

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AĞIR METALLERLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARIN  
FİTOREMEDİASYONUNUN PEYZAJ MİMARLIĞI  
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Gülşen KAYBAL**

**PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2014**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Gülşen KAYBAL tarafından hazırlanan “**Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Fitoremediasyonunun Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi**” adlı tez çalışması 13/01/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Yalçın MEMLÜK

Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

**Jüri Üyeleri :**

**Başkan** : Prof. Dr. Yalçın MEMLÜK

Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Işıl KAYMAZ

Ankara Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Sertaç GÜNGÖR

Selçuk Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. İbrahim DEMİR**  
**Enstitü Müdürü**

## ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

04. 02. 2014

Gülşen KAYBAL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AĞIR METALLERLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARIN FİTOREMEDİASYONUNUN PEYZAJ MİMARLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Gülşen KAYBAL

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yalçın MEMLÜK

Sanayi devriminden sonra sağlıkta, teknolojide ve tarımda hızlı bir gelişme yaşanmıştır. Bunun sonucunda da her alanda üretim artmıştır. İlerleyen yıllarda üretim beraberinde tüketimi bu da hava, su ve toprağın kirlenmesi ile çevre kirliliği problemini meydana getirmiştir. Toprak kirliliği etkisini uzun süre sonra gösterir. Toprağın kirlenmesi yalnızca ürün verimliliği için önemli değildir. Toprağın homojen bir yapısının olmaması, kirlenmiş toprağa ait bilgilerin kısıtlı olması, kirlenmiş toprakların temizliğinin zor ve pahalı olması bir taraftan tarım arazilerinin azalmasına neden olurken diğer taraftan da bitki ve hayvan nesline etki ederek besin zincirinin son halkası olan insanın sağlığını da ciddi şekilde tehdit etmektedir.

Bu çalışmada literatürden elde edilen bilgilerle toprakların nasıl kirlendiği, kirlenmiş toprakların hangi metotlarla temizlendiği, bunların avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak bitkilerin bir taraftan varlıklarıyla etrafı güzelleştirip, insan ruhunu dinlendiren, bir taraftan da hava, su ve toprağı temizleyen en ucuz ve komplike varlıklar olduğunun bilinmesi ve ona göre hareket edilmesi önem arz etmektedir.

**Ocak 2014, 78 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Toprak, Ağır metal, Fitoremediasyon, Peyzaj mimarlığı

## **ABSTRACT**

Master. Thesis

**EVALUATION OF HEAVY METAL CONTAMINATED SOIL BY USING  
PHYTORE MEDIATION FROM LANDSCAPE ARCHITECTURAL ASPECT**

Gülşen KAYBAL

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Landscape Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Yalçın MEMLÜK

A fast progress was reached in health, technology and agriculture after industry revolution. As a consequence, production increased in all areas. Eventually, production brought out consumption as well, and this caused environmental pollution problem by air, water and soil contamination. Soil contamination has long term impacts. Soil pollution is not solely essential for production efficiency. Nonhomogeneous soil structure, limited information about polluted soil, difficulty and high costs of polluted soil purification techniques each cause in reduction of agricultural areas and severely threat human health, last link of food chain, by negatively affecting species of flora and fauna.

This study focuses on; the ways which soil pollution occurs, the methods to purify soils with advantages and disadvantages of these techniques in the light of literature review. Consequently, it is essential to underline that, flora are cheapest and the most complex creatures for water and soil purification while they improve landscape by their existence and positively affect human mental health

**January 2014, 78 pages**

**Key Words:** Soil, Heavy Metal, Phytoremediation, Landscape Architecture

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Sanayi devriminden sonra hava, su ve toprak hızla kirlenmeye başlamış ve çevre kirliliği yöresel boyuttan küresel boyuta taşınmıştır. Çevrenin en önemli ögesi olan toprağın kirliliği hava ve su kirliliğine benzemez zira kirli ortamlarda büyüyen bitkiler kirleticileri bünyelerine alarak besin zincirinin son halkası olan insan sağlığını tehdit etmektedir. Geleneksel toprak kirliliğini giderme yöntemleri hem pahalı hem de ekolojik olmadığından bunlara alternatif olabilecek fitoremediasyon yöntemi hem ekonomik hem ekolojik oluşuyla gelişime açıktır. Bu yöntemin peyzaj mimarlığı açısından değerlendirilmesi bu çalışmada ele alınmaktadır.

Yüksek lisans yapmam konusunda beni teşvik eden Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan Arkadaşım GülsevİMŞENER'e, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'ndan Bünyamin ALTUN'a, verdikleri bilgiler ve zevkli geçen dersleri için ders aldığım Peyzaj Mimarlığı Bölüm hocalarım Prof. Dr.Dicle OĞUZ, Prof. Dr. Halim PERÇİN, Prof. Dr. M. Emin BARIŞ, Prof. Dr. Nilgöl KARADENİZ, Prof. Dr.Şükran ŞAHİN, Doç. Dr. Aysel ODABAŞ USLU, Doç. Dr. E. Figen DİLEK İLKE, ve tez çalışmam süresince, bu tezin oluşum ve yönetim aşamalarında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Yalçın MEMLÜK'e, Fatih Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Dr. Büşra ve Abdulkadir Şengöl'e DPT'den Bilge Kağan ALBAYRAK'a, Banu ve Furkan YENİ'ye, Fatih Mehmet MORAY'a, Berat ALBAYRAK'a, Duygu ve Emre TANRIVERDİ 'ye yeğenlerim Kübra, Müge ve Burak KAYBAL'a teşekkür ederim.

Bu yoğun süreçte desteklerini benden esirgemeyip maddi manevi hayatımın her döneminde bana yardım eden annem Akile ve babam Halil KAYBAL'a ayrıca gösterdikleri sabırdan dolayı da teşekkür ederim.

Gülşen KAYBAL

Ankara, Ocak 2014

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
2.1 Toprağın Yapısı ve Tarifi.....	4
2.2 Toprak Kirliliği.....	6
2.3 Toprak Kirliliğinin Önemi.....	7
2.4 Türkiye’de Toprak Kirliliği.....	10
2.5 Toprak Kirliliğinin Kaynakları.....	10
2.5.1 Kent kaynaklı toprak kirliliği .....	11
2.5.2 Endüstriyel kaynaklı toprak kirliliği .....	12
2.5.3 Tarımsal kaynaklı toprak kirliliği.....	13
2.6 Toprak Kirleticilerinin Ana Tipleri .....	14
2.6.1 Ağır metaller ve tuzları.....	15
2.6.2 Diğer inorganik kirleticiler.....	17
2.6.3 Organik kirleticiler.....	17
2.6.4 Radyoaktif maddeler.....	18
2.7 Ağır Metaller .....	18
2.8 Ağır Metallerin Alıcı Ortamlara Etkileri.....	21
2.8.1 Ağır metallerin toprağa etkisi.....	23
2.8.2 Ağır metallerin sudaki etkisi.....	23
2.8.3 Ağır metallerin canlılara etkisi.....	24
2.9 Toprak Arıtım Yöntemleri.....	25
2.9.1 Fiziksel-Kimyasal Yöntemler.....	26
2.9.1.1 Camlaştırma.....	26
2.9.1.2 Bariyerlerle alıkoyma.....	27

2.9.1.3 Toprağın yıkanması.....	27
2.9.1.4 Reaktif bariyerler.....	28
2.9.2 Biyolojik Yöntemler.....	29
2.9.2.1 Yerinde (in-situ) biyoremediasyon yöntemi.....	29
2.9.2.2 Yerinde yapılmayan (ex-situ) biyoremediasyon yöntemi.....	31
2.9.2.3 Yeşil ıslah (Fitoremediasyon).....	34
2.9.3 Katılaştırma ve stabilizasyon yöntemleri.....	35
2.9.4 Termal Uygulama Yöntemleri.....	36
2.10 Fitoremediasyon Yoluyla Kirlilik Giderme Çalışmaları.....	36
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	39
3.1 Meteryal.....	39
3.2 Yöntem.....	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI. ....	40
4.1 Yeşil Islah (Fitoremediasyon).....	40
4.2 Kent parklarından bir örnek:Gowanus Canal Sponge Park.....	45
4.3 Toleranslı, Gösterge ve Hiperbiriktirici Bitkiler.....	54
4.4 Yeşil Islah (Fitoremediasyon) Çeşitleri.....	56
4.4.1 Rizofiltrasyon (Köklerle süzme).....	57
4.4.2 Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme).....	58
4.4.3 Rizodegradasyon (Köklerle bozunum).....	59
4.4.4 Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum).....	60
4.4.5 Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaştırma).....	61
4.4.6 Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme).....	62
4.5 Bitkisel Arıtım Teknolojisinin Temel Uygulama Alanları.....	64
4.5.1 Hidrolik kontrol.....	64
4.5.2 Vejetatif örtü sistemleri.....	65
4.5.3 Akarsu kenarı vejetasyon örtüsü.....	66
4.6 Bitkisel Arıtımın Avantajları ve Dezavantajları .....	66
4.7 Bitkisel Arıtım Teknolojisinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri.....	67
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	70
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	78



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Ag	Gümüş
As	Arsenik
B	Bor
Cd	Kadmiyum
°C	Santigrat Derece
Cr	Krom
Cu	Bakır
Cs	Sezyum
Co	Kobalt
Hg	Civa
K	Potasyum
L	Litre
mL	Mililitre
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Na	Sodyum
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
Ppm	Milyonda bir
Pu	Plutonyum
Sb	Antimon
Se	Selenyum
Sr	Stronsiyum
Ti	Titanyum
U	Uranyum
V	Vanadyum
Zn	Çinko

