alanda kalarak uzun zaman dilimi içerisindeki değişikliklerle taşınabilmesi veya yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir (Henry, 2000). Sistemde gübreleme ve toprak ıslahı çalışmalarına maksimum stabilizasyon etkinliği sağlamak için gerek vardır. Kök derinliği sistemin etkinliği bakımından çok önemlidir. Örneğin kavak kökleri 150-300 cm derinlikler için düşünülebilir. Hibrit bir kavak Güney Dakota (ABD)'daki bir çalışmada ilk yıl 12 m büyüme kaydederek bünyesinde tahmin edilenden çok daha yüksek miktarlarda As ve Cd biriktirmiştir (Pivetz, 2001). Fitostabilizasyon yöntemi toprak, sediment ve çamurların arıtılmasında kullanılır. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn gibi elementlerle kirlenmiş toprakların fitostabilizasyon ile iyileştirilmesi için Hindistan Hardalı ve çimlerle başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (EPA, 2000).

Tablo 1. Kirleticilerin Buldukları Ortama Göre Yapılan Fitoremidasyon Uygulamaları (EPA, 1995).

Mekanizma	Proses Hedefi	Ortam	Kirleticiler	Bitkiler
Fitoekstraksiyon	Kirletici alma ve uzaklaştırma	Toprak, Sediment, Çamur	Metaller, Metalloidler, Radionükleidler	Hindistan Hardalı, Pennycress, Kuduz Otu, Ayçiçeği, Hibrit Kavaklar
Rizofiltrasyon	Kirletici alma ve uzaklaştırma	Yüzey ve yeraltı suyu	Metaller, Radyonükleidler	Ayçiçeği, Hindistan Hardalı, Su Sümbülü
Fitostabilizasyon	Kirletici etkisizleştirme	Toprak, Sediment, Çamur	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn	Hindistan Hardalı, Hibrit Kavaklar, Çimler
Rizodegradasyon	Kirletici giderme	Toprak, Sediment, Çamur, Yeraltı suyu	Organik bileşikler	Kırmızı Dut, Çimler, Hibrit Kavaklar, Sukamışı, Çeltik
Fitodegradasyon	Kirletici giderme	Toprak, Sediment, Çamur, Yüzey ve yeraltı suyu	Organik bileşikler, Klorinat çözücüler, Fenoller, Herbisitler	Alg, Su Avizesi, Hibrit Kavaklar, Siyah Söğüt, Servi
Fitovolatilizasyon	Kirletici buharlaştırma	Toprak, Sediment, Çamur, Yeraltı suyu	Klorinat çözücüler, Bazı inorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, Yonca, Yalancı Akasya, Hindistan Hardalı
Hidrolik Kontrol	Kirletici bozunma	Yüzey ve yeraltı suyu	Suda çözünen organik ve inorganikler	Hibrit Kavaklar, Söğüt
Vejetatif Örtü	Erozyon kontrolü	Toprak, Sediment, Çamur	Organik ve İnorganik Bileşikler	Kavaklar, Çimler
Kıyı Tampon Şeritleri	Kirletici giderme	Yüzey ve yeraltı suyu	Suda çözünen organik ve inorganikler	Kavaklar

Fitovolatilizasyon

Fitovolatilizasyon organik (klorlu çözücüler) ve inorganik (Hg, Se) kirletici etmenlerin bitki bünyesine

alınarak, yapısının atmosfere verilecek şekilde değiştirilmesi ve atmosfere verilmesidir. Fitovolatilizasyon, fitodegradasyon prosesini de içerebilmektedir. Yöntemin en önemli avantajı çok zehirli bileşiklerin (ör-

neğin civalı bileşikler) daha az zehirli formlara dönüşmesidir. Ancak çok zararlı-zehirli materyallerin atmosfere bırakılabilmesi de bir dezavantajdır. Bu sistemde kök derinliği çok önemlidir. Yeraltı suları söz konusu ise, bitki köklerinin derin olması gerekir. Kirli yeraltı suları pompalarla yüzeye çıkarılarak suyun daha sıkı bitki köklerine alınması da sağlanabilir (EPA, 2000).