### **Kısaltmalar**

WHO	Dünya Sağlık Örgütü
EPA	Çevre Koruma Ajansı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Bir toprağı oluşturan temel yapı maddelerinin hacim oranları.....	5
Şekil 2.2 Kirlilik kaynakları .....	11
Şekil 2.3 Topraklardaki kimyasal kirleticilerin ana tipleri .....	14
Şekil 2.4 Toprak arıtımında camlaştırma süreci .....	26
Şekil 2.5 Kirleticilerin bariyerlerle alı konması .....	27
Şekil 2.6 Toprağın yıkanarak kirleticilerden arındırılması .....	28
Şekil 2.7 Reaktif bariyerlerle kirletici giderimi .....	28
Şekil 2.8 Su tablası üzerindeki toprağın ıslahı .....	30
Şekil 2.9 Peroksit enjeksiyonu .....	31
Şekil 2.10 Biyoreaktörler ile toprağın ıslah yöntemi .....	32
Şekil 2.11 Tipik bir biyoreaktör diyagramı .....	32
Şekil 2.12 Toprak yığınları oluşturma tekniğı .....	34
Şekil 2.13 Fitoremediasyon sürecinde ana mekanizmalar .....	35
Şekil 4.1 <i>Thlaspi caerulescens</i> .....	40
Şekil 4.2 <i>Viola calaminaria</i> .....	40
Şekil 4.3 Hiperbiritirici bitki türlerinden bazı örnekler .....	42
Şekil 4.4 <i>Thlaspi rotunolifolium</i> .....	43
Şekil 4.5 Gowanus Kanal Bölmesi-sanayi atıkları .....	45
Şekil 4.6 Union Street köprüünden Gowanus Kanal manzarası .....	46
Şekil 4.7 Gowanus Canal Bölme –kanalizasyon ve evsel atıklar .....	46
Şekil 4.8 Gowanus Kanal havzası.....	47
Şekil.4.9 Site Aksonometriğı .....	47
Şekil 4.10 Su İyileştirme ve Program Elemanları .....	48
Şekil 4.11 Sokak Sonu Aksonometrik .....	49
Şekil 4.12 Sokak Sonu Aksonometrik-2: .....	49
Şekil 4.13 Fitoremediasyon için zonlarda kullanılacak bitki türleri .....	50
Şekil 4.14 Fitoremediasyon için zonlarda kullanılacak bitki türleri 2.....	50
Şekil 4.15 Sackett Caddesinde.....	51
Şekil 4.16 Üçüncü cadde girişi.....	52
Şekil 4.17 Carrol Street'den Esplanade manzarası.....	53

Şekil 4.18 Toleranslı türlerden <i>Holcus lanatus</i> .....	55
Şekil 4.19 Toleranslı türlerden <i>Silene vulgaris</i> .....	55
Şekil 4.20 gösterge türü bitki <i>Stanleya pinnata</i> .....	56
Şekil 4.21 Bitki köklerindeki metal alımı.....	58
Şekil 4.22 Fitostabilizasyon yöntemi.....	58
Şekil 4.23 Rizodegradasyon yöntemi.....	60
Şekil 4.24 Fitodegradasyon yöntemi.....	61
Şekil 4.25 Fitovolatilizasyon yöntemi.....	62
Şekil 4.26 Fitoekstraksiyon sürecinin şematik gösterimi.....	63
Şekil 4.27 Hidrolik kontrol yöntemi.....	64
Şekil 4.28 Vejetatif örtü yöntemi.....	65

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Toprakta ağır metal kirliliği oluşturan faaliyetler .....	16
Çizelge 2.2 Endüstri gruplarından atılan metal türlerinin dağılımı.....	22
Çizelge 2.3 Fitoremediasyon yoluyla kirlilik giderme çalışmaları.....	37
Çizelge 4.1 Kirleticiler için buldukları ortama göre yapılan fitoremediasyon uygulamaları .....	44
Çizelge 4.2 Toprak kirliliğinin iyileştirilmesinde kullanılan bazı bitki türleri ile bünyelerinde biriktirebildikleri metal miktarları .....	69

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarihi boyunca varlığını sürdürmek için bir taraftan doğa ile mücadele ederken bir taraftan salgın hastalıklar ve savaşlarla mücadele etmiştir. Sanayi devriminden sonraki ilerlemeler hayat standardını yükseltmiş ve nüfusu arttırmıştır.

Sanayileşmenin artması ile köyden kente yoğun göç dalgaları olmuştur. Buna hazırlıksız yakalanan kentler, bu nüfusun acil barınma ihtiyacı yüzünden zamanla yeşilden yoksun, çarpık ve aşırı yakıt kullanımı, su kullanımı ve atıkları nedeniyle havası, suyu ve toprağı kirli kentlere dönüşmüştür. Sanayileşme üretimde bolluğa neden olurken doğal kaynakların sonsuzmuş gibi kullanımı ve oluşturduğu atıklar yüzünden çevre kirliliğı problemine neden olmuştur.

Sanayi devrimine gelinceye kadar aslında Mısır'da Londra'da hava kirliliğinin olumsuz etkilerinin görüldüğü durumlar yaşanmıştır. Hatta asit yağmurları ilk defa 18. yüzyılda Londra'da tanımlanmıştır (Ponting 2000). Dünya kamuoyunun çevre kirliliğinin yöresel değil artık uluslararası hatta kıtalar arası bir yayılım olduğunu gösteren ilk olaylar hava kirliliğı ile meydana gelen olaylardır. Hava kirliliğinden meydana gelen ve kayda giren ilk olay 1873 yılında Londra'da gerçekleşmiştir (Altıkat 2011).

Daha sonra hava kirliliğinden;

- 1911 yılında Londra'da yaşanan olayda 1.150 kişi ölmüştür(Altıkat 2011).
- 1930 yılının aralık ayında Belçika'nın Meuse vadisinde yaşanan olayda 20 kişi ölmüş, yüzlerce kişi hastalanmıştır(Anonim 2013a, Tecer 2011)
- 1948 yılının aralık ayında Pensylvannia Donora kasabasında yaşanan olayda 20 kişi ölmüş ve 6.000 kişi hastalanmıştır (Anonim 2013a)
- 1952 yılının aralık ayında Londra şehrinde yaşanan olayda 4.000 kişi ölmüş ve 10.000 kişi hastalanmıştır(Anonim 2013a, Tecer 2011, Altıkat 2011)
- A.B.D'de endüstriyel bölgelerde gerçekleşen Donora Zehirli Sis Faciası, New York'ta, Cincinnati Ohio'da, Belçika'nın Meuse Vadisi'nde, Şili'nin Santiago kentinde, Hindistan'ın Bhopal kentinde ve dünyanın pek çok bölümünde benzer olaylar rapor edilmiştir (Altıkat 2011).

Denizlerde meydana gelen petrol tankerleri kazaları, deniz yüzeyini kaplayan petrol, petrole bulanmış kuşlar ve yüzeyi kaplayan ölü balıklar ile su kirliliğine dikkat çekmiştir.

Tarımda, bilinçsiz gübreleme ve ilaçlama toplu hayvan ölümlerine neden olmuş, sebepleri konusunda yapılan çalışmalar dünya kamuoyunun dikkatini toprak kirliliğine ve bunun en büyük nedeni olan ağır metaller üzerine çekmiştir. Topraktaki ağır metal kirliliği sadece verim ve ürün kalitesi üzerinde değil aynı zamanda atmosferik ve sucul çevre kalitesi hatta besin zincirinin son halkası olan insan sağlığı üzerinde de çok önemli etkiler yaratmaktadır.

Toprağın homojen bir yapıya sahip olmaması ve dış etkenlere karşı tamponlama gücü daha fazla olduğu için kirlenmesinin fark edilmesi uzun sürmüştür. Toprağın temizlenip eski haline dönüştürülmesi hava ve suya göre oldukça karmaşık, masraflı hatta bazen imkansızdır. Toprağın kirlenmesi aynı zamanda yeraltı sularının kirlenmesine de neden olmaktadır. Toprak kirliliğini hava ve su kirliliği gibi değerlendiremeyiz. Zira bütün canlılar barınma ve beslenme ihtiyaçlarını topraktan karşılamaktadırlar. Toprağa gelecek bir zarar üzerindeki canlıları da farklı miktarlarda ve silsile yoluyla etkilemektedir.

Tarih boyunca büyük uygarlıklar verimli topraklar etrafında doğmuş ve toprağın hoyratça kullanımı sonucunda tarih sahnesinden silinmişlerdir. Buna en güzel örnek Maya uygarlığı ve Sümerlilerdir. Maya Uygarlığının sonunu getiren ormanların tahrip edilmesi ile ortaya çıkan erozyon, Sümerlilerin sonunu getiren ise toprağın aşırı kullanımudur. Artık doğal kaynakların sınırsız olmadığını bilip ona göre tüketmemiz gerekmektedir. Hava, deniz, akarsu ve toprağın devasa sistemler olup bizim attığımız her pisliği içinde öğütmediği, alıp götürmediği, onlarında bir kirlilik kapasitelerinin olduğu ve bu kapasitenin üstündekileri tolere edemedikleri ve doğaya yaptığımız her kötülüğün misliyle bize geri döndüğü unutulmamalıdır.

Bu çalışmanın amacı bir gramında farklı çeşit ve boyutlarda görevleri gerekli besin maddelerini sağlamak ve toprağı temizlemek olan binlerce canlının yaşadığı toprağın insan aktiviteleri sonunda nasıl kirlendiği, hangi yöntemlerle temizlendiği hakkında

bilgi verirken gelecekteki çalışmalara da ışık tutması açısından hem ekonomik hem ekolojik bir yöntem olarak fitoremediasyon yönteminin peyzaj mimarlığı çalışma alanlarında uygulanabilirliği ele alınmıştır. Bu kapsamda, mevcut literatür ışığında fitoremediasyon yöntemi geleneksel toprak arıtma yöntemleri ile karşılaştırılmış, bu yöntemin peyzaj mimarlığının hangi uygulama alanlarında kullanılabileceği hakkında öneriler getirilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1 Toprağın Yapısı ve Tarifi

Toprak kayaların binlerce yıl süren bir süreç içerisinde birçok fiziksel kimyasal ve biyolojik olayın etkileriyle parçalanıp ufalanmasıyla oluşmuş türlü mineral ve organik maddeleri ihtiva eden içerisinde ve üzerinde sayısız canlıyı barındıran ve onları besleyen doğal bir varlıktır.

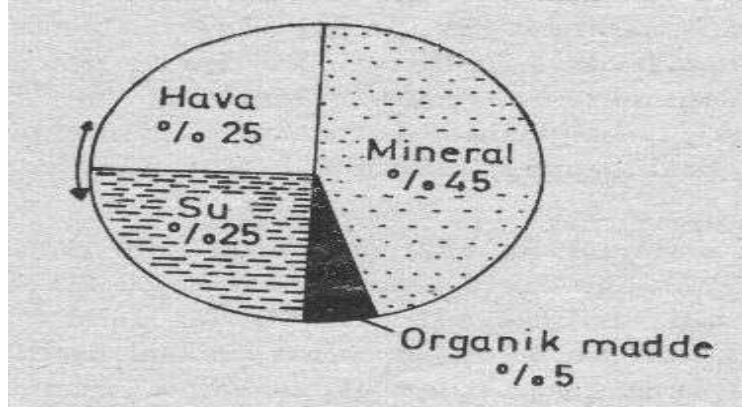
İnsanoğlu var olduğundan bugüne kadar toprağa bağımlı olmuştur. Yiyecek, giyecek ve barınma ihtiyaçlarını topraktan elde etmiştir. Toprak devasa bir ekosistemdir içindeki canlı hayvan organizmalarıyla sürekli bir yenilenme ve diğer canlıların ihtiyaç duyduğu maddelerin yapımı ile toprak yaşam dayanağıdır. Yeryüzündeki yaşamın sürekliliğini ve insan çevresinin niteliğini belirler.

Bugüne kadar değişik disiplinlerce toprağın birbirinden farklı tanımları yapılmıştır. Bu tanımlara baktığımızda hepsinin kendi çalışma alanlarına göre bir bakış açısı getirdiğini görürüz. Bu tanımları sıralarsak;

- Asan'a (1993) göre; Hava, su, organik ve minerallerin belirli oranlarda karıştığı canlı bir organizmadır.
- Güler ve Çobanoğlu'na (1997) göre; Binaların yapıldığı ve malzemesinin temin edildiği bir ortamdır.
- Akalan'a (1983)'e göre “ Toprak arzın yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen içerisinde ve üzerinde geniş bir canlılar alemini barındıran bitkilere durak yeri ve besin kaynağı olan, belli oranlarda su ve hava içeren üç boyutlu bir varlıktır” şeklinde tanımlar.
- Toprak, hava ve suya göre tamponlama gücü yüksek, %25 su, % 25 hava, %45 minarel ve %5 organik maddelerden oluşan ve aralarında fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal, biyokimyasal ve biyolojik karmaşık olayların yaşandığı ve



içerisinde bir dengenin olduğu doğal bir sistemdir. Bir toprağı oluşturan temel yapı maddelerinin hacim oranları şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bir toprağı oluşturan temel yapı maddelerinin hacim oranları (Akalan 1983)

Hangi tanım olursa olsun ilk bakışta cansız gibi görünse de toprak deniz ve tatlısu habitatlarına göre sayıca en zengindir. Tüm organizmalar üreticiler(yeşil bitkiler), tüketiciler (hayvan dünyası) ve ayrıştırıcılar (mikroorganizmalar) üç büyük ekolojik organizma grubu olmak üzere belirli bir yaşam ortamında, yaşam birlikleri şeklinde ekosisteme bağlı olarak bulunurlar.

Toprak karmaşık bir ekosistemdir. Toprak ve ölü örtü de değişik boyutlarda, çeşitlilikte ve farklı görevleri olan (bakteri, aktinomiset, fungus, alg, protozoon, böcek ve toprak solucanları gibi) canlılar yaşamaktadır. Verimli tarım toprağının 1 gramında sayıları yüzlerden binlere ulaşan bakteri, aktinomiset, fungus, alg ve protozoon bulunur(Asan, 1993). Bu canlıların birincil görevleri organik madde döngüsüne katkıda bulunmak olup, toprağın gözenek yapısını, havalanmasını ve toprak içerisindeki organik maddenin parçalanması gibi önemli görevleri vardır.

Toprak üstündeki ölüörtüyü Akarlar (Acarina), kolembolalar (Insecta), tespih böcekleri (Isopoda), kırkayaklar (Diplopoda), solucanlar (Oligochaeta) ve birçok böcek larvası toprak içine karıştıran önemli canlılardır. Toyota ve vd.’ne (2006) göre Çeşitli ekosistemlerde yapılan çalışmalar karbon döngüsünün yaklaşık %15’lik kısmının toprak eklembacaklıları tarafından desteklendiğini göstermektedir (Çakır ve Makineci 2011).

Ruiter ve Moore (2004) ve Bardgett'e (2005) göre topraktaki birincil görevleri hücre enzimleri ile organik maddenin ayrışması, diğer önemli görevi ise toprak parçacıklarını bağlayarak toprak strüktürüne katkıda bulunmak olan mikroplar besin ağının sayıca ve çeşit olarak en fazla olan canlılarıdır. Mikropların sayıca en fazla olan grupları ise bakteri ve mantarlardır (Çakır ve Makineci 2011).

Toprağın özellikle organik madde bakımından zengin yüzey tabakalarında gelişen faaliyetleriyle toprak dinamizmine katkıda bulunan mikroorganizmalar salgıladıkları bazı salgılar ve filamentleri ile agregat adı verilen toprak taneciklerinin daha iri "kırıntılar" halinde bağlanmasına neden olur bu toprak parçacıkları toprak yaşamı ve fiziksel koşullar bakımından çok önemli olup, toprağın erozyondan, toprak neminin korunmasına ve kimyasal reaksiyonların niteliklerine kadar bir seri toprak olayının etkilenmesine neden olurlar (Çakır ve Makineci 2011).

Toprak hem yararlı hem zararlı organizmaları bir arada ve bir denge içinde barındırmaktadır. Toprak canlılarına dışarıdan yapılan bir müdahale (gübreleme, toprak sıkışması ve toprak işleme gibi) içlerinden birinin azalmasına ya da yok olmasına sebep olduğunda toprak içerisindeki madde değişimleri gibi süreçleri etkilemektedir (Çakır ve Makineci 2011).

## **2.2 Toprak Kirliliği**

Toprak kirliliği kısaca zehirli, tehlikeli kentsel ve sanayi atıkları ile bilinçsiz ilaçlama, gübreleme gibi insan aktiviteleri sonucunda bu kirleticilerin toprakta birikmesi, toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik yapısının bozulmasıdır. Toprak kirlenmesine yol açan süreçleri doğal ve insan diye ikiye ayırabiliriz. En önemli kirlilik kaynakları insan aktiviteleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu faaliyetlerin kimi toprağı doğrudan kirletmekte, kimi önce hava ya da su kirliliğine neden olup ardından toprak kirliliğine yol açmaktadır.

İnsan aktivitelerini evsel, tarımsal ve sanayi olmak üzere üç kategoriye ayırabiliriz. Evsel nitelikli atıklar içlerinde piller, yağlar, çözücüler ve boyalar gibi katı ve sıvı

halindeki atıklardır. Bilinçsizce kullanılan gübreler ve pestisitler en önemli tarımsal kaynaklı atıkları oluşturmaktadır. Endüstriyel atıklar katı ve sıvı halde rastgele atıldıklarında ya da düzensiz bir şekilde depolandıklarında ciddi toprak kirlenmesine neden olmaktadır. Hava kirliliği ve su kirliliği sonucunda da toprak kirlenmesi meydana gelmektedir.

Toprak kirliliğinin çevre sağlığı açısından en önemli etkisi; topraktaki kirleticilerin bitki bünyesine geçerek besin zinciri yoluyla bu bitkilerin ya doğrudan ya da bu bitkilerle beslenen hayvanların besin olarak tüketilmesi sonucu insan bünyesine geçerek vücutta birikmesi ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır. Toprak kirlenmesinin en önemli etkileri topraktaki kirleticilerin:

- rüzgarın etkisi ile bulunduğu yerlerden çok uzak yerlere taşınması,
- solunum, su ve gıda yolu ile vücuda alınması,
- yağmur suları çözünerek yeraltı sularına oradan da yüzey sularına ulaşması,
- bitkiler tarafından alınarak depolanması,
- Uçucu organik bileşiklerin buharlaşma sonucu atmosfere ulaşarak havayı kirletmesi olarak sıralanabilir.

Ayrıca; ormanların insanlar tarafından tahrip edilmesi, yakılarak tarla açılması, tarım topraklarının hatalı işlenmesi, mera ve çayırların bilinçsiz kullanımı, aşırı otlatma vb. de toprak kirlenmesinin önemli sebeplerindedir

### **2.3 Toprak Kirliliğinin Önemi**

Toprak ana kayacın çeşitli fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu binlerce yılda parçalanmasıyla oluşan içinde ve üzerinde binlerce canlıyı barındıran ve onları besleyen kendi iç dinamikleri olan sürekli kendini yenileyen doğal bir varlıktır. Topraksız bir hayat düşünülemez Toprak bütün canlıların hayatlarını devam ettirecekleri tek yer olmasına rağmen yeryüzünün ancak  $\frac{1}{4}$ 'ü karalarla kaplıdır. Bu ise yaklaşık 13 milyar hektarlık bir alan olup, bu alanın % 37'si olan yaklaşık 5 milyar hektarı tarım arazileridir. Söz konusu tarım arazisi yaklaşık 1,5 milyar hektar alanda tarla bitkileri yetiştiriciliği, yine 1,5 milyar hektarda çok yıllık bitkilerin dikili bulunduğu, geriye

kalan 2 milyar hektar alan ise çayır ve mera şeklinde değerlendirilmektedir. Geriye kalan % 63 ise tarımsal kullanıma uygun olmayan dağlık, çöl, çorak vb. gibi yapılar şeklindedir (Anonim 2012b).