Rizodegradasyon

Degradasyon mikroorganizmalar tarafından veya bitki köklerinin etkisi ile oluşuyorsa bu olay rizodegradasyon olarak tanımlanır. Rizodegradasyon topraktaki kök bölgesinde, organik kirleticilerin mikroorganizma faaliyetleri sonucunda ayrışmasıdır. Kök bölgesinde mikrobiyal aktiviteleri etkileyen ve köklerden bırakılan şeker, aminoasit, organik asit, yağ asitleri, sterol, büyüme etmenleri, nükleotid, flavanon ve enzimler bulunur. Kirlilik yaratan organik bileşikler de bu çevrededir. Kökle bozunumun en önemli yararı kirleticilerin doğal ortamda yok olmasıdır. Ancak bunlar bitki veya atmosfere az da olsa taşınır (Söğüt ve ark., 2002). Rizodegradasyon yöntemi ile giderilen kirleticiler arasında TPH (Toplam Petrollü Hidrokarbonlar), PAH (çok halkalı aromatik hidrokarbonlar), BTEX (benzen, toluen, etilbenzen, ksilen), pestisitler (herbisit, insektisit, akarisit, rodentisit), klorlu çözücüler (TCE, TCA), PCP (pentaklorofenol), PCB (poliklorinatlı bifeniller), yüzey aktif maddeler (LAS, LAE) sayılabilir (Farrell ve ark., 1999). Rizodegradasyon amacıyla kullanılan bitkiler arasında ise; Kırmızı Dut (*Morus rubra* L.), Nane (*Mentha spicata*), Yonca (*Medicago sativa*) ve Su Kamışı (*Typha latifolia*) bitkileri sayılabilir (EPA, 2000).

Fitodegradasyon

Fitotransformasyon olarak da bilinen fitodegradasyon bitkiler tarafından alınan organik kirleticilerin metabolik proseslerden geçerek, bitkiler tarafından üretilen enzimler gibi bileşiklerin etkisi ile bozunma yöntemidir. Bitki enzimleri cephane atıkları, klorine olmuş solventler (TCE: trichloroethane) ve ayrıca organik herbisitler gibi parçalanabilen diğer zararlı maddeleri bozunmaya uğratmaları ile tanımlanırlar (Mirsal, 2004). Ana mekanizma kirleticinin bitkiler tarafından alınması ve bitki bünyesinde metabolize olmasıdır. Bu işlem genellikle kök bölgesi (kök ucu-kök tüyleri) ile sınırlıdır. Organik bileşiklerin bitki bünyesine alınabilmesi için eriyebilirliği, bitki tipi, kirlilik etmeninin toprakta kalma süresi ile toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Hemen eriyebilen bileşiklerin bitki tarafından alınması zordur.

Bitkisel bozunum olarak da nitelendirdiğimiz fitodegradasyon toprak, sediment, çamur ve yeraltı sularında uygulanabilmektedir. Yeraltı suları pompalarla yüzeye de alınabilir. Yöntemin en önemli dezavantajı indirgenme veya bozunmanın fizyolojik olaylar doğrultusunda bitki içinde olması ve mikroorganizmalara bağlı olmamasıdır. Yapılan çalışmalarda 70 organik bileşiği

bünyesine alarak onların bozunmasını sağlayan 88 bitki türü saptanmıştır. Ayrıca kavak ağacı derin kökleri ile taban suyundaki azotu (nitratı) almakta, bitkide azot proteinlere veya azot içeren bileşiklerin yapısına girmekte ve bir kısmı da gaz olarak atmosfere bırakılmaktadır. Organik bileşenlerin gideriminde su bitkisi olan Papağan Tüyü (*Myriophyllum aquaticum*) ve bir alg olan Kayaotu (*Nitella*) bitkileri TNT'nin bozunmasında kullanılmaktadır. Yöntemin dezavantajı ise bozunma sırasında zehirli ara ve son ürünlerin oluşabilmesi ve bunların çok zor tespiti (Pivetz, 2001).