Tarım arazilerinin az buna karşılık nüfusun fazla olması tarım arazilerinin daha fazla ürün için zorlanması bilinçsiz gübre ve ilaç kullanımı bir taraftan toprağın kirlenmesine neden olurken diğer taraftan verim ve toprak kalitesini azaltmaktadır.

Toprağın homojen bir yapısının olmaması her bir metrekarede bile özelliklerinin değişmesi ve kirlenmenin hangi miktarlarda insan sağlığını veya çevre sağlığını etkilediği ve dolayısıyla kirli sahanın ıslahının hangi temizlik derecesine ulaşması gerekli olduğu halen yoğun bir araştırma ve tartışma konusudur. Dünya çapında toprak kirlenme konsantrasyonları ile ilgili herhangi bir standart oluşturulmamıştır ve oluşturulması da mümkün gözükmemektedir (Karaca ve Turgay 2012).

Kentleşme ve sanayileşme baskısı ile tarım arazileri yollar, havaalanı, sanayi alanlarına dönüştürülmektedir. Dünyada kentli nüfus 1900 yılında 150 milyon iken 2000 yılında on dokuz kat artarak 2,9 milyar kişiye yükselmiştir. Kentleşme oranı da % 10'dan, %46'ya çıkmıştır. 2050 yılında dünya nüfusunun 2/3'ünün kentlerde yaşayacağı varsayılmaktadır (Söğüt 2005).

Kent yaşamının en sorunlu alanını ulaşım oluşturmakta olup, her yıl kent trafiğine binlerce araç ilave olmaktadır. Mevcut yollar trafiği rahatlatmak için sürekli genişletilip, üst yollar, alt geçitler ilavesi ile tam bir trafik ağı oluşturulmaktadır. Tüm bunların sonunda kentin en büyük hava kirliliği kaynaklarından biri trafiktir. Brown (2003), Gerçek vd. (2002) ve Ode (2003)'ye göre azot oksit ve karbon monoksit gibi emisyonların %50'den fazlasının kaynağı motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır (Söğüt 2005). Howard vd. (2004)'ne göre trafiğe yakın yerlerde yapılan çalışmalarda 40 ppm Ni, 5 ppm Cd, 79 ppm Pb ve 25 ppm Co seviyelerine kadar yükseldiği ve bu değerlerin taşıt yollarından uzak bölgelere göre çok yüksek olduğu tespit edilmiştir (Algan ve Bilen 2005).

Harrison vd. (2004 'ne göre Kentsel alan havasındaki kirli gazlar kırsal alanlara göre 5-25 kez, toz yoğunlaşması ve partikül maddeler de 10 kat daha fazladır (Söğüt 2005).Yapılan çalışmalar yol kenarında yetiştirilen bitkilerde kirlilik miktarının fazla olduğunu göstermiştir.

Toprak hava ve suya göre kirliliği oldukça yüksek tamponlama gücüne sahiptir. Kirleticiler koloidal yüzeyler denilen kuvvetler tarafından tutulurlar. Zararlılığın etkisi ve sistemin buna tepkisi uzun bir süreç aldığı için etkisi fark edilmemektedir. Fakat kirleticilerin tutulması sonsuz olmayıp, toprağın kirleticiyi bıraktığında kirleticiler topraktan sızarak yeraltı sularına geçmekte, yüzey akışları ve erozyon ile yüzey su kaynaklarına geçmektedir (Türkoğlu 2006).

Hava, su ve toprak sürekli etkileşim halindedir. Hava ve suda oluşan kirlilikte sonuçta toprağı etkilemektedir. Ayrıca bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı da su ve toprak kirlenmesinde önemli paya sahiptir. Gübre ve pestisitlerin aşırı kullanımı ve ivmesi giderek artan endüstriyel faaliyetlere sahip ülkelerin toprak kaynaklarında ağır metal birikimine bağlı toprak kirliliği sorunları görülebilmektedir. Buna örnek 1910-70 yılları arasında Japonya'da madencilik faaliyetleri sırasında açığa çıkan kadmiyum ağır metalinin içme suyu ve tarım topraklarına bulaşması nedeniyle "itai-itai" olarak bilinen kemik erimesi ve böbrek çalışmazlığı hastalığının toplumu etkilemesi gösterilebilir. (Karaca ve Turgay 2012).

Kirli ortamlarda kirli su ile yetiştirilen bitkiler, kirleticileri bünyesine almaktadır. Bu kirleticiler besin zincirinde daha ileri organizmalara geçtikçe her aşamada giderek artan oranda yoğunlaşır ve giderek zincirin son halkasını oluşturan etçillere önemli zararlar verir. Buna örnek verecek olursak, Civanın bir canlıdan başka bir canlıya aktarılmasının incelendiğı bir çalışmada, 8 ppm civa püskürtülen tohumlarla beslenen civcivlerin kaslarında yaklaşık 2 kat civa birikimi saptanırken, civa ile kontamine olmuş civcivlerle beslenen kır sansarlarında 6 kat civa birikimi saptanmıştır (Çağlarımak ve Hepçimen 2010). Tarımda sürekli haşere ilaçlarının kullanımı sonunda otçul böcek nüfusunu kontrol eden etçil böcekleri yok edip, zararlı böceklerin sayılarını arttırmıştır.

## **2.4 Türkiye’de Toprak Kirliliği**

Türkiye iklim, bitkisel örtüsü ve topoğrafik bakımından birbirinden farklı bölgelerden oluşmaktadır. Türkiye başlangıçta kendi kendine yeten ülke tarımında 1934 yılında 11.677.000 hektar tarım arazisi kullanılırken bugün 27.699.000 hektar alan tarıma açılmış ve tarım arazisinde sınıra dayanan ve artık açılacak tarım arazisi olmayan dünyadaki 19 ülkeden biri olmuştur (Türkoğlu 2006, Karaca ve Turgay 2012).

Tarım arazileri 1970’li yıllardan itibaren başlayan sanayileşme ve sanayileşmeye bağlı hızlı nüfus artışı ve kentleşme çabaları yüzünden verimli tarım arazilerinin hızla yok olmasına ve daha düşük nitelikli arazilere kaymasına ve %4-5 dolayında genişleme hızı olan kentsel alanların ve iyi nitelikli üretken araziler üzerinde kurulan endüstriler yüzünden binlerce hektar verimli tarım toprağının geri kazanılmayacak bir biçimde kullanım biçimini değiştirmiştir (Özbek ve Öztaş 2004). Son yıllarda bu olgu verimli tarım topraklarını tehdit eder hale gelmiştir.

## **2.5 Toprak Kirliliğinin Kaynakları**

Toprak doğal ya da insan etkinlikleri sonucunda kirlenmektedir. Yapılan çalışmalar insan aktiviteleri sonucunda oluşan kirliliğin daha fazla olduğunu göstermiştir. İnsan etkinliklerinin kimi toprağı doğrudan kirletirken, kimi önce hava ya da suyu kirllettikten sonra toprağın etkilenmesi şeklindedir. Bunları şekil olarak özetleyecek olursak tarımsal, kentsel ve endüstriyel kaynaklar şeklinde özetleyebiliriz; şekil 2.2’de kirlilik kaynakları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kirlilik kaynakları (Türkoğlu 2006)

## 2.2 Kent kaynaklı toprak kirliliği

Kentleşmenin yoğun bulunduğu bölgelerde bir taraftan inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan kirlenmeler (inşaat artıkları, su kirliliği v.b) bir taraftan inşaat materyallerinin (beton, jips, asbest v.b) meydana getirdiği kirlenmeler bir taraftan toprağı bir taraftan da yeraltı suyunun kirlenmesine neden olmaktadır.

Bununla beraber kentsel kirliliğin ana kaynakları;

- Enerji Üretim Tesisleri; Türkiye’de bulunan kömürler kalori değeri düşük buna karşılık yüksek derecede kirliliğe yol açan linyitlerden oluşmaktadır. Enerji sektörünün ana hammaddesi linyittir. Ancak bu kömürün kullanımı sonucu yüksek miktarlarda kükürtoksitler (SO<sub>x</sub>), azotoksitler (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO), ozon, hidrokarbonlar, partikül madde (PM) ve kül meydana gelmektedir. SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gazları asit yağmurlarının oluşumunda temel sorumlu gazlardır.
- Kent Ulaşımı Kaynaklı Kirlilik; kentlerin sınırları büyüdükçe bunlar arasındaki bağlantıyı sağlamak için yollar ve otobanlar artmaktadır. Bir taraftan bunların inşaat kirliliği, diğer taraftan her yıl zaten çok kalabalık olan şehir trafiğine katılan binlerce motorlu taşıtın ilave edilmesi ile bunlardan çıkan karbon,

nitrojen ve sülfür ile bazı ağır metalleri içeren gazlar kirlilik miktarını arttırmaktadır.

- Kent çevresinde toprak kirliliğine yol açan en önemli nedenlerden birisi de evsel ve kanalizasyon atıklarının düzenli bir şekilde depolanmamasıdır. Gün geçtikçe kentlerin atık miktarları katlanarak artmakta ve bunların bertaraf edilmesi de önemli bir problem haline gelmektedir. Bu yolla yoğunlaşan kirlilik, toprağın daha derin tabakalarına sızarak yer altı sularını da kirletmektedir.
- İçinde her türlü piller, yağlar, çözücüler ve boyalar bulunan evsel nitelikli atıkların düzensiz depolanmaları bir taraftan kullanıldıkları arazileri bir süre sonra kullanılamaz hale getirmekte bir taraftan da yağmur suları ile çözünen kirleticiler topraktan geçerek yeraltı sularını kirletmektedir.
- Günümüzde besi hayvanlarında ilaç ve hormon kullanımının fazlalığı, sığır, domuz, koyun ve tavuk gibi çiftlik hayvanlarının, toplam insan nüfusundan 1000 kat daha fazla dışkı üretmesi, bunlarında gübre olarak kullanılamaması ile mezbaha atıkları toprak kirlenmesinin en önemli kaynaklarından (Karaca ve Turgay 2012).
- Kentsel ve endüstriyel atık sular arıtılmadan su kaynaklarına bırakılmakta, dere, ırmak, göl gibi yüzeysel suları kirletmektedirler. Su kaynaklarının kıt olması nedeniyle, bu sular tarımsal sulamada kullanılmakta ve böylece kirli sular içindeki kirletici ve zararlı maddeler toprağa birikmekte, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını bozmaktadır. Topraktaki kirlenme zamanla besin zincirini de etkilemektedir

### **2.5.2 Endüstriyel kaynaklı toprak kirliliği**

Endüstrinin uğraşları sırasında emisyonları, atık çamurları ve diğer çıktıları, su, hava ve toprak kirliliklerine neden olmaktadır. Petrolün taşınması sırasında karada ve denizde meydana gelen kazalarda en önemli kirlilik sebeplerindedir. Petrol toprağın içindeki gözenekleri doldurarak toprak içindeki canlılarının hava giriş çıkışına mani olur. Ayrıca kil ve humus yüzeylerini tamamen kaplayarak onların filtrasyon özelliğini ortadan kaldırır (Karaca ve Turgay 2012).



Bunun yanı sıra çeşitli endüstri artıklarının fabrikalar yöresinde veya daha açıkta bir yere yayılması da toprak kirliliğine sebep olmaktadır. Maden ocaklarının işletilebilmesi için, ocak üstündeki örtü tabakasının kaldırılması gerekmektedir. Örtü tabakasının kaldırılması, buradaki bitki örtüsünün bozulmasına, topoğrafik yapının değişmesine neden olmaktadır. Bakır işletmeciliği, mermercilik gibi bazı uğraşlar da önemli derecede kirleticidir.

### **2.5.3 Tarımsal kaynaklı toprak kirliliği**

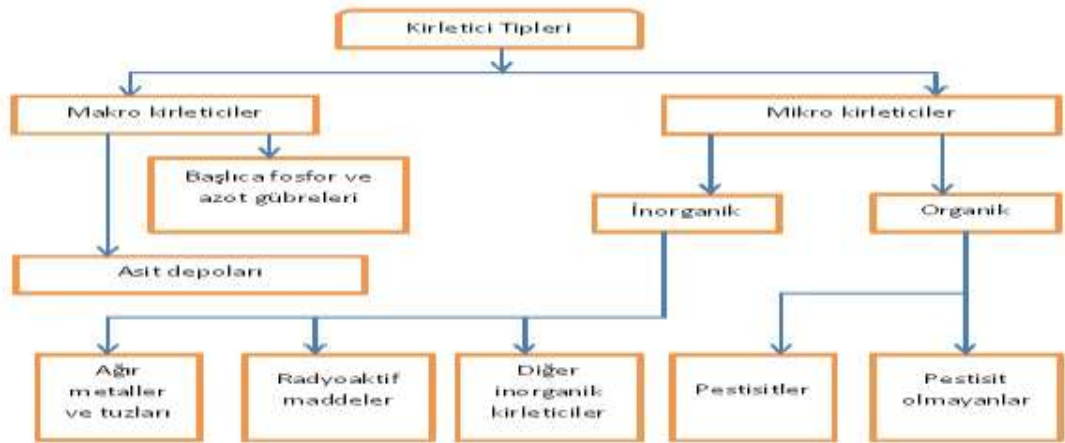
İnsanlar yerleşik hayata geçip tarımla uğraşmaya başlayınca böceklerin, farelerin ve kuşların ürünlerine zarar verdiğini gördü. Ürünlerine zarar veren böcekler ile mücadele etmek için uğraştı. 1930-40 yılları arasında böcekler için pek çok kimyasal madde üretildi. Zararlı olarak bilinen; böcek, akar nematod, fungus, bakteri, yabancı ot, fare gibi canlıların zararının önlenmesi, yok edilmesi, uzaklaştırılması ya da zararının azaltılmasını sağlayan madde veya madde karışımlarına pestisit denir. Pestisitler genellikle etki ettikleri hedef zararlıların (insektisitler, fungusitler, herbisitler, rodentisitler, fungusitler) gruplarına göre beş grup altında toplanırlar (Anonim 2012a).

Tarımsal Kaynaklı Kirleticiler;

- Bilinçsiz suni (Sodyum, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, çinko, bakır, mangan gibi) gübre kullanımı
- Toprakta yaşayan zararlı organizmalara ya da bitkilere uygulanan pestisitler aşağı toprak katmanlarına doğru hareket edebilir ve toprak suyuna veya toprağın gaz fazına katılırlar. Pestisitler ayrıca hayvanlarda ve bitkilerde hücre yapılarına yerleşerek besin zincirlerine katılırlar.
- Atık suların uygulamaları sonucu elde edilen arıtma çamurlarının gerek gübre olarak kullanılması gerekse depolanması kirliliğe sebep olmaktadır.
- Tarım arazilerinde kullanılan tarım makinelerinde yakıt olarak kullanılan ve istenmeden topraklara dökülen hidrokarbonları kirlenmeye neden olmaktadır.

## 2.6 Toprak Kirleticilerinin Ana Tipleri

Topraktaki kirleticiler genellikle büyük miktarlarda toprağa bırakılan ya da mevcutta toprakta bulunan makro kirleticiler ve küçük yada iz miktarda katılmış yada genellikle mevcut olan mikro kirleticiler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılır. Makro kirleticiler genellikle gübre tuzları ve iyonlarıyla birde asit yağmurlarıyla toprağa katılırlar. Bu durum yeraltı sularının kirlenmesi ve kıtasal, kıyasal ötrofikasyonun artmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Mikro kirleticiler organik ve inorganik olmak üzere iki şekilde toprağa katılırlar. Değerleri normal geçmiş değerlere nazaran daha yüksek ise topraklarda ağır metallerin toplu olarak bulunduğu anlaşılır. Topraklardaki kimyasal kirleticilerin ana tipleri şekil 2.3’de özetlenmiştir.



Şekil 2.3 Topraklardaki kimyasal kirleticilerin ana tipleri (Türkoğlu 2006)

Ağır metaller birincil kirleticiler diye adlandırılır. Toprakta genellikle toprak partikülleri tarafından adsorbe edilmiş halde bulunur ve mikrobiyal aktiviteler tarafından degrades edilemezler. Bitki ve hayvan metabolizması için yaşamsal ve yaşamsal olmayan elementleri vardır. Yaşamsal olanların fazlalığı gibi eksikliği de toprak-bitki-hayvan sisteminde ciddi dengesizliklere sebep olabilir. Bitki metabolizması için gerekli olanlar; bor(B), bakır(Cu), demir(Fe), mangan(Mn), molibden(Mo), silisyum(Si) ve kadmiyum(Cd) elementleridir. Hayvanlar için gerekli olanlar ise; bakır(Cu), kobalt(Co),

iyot(I), demir(Fe), mangan(Mn), molibden(Mo), selenyum(Se) ve çinko(Zn) olarak sıralanır (Türkoğlu 2006). Yaşamsal olmayanlar ise her şekilde toksik etki yapmaktadır.

İnorganik–Organik Karışımli Kirleticiler: azot formları (gübreler, lağım pisliğı akıntıları gibi birikintiler) fosfor formları(suni ve doğal gübreler ile atık maddeler gibi) tuzlar ve toksik iz elementler olarak ele alınmaktadır.

### **2.6.1 Ağır metaller ve tuzları**

Genellikle karbonat silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde bağı ve yer kabuğunda volkanik ve tortul kayaçların yapısında doğal olarak bulunan bileşiklerdir (Kahvecioğlu vd. 2007; Okçu vd. 2009). Bozulmaz ve yok edilemezler. Periyodik cetvelde atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan, yoğunluğu ise  $5 \text{ gr/cm}^3$  olan elementler ağır metaller diye isimlendirilir. Bu grubun içine 70 kadar element girmekle beraber ekolojik bakımdan önemli 20 element dikkat çekmektedir (demir(Fe), mangan(Mn), çinko(Zn), bakır(Cu), vanadyum(V), molibden(Mo), kobalt(Co), nikel(Ni), krom(Cr), kurşun(Pb), berilyum(Be), kadmiyum(Cd), talyum(Tl), antimon(Sb), selenyum(Se), kalay(Sn), gümüş(Ag), arsenik(As), cıva(Hg), Alüminyum(Al)) Bunların bir kısmı, bitki ve hayvanlar için mikrobesein (demir (Fe), bakır(Cu), çinko(Zn), mangan(Mn), molibden(Mo) nikel(Ni)) maddesi olabilmekte, izin verilebilir sınırı aşmadığı sürece toksik olmamaktadırlar (Okçu vd. 2009).