Rizofiltrasyon

Rizofiltrasyon, biyotik ve abiyotik işlemlere bağlı olarak kirleticilerin köklerin içine alınması veya bitki köklerinin üzerinde adsorplanmasıdır. Bu işlemlerin oluşu sırasında kirleticiler bitkiye alınabilir ve taşınabilir. Temel olan kirleticilerin bitki üzerinde veya içinde hareketsizliğinin sağlanmasıdır. Kirleticiler daha sonra çeşitli yollarla bitkiden alınabilir. Bu yöntem yeraltı suları, yüzey suları ve atık sularda uygulanmaktadır. Karasal ve sucul bitkilerin kullanılmasına olanak tanınması önemli bir avantajdır. Ayrıca sistem doğal ortamlarda uygulanabilirliğinin yanı sıra havuz, tank, gölet gibi yapay alanlarda da uygulanabilmekte, yani kirlilik, kaynağında veya uzakta bertaraf edilebilmektedir (Söğüt ve ark., 2002). Atıksuyun kirleticilerin bitki tarafından alınması olanak tanyacak pH düzeyine getirilmesi, debinin kontrol altına alınması ve bitkilerin belirli aralıklarla yenilenmesi için iyi bir mühendislik tasarımı gerekmektedir (Pivetz, 2001).

Bu teknoloji ile giderilen kirleticileri, elementler (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr) ve radyonükleidler (U, Cs, Sr) olarak sıralamak mümkündür (EPA, 2000).

Hidrolik Kontrol Yöntemi

Hidrolik kontrol, bitki kullanılarak yeraltı sularında kirlilik etmenlerinin birikmesinin ve taşınmasının engellenmesi veya kontrol altında tutulması olarak tanımlanır. Bu işlem yeraltı ve yüzey sularına uygulanabilir. Bu sistemde daha önce bahsedilen fitoremedasyon kategorilerinin birden fazlası bir aradadır. En önemli avantajı herhangi bir yapay sistem kurulmasına gerek olmaması ve köklerin pompalardan daha fazla alana yayılması nedeniyle ıslah etki alanının çok genişlemesidir. En önemli dezavantajı ise mevsim ve iklime bağlı olarak bitkinin su alımının değişmesidir. Örneğin; yaprak döken ağaçlar kış boyunca istenilen görevi yapamazlar (EPA, 2000).

Yeraltı suyunun ıslahı için derin köklü bitki türleri kullanılmaktadır. Kavak, söğüt ve okaliptus gibi türler bu amaçlarla kullanılmaktadır. Beş yaşındaki bir Kavak ağacının günde 100-200 lt su alması, tek bir söğüt ağacının terleme miktarının bir günde 20 m³ suya eşdeğer olması bu bitkilerin su kullanma yeteneklerini ve bu amaçla kullanılmalarının önemini vurgulamaktadır (Pivetz, 2001).

Vejetatif Örtü Yöntemi

Vejetatif örtü, kirleticilerin toprak yüzeyindeki uzun süreli ve kendiliğinden yetişen bitki sistemi ile kontrol altına alındığı bir yöntemdir. Vejetatif örtü, topraktan buharlaşarak su kaybını engelleyici olarak veya ıslah edici olarak iki tiptir. Birinci tipte bitki toprağın su kaybını en aza indirirken, su tutma yeteneğini de en üst seviyeye çıkarır. Kirletici etmenler de yıkanma formasyonuna indirgenememekte veya hareket edememektedir. Fitoremidasyon amaçlı ikinci tip örtüde ise bitki bir örtü olarak suyun infiltrasyonunu minimize etmekte ve alt tabakadaki kirliliğin giderilmesini sağlamaktadır.

Mekanizmada su alımı, kök çevresi mikrobiyolojisi ve bitki metabolizması var olup, sistemde hidrolik kontrol dahil fitodegradasyon, rizodegradasyon, fitovolatilizasyon ve fitoekstraksiyon kategorileri de bulunabilir. Uygulamalarda vejetatif örtü genellikle kirliliğin dağılmasını engelleyecek bariyerler şeklinde oluşturulur. Bu örtü kendini sürekli yenileyen, yüzey erozyonunu en aza indirgeyen ve bakım istekleri az olan bir ekosistem olarak düşük maliyetle kurulabileceği için ABD’de katı atık depolama alanlarının örtülmesinde alternatif olarak düşünülmektedir (EPA, 2000).