Yerkabuğunda doğal halde bulunduğu halde ağır metallerin topraktaki en önemli kirleticisi olmasının ana sebebi insan aktiviteleridir. Bu aktivitelerin başında madencilik gelmektedir. İmalat sanayinin hammaddesi maden cevherleridir. Cevherlerin çıkarılması, eritilmesi, saflaştırılması ve işlenmesi esnasında etraftaki kalıntılar rüzgarla taşınmakta ve toprakta birikmektedir. Doğal yollardan yılda 7600 ton Zn ve Cd, 18800 ton As, 3600 ton Hg, 332000 ton Pb atmosfere atılmakta iken insan faaliyetleri sonucu deşarj edilen miktarlar dikkate alındığında ise Se (19 kat), Zn ve Cd (8 kat), Hg, Pb, Sn (6 kat), Ni ve Cr (3 kat) daha fazladır (Güder 2005, Kahvecioğlu vd. 2007). Constantine vd. (2004)'ne göre termik santrallerde enerji üretmek için kullanılan linyit kömürü,

içerisinde bulunan pek çok ağır metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni, Co, Cr) ve bazen polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs) küle geçmektedir (Okçu vd. 2009).

Tarımsal ve bahçecilik işlemlerinde kullanılan suni gübreler ile ilaçlar da başka bir kirlenici kaynağını oluşturmaktadır. Diğer endüstriyel faaliyetler metalürji, kimya ve çeşitli imalat sanayilerinden kaynaklanan ağır metaller, hava yoluyla (aerosol ve toz emisyonlarının hareketiyle), çeşitli taşkınlar sebebiyle (su yoluyla) ve atık yığınlarından kaynaklanan sızmalar sebebiyle toprağa ulaşırlar. Ağır metal kirliliğinin önemli bir kısmı katı atıklardan kaynaklanmaktadır. İyi yönetilmeyen katı atık deponi alanlarında Cr daha az miktarlarda olmak üzere Cu, Pb, ve Zn bulunmaktadır. Ayrıca arıtma çamurunda da değişik oranlarda Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn gibi maddeler bulunmaktadır (Vanlı 2007). Tüm bu faaliyetler çizelge 2.1’de özetlenmiştir

Çizelge 2.1 Toprakta ağır metal kirliliği oluşturan faaliyetler (Güven 2007)

Kirlilik Oluşturan Faaliyet	Oluşan Kirlenici
Maden cevheri işleme ve eritme prosesleri	Au, Cu, Sb, Zn, Pb, Se, Te, Ag, Hg, U, Bi, Mo, Sn, As, Ni, Co, Cd, Pt, Tl
Tarım ve Bahçecilik <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gübrelerdeki safsızlıklar</li> <li>• Hayvan dışkısı</li> <li>• Pestisitler</li> <li>• Atık kompost</li> <li>• Koruyucular</li> </ul>	<p>Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn</p> <p>Cu, As, Zn</p> <p>Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn</p> <p>Cd, Cu, Ni, Pb, Zn</p> <p>As, Cu, Cr</p>
Arıtma Çamurları	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
Metalürji Sanayii	Cu, Zn, Au, Ag, Pb, Sn, Y, W, Cr, Se, Sm, Ir, In, Ga, Ge, Re, Sn, Tb, Co, Mo, Hg, Sb, As, Gd
Çeşitli Sanayiler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cl üretimi</li> <li>• Pil üretimi</li> <li>• Pigment ve boya üretimi</li> <li>• Polimer stabilizatörleri</li> <li>• Baskı ve Grafik</li> <li>• Medikal üretimler</li> </ul>	<p>Hg</p> <p>Pb, Sn, Zn, Cd, Ni, Hg</p> <p>Pb, Cr, As, Sb, Se, Mo, Cd, Ba, Zn, Co</p> <p>Cd, Zn, Sn, Pb</p> <p>Se, Pb, Cd, Zn, Cr, Ba</p> <p>Ag, As, Ba, Cu, Hg, Sb, Se, Sn, Pt, Zn</p>
Atık Bertarafı	Cd, Cu, Pb, Sn, Zn
Askeri Faaliyetler	Pb, Cu, Zn

### 2.6.2 Diğer inorganik kirleticiler

Mirsal (2004)'a göre, topraktaki aşırı miktarlardaki Al, Be ve F gibi elementler aşırı çevresel kirleticiler olarak dikkate alınır Alüminyum, Alzheimer (*senile dementia*) ya da böbrek yetmezliği gibi bazı rahatsızlıklar ile ilişkili tutulur Dünya sağlık örgütü (WHO) içme suyundaki alüminyum konsantrasyonu için tolerans seviyesi olarak 200 mg/L değerini belirtmiştir. Flor içme suyunda 3-6 mg/L'den daha fazla olması durumunda "*skelesta flourosis*" diye adlandırılan hastalığa neden olur. 10 mg/L'den daha fazla olması durumunda felç olayları ortaya çıkmaktadır (Başcı 2009). Flor ve alüminyumun toprak da fazla konsantrasyonlarda olması bazı bitkilerde bu iki elementin anormal konsantrasyonlarda olması sonucunu doğurmaktadır. Çay bitkisi flor gibi alüminyumun doğal akümülatörlerine bir örnektir (Türkoğlu 2006).

### 2.6.3 Organik kirleticiler

Tarımda verimliliği arttırmak için, böceklerin ve diğer zararlıların kontrol edilmesinde herbisidler (yabancı otları öldüren pestisitler), insektisidler(böcekleri öldüren pestisitler), fungisidler(bitki üzerindeki mantarları öldüren pestisitler), rodentisidler (kemirgenleri öldüren pestisitler) gibi yaygın olarak kullanılan pestisitler kalıcı organik kirleticilerin büyük bölümünü oluşturmaktadır.

Başta PVC, plastik ve diğer klor kullanılan prosesler olmak üzere endüstriyel üretimde kullanılmakta ya da atık olarak açığa çıkmaktadır.

Bu kirleticiler canlının yağ dokusunda birikerek;

- hormonal bozukluklar,
- bağışıklık sistemi bozuklukları,
- üreme bozuklukları,
- kanser

olmak üzere çok sayıda sağlık sorununa yol açarlar (Köseoğlu 2007).

#### **2.6.4 Radyoaktif maddeler**

Ana kaynakları nükleer enerji santralleri, atomik testler, savaş olayları ve büyük nükleer kazalar olan nükleer materyalin savaşlarda ve endüstride kullanımı, taşınması, test edilmesi ve temas edilmesinden dolayı gibi işlemler yüzünden radyoaktif kirlilik oluşmaktadır (Köseoğlu 2007).

#### **2.7 Ağır Metaller**

Yerkürede doğal olarak bulunduğu halde ağır metallerin en önemli kirlilik kaynağı olmasının sebebi insan aktiviteleridir. İnsanlar tarih boyunca ağır metallerin etkilerini bilmeden takı, silah, su borusu vb çeşitli amaçlar için kullanmışlardır. Sanayi devriminden sonra üretim ve ısınmada fosil yakıtların kullanım miktarının her geçen gün artması, kentlerin büyümesi, trafik yoğunluğunun da beraberinde büyümesi, kent evsel atıkları, kanalizasyon atıkları tarımda uygulanan yeni üretim yöntemleri ile kullanılan gübre ve ilaç miktarının artması gibi gelişmeler günümüz insanını eskiye göre ağır metallerle daha fazla temas eder hale getirmiştir.

Ağır metaller biyolojik süreçlere katılma derecelerine göre yaşamsal ya da yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olanlar organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları zorunlu olduğu için besinlerle düzenli bir şekilde alınırlar. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerinin ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır. Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedirler. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır. Bir ağır metalin yaşamsal olup olmadığı dikkate alınan organizmaya da bağlıdır. Örneğin nikel bitkiler açısından toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz elementi olarak bulunması gerekir (Kahvecioğlu vd. 2003).

Doğada bulunan 90 elementten (11 adedi makro element, 15'i mikro element olan) 26'sı ve bunların 9 (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo, I, Si ve V) adedi temel mikro elementler olarak bilinenleri insan ve hayvan hayatı için önemlidir. Bu metaller organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle birleşerek metal protein komplekslerini oluştururlar. Bunun yanı

sıra birçok enzimin yapısında da bulunurlar. Örneğin Fe, kanı kırmızı olan canlılarda, Cu ise kanı renksiz olan deniz organizmalarında oksijen taşıma işlevi yanında, birçok enzim aktivitelerine metaloprotein olarak katılır Ancak vazgeçilmez görünen metallerin de belirli miktarlardan sonra toksik etkisi oldukları bilinmektedir. Örneğin bakır saç, deri, kemik gibi bazı organların temel bileşimi arasında bulunmaktadır. Bakır eksikliği çocukluktan itibaren önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bununla birlikte kurşunun düşük oranda alınması bile insanlar için toksik etki yaratma potansiyeline sahiptir (Bakar ve Baba 2009).

Bitkilerin çeşitli element içerikleri ise, bitki türüne, genetik yapısına, yetiştiği toprağın mikro element içeriği iklim şartlarına ve bitkinin yetiştirme düzenine bağlıdır (Başçı 2009).

Aşağıda bitki dokularında birikerek besin zinciri yolu ile insan ve hayvan organizmalarına geçen bazı ağır metallerin özelliklerine değinilmiştir.

- **Kurşun:** Tarih boyunca en geniş endüstriyel kullanım alanı olan ve ekolojik sisteme en önemli zararları veren ilk metaldir. Ekolojik sistemde metal ve bileşik hallerinde bulunur ve her durumda toksik özellik taşıdığından en önemli çevresel kirleticilerindendir. Kurşun bileşikleri 1920'li yıllarda Kurşuntetraetil  $[Pb(C_2H_5)_4]$  olarak benzine ilave edilmesiyle ekolojik sistemde yayılımı başlamıştır (227.250 ton/yıl ABD). Her ne kadar günümüzde kurşunsuz benzin kullanımını azaltılmaya çalışılsa da bu yolla yayılım devam etmektedir (Bakar ve Baba 2009, Kahvecioğlu vd. 2009). Doğaya salınan kurşun genellikle zor çözünür bileşikler  $[(Pb_3(PO_4)_2, Pb_4O(PO_4)_2, Pb_5(PO_4)_3OH), (PbCO_3) (PbS)]$  oluşturur, bu nedenle beslenme zincirinde yer alan bitkilerden kurşun alınımı söz konusu değildir (Kahvecioğlu vd. 2009).