En önemli dezavantajı uygun bitki örtüsünü garantiye almak için gerekli olabilecek uzun süreli bakım ve kontrolün sağlanması gereğidir. Çünkü bitki türlerinden bazıları zaman içinde diğerine daha baskın hale gelebilir. Kirliliğe neden olan bir su kaynağı veya akarsu kenarında kurulan vejetasyon örtüsüne ise “Nehir Kıyısı Vejetasyon Örtüsü” (Riparian Corridors) adı verilir. Bu örtü fitoremidasyon kategorileri ile kirliliğin ıslahı, çevreye yayılmaması, taban suyuna karışmaması gibi görevler üstlenmektedir. Genelde suda eriyebilen kirlilik etmenlerinin bertaraf edilmesi kolaydır. Bu sistem erozyonu da kontrol ederek sedimenti azaltır (Pivetz, 2001).

Kıyı Tampon Şeritleri

Kıyı tampon şeritleri genellikle akarsulara doğru akan yer altı veya yüzeysel su içerisindeki kirleticilerin giderilmesi için akıntı boyunca akarsuların kıyılarına şeritler halinde uygun bitkilerin ekilmesi işlemine verilen addır. Bu ıslah yöntemi; kirliliğin çevreye yayılmaması, taban suyuna karışmaması gibi görevler üstlenir. Sistem erozyonu da kontrol eder ve sedimenti azaltır. Kanada’da yapılan çalışmalarla toprak erozyonunun %90, herbisit akışının %42-70 oranlarında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca sistem sayesinde sudaki sediment %71-91, azot %67-96, fosfor %27-97, pestisitler %8-100 ve fekal koliformlar %70-74 oranlarında azalabilmektedir (Gabor ve ark., 2001).

Sonuç

Son yıllarda insan sağlığını olumsuz etkileyen en önemli problemlerin başında çevre kirliliği yer almaktadır. Endüstrileşme ile birlikte hayat standartlarının yükselmesi, kentlerde yoğun nüfus artışı meydana

getirmiş, buna paralel olarak da hızlı bir çevre kirliliği oluşmaya başlamıştır. Sanayi devrimi sonucunda batı ülkelerinde artarak devam eden ve daha sonra diğer ülkelere de geçen seri üretim sonucunda oluşan yan ürünler dünyanın ekolojik dengesi üzerinde olumsuz etkilere neden olmuş ve olmaya da devam etmektedir. Endüstriyel faaliyetler sonucu geniş alanlara yüksek konsantrasyonlarda yayılan kirleticilerin bertarafı için halihazırda kullanılan arıtma sistemleri yeterli gelmemiş ve ileri arıtım mekanizmaları kullanımı gereği ortaya çıkmıştır. Bu ileri arıtım yöntemleri; ileri teknoloji, kalifiye eleman, yüksek enerji ve kimyasalın yanı sıra yüksek ilk yatırım maliyetleri ve işletme masrafları nedeniyle uygulamada zorluklara sahiptir. İleri arıtım teknolojilerinin bu dezavantajları göz önüne alındığında atık alanlarının ıslahında fitoremidasyon yöntemi doğal bir ıslah sistemi olarak önemli avantajlara sahiptir. Bitkilerin kirlenmiş alanları restore ve rehabilite etmek için kullanımı, kirliliğin bitki tarafından seçilerek uzaklaştırılması ve arındırılması bu yöntemin en olumlu yönlerindedir.