20. yüz yılda kurşun yüksek oranlarda paslanmaya karşı oksit boya hammaddesi olarak, yemek saklama kaplarında, akü sanayinde, insektisitler (böcek ilaçları), su borularında, kozmetik malzemelerde bulunan pigment ve diğer ana maddelerde, altının geri kazanımında kuyumculuk işlemlerinde ve sigarada bulunur. Eski iskeletler üzerinde yapılan araştırmalar günümüz insanında

atalarından 500-1000 katı kadar fazla kurşun bulunduğunu göstermektedir. Kemiklerde biriken kurşunun yarılanma ömrü yaklaşık 20 yıl olup, çözünerek böbreklerde tahribata neden olmaktadır. Kurşun nörotoksin olup, beyin ve sinir sistemlerini tahrip etmektedir (Kahvecioğlu vd. 2009).

- **Cıva:** oda sıcaklığında sıvı durumda olan çok eski çağlardan beri insanların bildiği bir metaldir. Endüstride metalik, organik ve inorganik cıva bileşikleri olarak termometrede, bazı metallerin üretim süreçlerinde, diş tedavilerinde dolgu malzemesi olarak, ilaç, boya ve kağıt sanayiinde kullanılmaktadır (Güven vd. 2004). Bir diğer önemli kirletici ise bakteri ve organizmalar tarafından suya karışan cıvanın çevirmesi ile oluşan metilcıvadır. Metil cıva planktonlardan besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşır. Sinir sistemi, böbrekler ve beyin üzerinde, farklı cıva bileşiklerinin metalik, organik veya inorganik bileşik olmasına göre farklı etkileri vardır. Metalik ve metil cıva vücuda alındığında kana karışarak beyine kadar gider ve beyinde birikirken, inorganik cıva bileşiklerinin alınması durumunda bu bileşikler böbreklerde birikerek çalışmasına engel olur (Güven vd. 2004).
- **Bakır:** M.Ö. 5000 yılından beri bilinen bir metal olup, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınmaya ve korozyona direnci, çekilebilme ve dövülebilme özelliklerine sahip olduğu için endüstride çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Çok çeşitli alaşımlara sahip olduğu için endüstride (otomotiv, basınçlı sistemler, borular, vanalar, elektrik santralleri ve elektrik, elektronik vd.) değişik amaçlı kullanılmaktadır (Kartal vd. 2004). Kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi de farklıdır. Örneğin bakır küçük ve basit canlılar için zehir etkisi gösterirken, büyük canlılar için temel yapı taşıdır. Bu özelliğinden dolayı bakır ve bileşikleri fungusit, biosit, anti bakteriyel madde ve böcek zehiri olarak tarım zararlılarına karşı sıklıkla uygulanır. Örneğin % 1-20 CuSO<sub>4</sub> içeren kireç sütü karışımı “Bordo-Karışımı” olarak bilinir ve üzüm tarımında fungusit olarak kullanılır (Kartal vd. 2004). Bakır birçok enzim ve proteinin yapısında bulunur ve demirin fonksiyonlarını yerine getirmesinde aktivatör görevi görür. Eksikliğinde hayvanlarda kansızlık, kemik ve sinir sistemi bozuklukları görülmektedir. Genelde yiyecek ve



içeceklere kazayla bakır ihtiva eden maddelerin karışmasıyla akut bakır zehirlenmesi gözlenir (Kartal vd. 2004).

- **Kadmiyum:** Doğal süreçlerle önemli miktarlarda doğaya karışmamış, çinko üretimi sırasında ortaya çıkan ve sonrasında endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı gemi sanayinde, çeliklerin kaplanmasında, PVC stabilizörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılmaya başlanması ile çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasındaki yerini almıştır. Doğaya yıllık yayılımı 25.000-30.000 ton olup, bunun 4.000-13.000 tonu insan faaliyetleri sonucudur (Kahvecioğlu vd. 2009). Diğer ağır metallere göre suda çözünme özelliği en yüksek olduğu için kadmiyum doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli bir element değildir. Kadmiyumun insan vücudundaki seviyesi yaşla beraber artış gösterir 50'li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalır. Genellikle karaciğer ve böbreklerde birikim yapar (Kahvecioğlu vd. 2009).

## 2.8 Ağır Metallerin Alıcı Ortamlara Etkileri

İnsanoğlu var oluşundan bu güne kadar sürekli çevre ile etkileşim içinde olmuştur. Son iki yüzyılda yeryüzünde gözle görülür düzeyde değişikliklere neden olsa da daha önceki yıllarda da çevreye büyük zararlar vermiş ve bu etkileşimde olumsuz olarak etkilenen çoğunlukla kendisi olmuştur.

Bilinen madenciliğin tarihi çok eskilere dayanmakta olup, karşılaşılan sağlık problemleri de eskiden beri bilinmektedir. Hipokrat kurşun zehirlenmesinin etkilerine dikkat çekmiştir. Daha sonraki hekimlerde çeşitli hastalıklardan bahsetmişler ancak hastalıklar hakkında yeterli bilginin olmaması ve bu işleri kölelerin yapması nedeniyle toplumun ilgisini çekmemiştir. Milattan önceki dönemlere kadar giden Çin kayıtlarında çevre ile sağlık arasındaki ilişki tanımlanmış olup; kurşun, gümüş, altın, bakır ve antimon gibi maddelere bağlı bazı sorunların tanımlandığı bilinmektedir (Bakar ve Baba 2009).

Ancak sanayi devriminden sonra ortaya çıkan sorunlar farklı farklı meslek gruplarının ilgisini çekmiş, yaşanan teknolojik gelişmeler tıp ve diğer bilim dallarında elde edilen

bilgiler birçok fiziksel ve kimyasal etkenin hastalıklarla olan somut ilişkisini net bir şekilde ortaya koymuştur. Daha sonra toprak, su kaynaklarının kirliliğinin artması ile çevresel salgınlar olarak gündemimize girmeye başlamıştır. Kurşun, krom, civa, bakır, arsenik, kadmiyum önemli örneklerdir. Ağır metallerin ekolojik sistemde yayılımları incelendiğinde doğal çevrimlerden ziyade insan elinin yayılımında daha etkili olduğu görülmektedir. Çizelge 2.2’de endüstri gruplarından atılan metal türlerinin dağılımı görülmektedir (Kahvecioğlu vd. 2009).

Çizelge 2.2 Endüstri gruplarından atılan metal türlerinin dağılımı (Kahvecioğlu vd. 2009)

<b>Endüstri</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Sn</b>	<b>Zn</b>
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-Alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	+	+
Termik Santraller	+	+	+	+	+	+	+	+

1950’li yıllarda Japonya’nın Minamata Körfezinde gözlenen metilciva salgını metallerle insan sağlığı arasındaki ilişkilerin en tipik örneklerinden birisidir. Körfezdeki bazı kimyasal fabrikalar katalizör olarak kullandıkları inorganik cıvayı doğrudan denize döküyorlardı. Bunun bir kısmı denize dökülmeden metilleniyordu. Ortamdaki mikroorganizmalar tarafından metilcıvaya dönüştürülen inorganik cıva planktonlar tarafından daha sonra onları yiyen balıklara ve nihayetinde besin zincirinin son halkası olan insanlara miktarları katlanarak ulaşmış ve bu yolla 1953 yılında zehirlenmeden 46 ölüm olmuştur. Dünyanın değişik bölgelerinde özellikle de sanayileşme ile birlikte minamata hastalığının yarattığı salgın ve benzeri olaylar daha sık gözlenir olmuştur. İleri derecede tanı ve tedavi olanakları gerektiren ağır metallerin yarattığı sağlık problemlerinin çoğu kronik hastalıklar ya da kanserlerdir (Bakar ve Baba 2009)

### **2.8.1 Ağır metallerin toprağa etkisi**

Toprak sadece ana kayaçtan oluşan cansız bir varlık değildir. Toprağın bir gramında sayıları binden milyarlara ulaşan ve boyutlarına göre mikro, mezo ve makro fauna olarak isimlendirilen toprak ve ölü örtüde yaşayan ve görevleri toprağın gözenek yapısını, havalanmasını, infiltrasyonunu ve toprak içerisindeki organik dağılımını karbon ve azot döngüsünü sağlayan canlılar bulunmaktadır (Çakır ve Mermerci 2011). Doğal koşullar altında topraktaki bitkisel ve hayvansal kökenli canlılar toprağın verimliliği için şarttır. Zira topraktaki bu canlılar azot, fosfor ve kükürdü bitkilerin yararlanabileceği hale getirmekle yükümlüdür. Örneğin kök mantarlarına sahip olan ağaçlar topraktan kendi başlarına alamayacakları karbonhidratları ve başka temel maddeleri bu mantarlar sayesinde alırlar.

Çeşitli insan aktiviteleri sonucunda toprakta artan ağır metaller üst toprakta ve humusta kuvvetle tutunduklarından alt toprağa doğru hareketleri zayıftır. Böylece toprak organizmaları üzerindeki toksik etkileri sebebiyle bunların ölümüne yol açarak, ölü örtü ayrışması engellenir, toprak strüktürü bozulur ve toprağın verimi düşer. Zamanla topraktaki artan ağır metaller topraktan yer altı ve yüzey sularına ulaşarak onlarında kirlenmesine neden olur (Anonim 2012a).