Bitki kullanılarak kirlenmiş arazilerden element uzaklaştırma işleminde amaç, ortamda tutulmuş halde bulunan elementlerin daha kontrol edilebilir, taşınabilir ve biriktirilebilir formlara dönüştürülmesidir. Bu nedenle fitoremidasyon yöntemi, nihai bir uzaklaştırma veya giderme yöntemi olarak düşünülmelidir. Ayrıca ortamda bulunan bitkiler vejetatif bir örtü oluşturmakta ve kirleticilerin özellikle su ve rüzgar erozyonuna uğrayarak bir yerden bir yere taşınmasını da engellemektedir. Günümüzde sanayi tesislerinin Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) yapılarak kurulması, tarımda ise İyi Tarım Uygulamaları (İTU) ve organik tarım yönetmelikleri çerçevesinde üretimler yapılması bu sektörlerden kaynaklanan çevresel kirlilik yükünü azaltmaktadır. Ancak bu önlemlerin sürdürülebilirliği büyük önem taşımaktadır. Çünkü kirlenmiş bir ortamı temizlemek, önceden alınacak tedbirlerle göre daha zor ve pahalıdır.

Sonuç olarak; fitoremidasyon ekolojik bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntemin; tarım (gübreleme, toprak kimyası ve mikrobiyolojisi, toprak fiziki, bitki ıslahı vb.), botanik ve çevre bilimlerini birleştiren çok önemli bir disiplinler arası potansiyele de sahip olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Anderson, A., 1977. Heavy Metals in Swedish Soils: On Their Retention, Distribution and Amounts. *Swed. J. Agric. Res.*, 7: 7-20.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1995. Contaminants and Remedial Options at Select Metals – Contaminated Sites, EPA/540/R-95/512.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2000. Introduction to Phytoremediation, EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio

- 45268, USA. Farrell, S., Hillard, J., Mccurdy, M., 1999. Unassisted and Enhanced Remediation Studies for Onshore Oil Spills Concept Development Louisiana Applied and Educational Oil Spill Research and Development Program, Osradp Technical Report Series, 98-002
- Gabor, T.S., North, A.K., Ross L.C.M., Murkin, H.R., Anderson, J.S. and Turner, M.A., 2001. Beyond the Pipe: the Importance of Wetlands and Upland Conservation Practises in Watershed Management: Function and Values for Water Quality and Quantity. Ducks Unlimited, Canada.
- Gadd, G.M., 2000. Bioremedial Potential of Microbial Mechanisms of Metal Mobilization and Immobilization. *Current Opinion in Biotechnology*, 271-279.
- Henry, J., 2000. An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury. U.S. Epa, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office. Report May-Aug. 2000.
- Mcintyre, T., 2003. Phytoremediation of Heavy Metals from Soils. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 78: 97-123.
- Meagher, R.B., 2000. Phytoremediation of Toxic Elemental and Organic Pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, 3: 153-162.
- Memon, A.R., Aktopraklıgil, D., Özdemir, A. and Vertii, A., 2000. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants TÜBİTAK MAM, Institute for Genetic Engineering and Biotechnology, Kocaeli, Turkey.
- Mirsal, I.A., 2004. Soil Pollution: Origin, Monitoring and Remediation. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Niober, E. and Richardson, D.H.S., 1980. The Replacement of The Nondescript Term Heavy Metals by a Biologically and Chemically Significant Classification of Metals Ions. *Environmental Pollution*, 1: 3-26.
- Pivetz, B.E., 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. United States Environmental Protection Agency (EPA), 540/S-01/500.
- Schicker, H. and Haddar, C., 1999. Response of Antioxidative Enzymes to Nickel and Cadmium Stress in Hyperaccumulator Plants of Genus *Alyssum*. *Physiol. Plant*, 105: 39-44.
- Schnoor, J.L., 1997. Phytoremediation. The University of Iowa Dept. of Civil and Environmental Engineering and Center for Global and Regional Environmental Res., Iowa City, Iowa, USA.
- Siegel, F.R., 2002. Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals. Verlag Berlin Heidelberg, New York, USA.
- Söğüt, Z., Zaimoğlu, Z., Erdoğan, R. ve Doğan, S., 2002. Su Kalitesinin Artırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil Islah-Phytoremediation). Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, Dokuz Eylül Üniv., Bildiriler Kitabı, II. Cilt, 1007-1016, 5-8 Kasım 2002, İzmir.
- Zenk, M.H., 1996. Heavy Element Detoxification in Higher Plants. A Review. *Gene*, 179(1): 21-30.