Ağır metallerin toprakta birikmesi ile bir taraftan topraktaki canlı ekosistem bozulurken, bir taraftan toprağın verimi düşer diğer taraftan da besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri olur.

Kirlenmiş toprakların temizlenmesine çalışıldığında toprağın kompleks fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile kirleticilerin toprak ortamındaki davranış ve ilişkilerine ait bilgilerin sınırlı olması gibi faktörler, temizleme faaliyetlerinin maliyetlerinin yükselmesinin yanı sıra klasik atık bertaraf teknolojilerinin uygulanmasını da sınırlı boyutlarda kalmasına sebep olmuştur (Köseoğlu 2007).

### **2.8.2 Ağır metallerin sudaki etkisi**

Endüstrinin boyutlarının genişlemesiyle endüstri atıklarının da miktarı artmıştır. Atıkların düzenli depolanmaması ve en kolay yol bunların nehir ve denizlere

boşaltılması sonucunda altmışlı yıllarda hem okyanus hem de kara sularında su kirliliği endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Endüstriyel sıvı ve katı atıkların kent kanalizasyon atıklarının nehirlere boşaltılmasıyla yalnızca büyük ırmaklar kirlenmekle kalmamış aynı zamanda yeraltı suları da kirlenmiştir (Başcı 2009).

Ağır metaller sucul canlılarda yalnızca toksik, akut, kronik ve doğrudan etkilerin yanı sıra, dolaylı. planktonlarda hücre bölünmesinin gecikmesi ve engellenmesi, kabuklularda beslenme alışkanlıklarının değişmesi, balıklarda anormal yumurtlama ve yumurtlama dönemlerinin değişmesi, kanser tümörlerinin oluşumu gibi fizyolojik etkilere de neden olmaktadır (Başcı 2009).

### **2.8.3 Ağır metallerin canlılara etkisi**

Vücutta doğal olarak bulunan bazı metallerin sağlığınıza yararları vardır. Örneğin Fe kansızlığı önler, Zn ise 100'den fazla enzim reaksiyonunda yer alır. Metallerin normal olarak vücutta bulunma oranı çok düşüktür. Bu oran yükseldiği takdirde, vücutta toksik etki yapmaya başlarlar. Ağır metaller, yoğunlukları suyun yoğunluğunun en az 5 katı daha fazla olan metallerdir Ağır metallerin hiçbir fonksiyonu yoktur ve vücut için zararlıdır. Eğer ağır metallerin vücudumuza giriş hızı, vücudumuzun onları dışarı atma hızından düşükse, zaman içinde vücudumuzda birikme yaparlar (Bakar ve Baba 2009).

Bir metalin yaşamsal olup olmadığı dikkate alınan organizmaya da bağlıdır. Örneğin nikel bitkiler açısından toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz element olarak bulunması gerekir. Bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi, kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişmektedir. Küçük ve basit yapıları canlılar için zehir özelliği gösterirken büyük canlılar için temel yapı bileşenidir (Köseoğlu 2007).

Ağır metallerin en göze çarpan özellikleri arasında vücuttan atılmadıkları ve çeşitli dokularda (yağ dokusu, kemik vb.) birikmeleridir. Vücutta bulunan metal konsantrasyonları eşik değerleri aştığı andan itibaren zararlı etkileri gözlenmeye başlar. Metaller insan vücuduna solunum yolu, ağız yolu ve deri yolu ile girebilirler. Genel olarak oluşturdukları etkileri sistemler açısından ele aldığımızda ise;

- Kimyasal reaksiyonlara etki edenler,
- Fizyolojik ve taşınım sistemlerine etki edenler,
- Kanserojen ve mutojen olarak yapı taşlarına etki edenler,
- Allerjen olarak etki edenler (Bakar ve Baba 2009, Kahvecioğlu vd. 2003.).

Olarak sıralayabiliriz.

## 2.9 Toprak Arıtım Yöntemleri

Kirlenmiş toprakların temizlenmesinde amaç toprağın toksik kirleticilerden doğan riskin minimuma indirilmesiyle sürdürülebilir bir çevresel konuma getirilmesidir. Uygun toprak arıtım metodunun seçimi, kirliliğin derecesine, risk seviyesine, finansmanına ve kirlenmiş arazinin sonraki kullanımı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Toprağın arıtılması için pek çok metot olmakla birlikte, ıslah teknolojileri dört sınıfta tanımlanabilir. Bunlar;

- Kimyasal ve fiziksel yöntemler
- Biyolojik yöntemler
- Katılaştırma yöntemleri
- Termal yok etme yöntemleri

Toprak ıslahı, yerinde hızlı bir şekilde yapılabilir veya özel vasıtalarla taşınan toprak özel reaktörler ya da tanklarda ıslah edilebilir. Bu uygulama esas olarak fiziksel ve kimyasal maddelerin uygulanmasını ya da biyo-ıslah metotlarını içerir.

Kirlenmiş bölgenin yerinden alınarak herhangi bir depolama sahasına veya daha az kirlenme riski bulunan bölgelere taşınmasıyla kirlenmiş toprakların iyileştirilmesine yönelik ilk çalışmalar başlamıştır. Ancak bu yaklaşımın taşındıkları bölgelerde de benzer kirlenme sorunlarına neden olması ve kirlenme risklerini ortadan kaldıramaması, sorunun çözümü için yeni yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Eke 2010).

Kirlenmiş topraklar için dört olası yönetim seçeneği söz konusudur

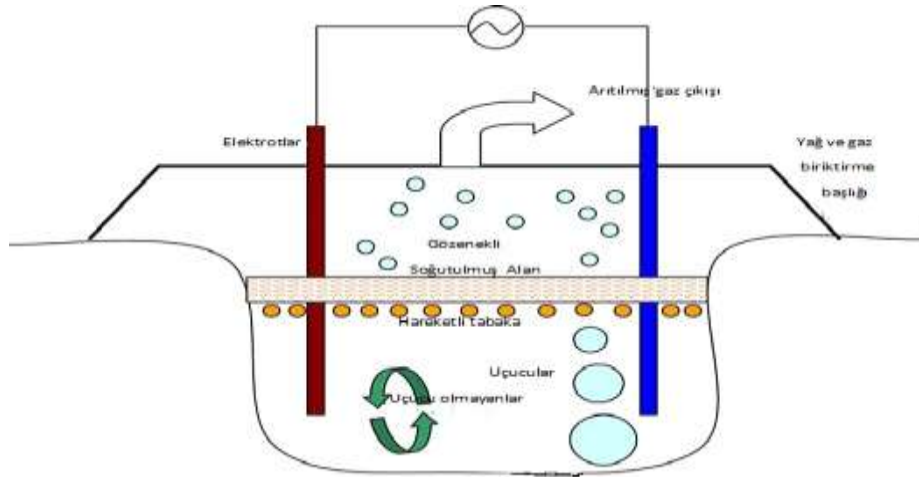
- Olduğu gibi bırakmak, giriş-çıkışı önleyerek kullanımını yasaklamak,

- Kirlenmiş toprağı doğal ortamında (in situ) veya kazıp alarak başka bir yerde (ex situ) temizlemek (Köseoğlu 2007).
- Kirlenmiş toprağı kazıp yerinden alarak özel bir bertaraf sahasında depolamak.
- Kirlenmiş toprağı bölge içinde hareketsiz kılmak ve diğer bölgelere geçişini engellemek için bölgeyi sürekli izlemek,

## 2.9.1 Fiziksel-kimyasal yöntemler

### 2.9.1.1 Camlaştırma

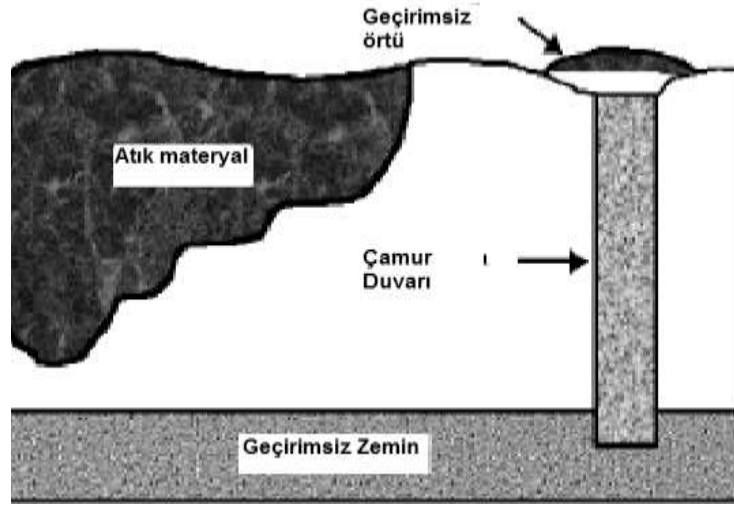
Bu yöntemde amaç kirli zemine yerleştirilmiş elektrotlar (genelde grafit turu elektrotlar kullanılır) yardımıyla elektrik akımı yüklenerek zamanla sıcaklığı 1600-2000°C' ye kadar çıkarttıktan sonra (bazen 3 000°C'ye ulaşabilir) zemin eritilip ani soğuma sonrasında kirlenmiş toprağı hareketsizleştirilmesi ya da yok edilmesidir. Şekil 2.4'te yöntemin düzeneği yer almaktadır. Altın (2004)'a göre bu yöntemle topraktaki inorganik materyallerin çoğu (radyonükleidler, fizyon ürünleri, metaller ve diğer inorganik kimyasallar) kristal yapı içerisinde hareketsizleşirken, organik maddelerde pirolize uğrayıp uçucu maddelere dönüşerek atmosfere yayılmaktadır (Köseoğlu 2007).



Şekil 2.4. Toprak arıtımında camlaştırma süreci (Khan vd. 2004)

### 2.9.1.2 Bariyerlerle alıkoyma

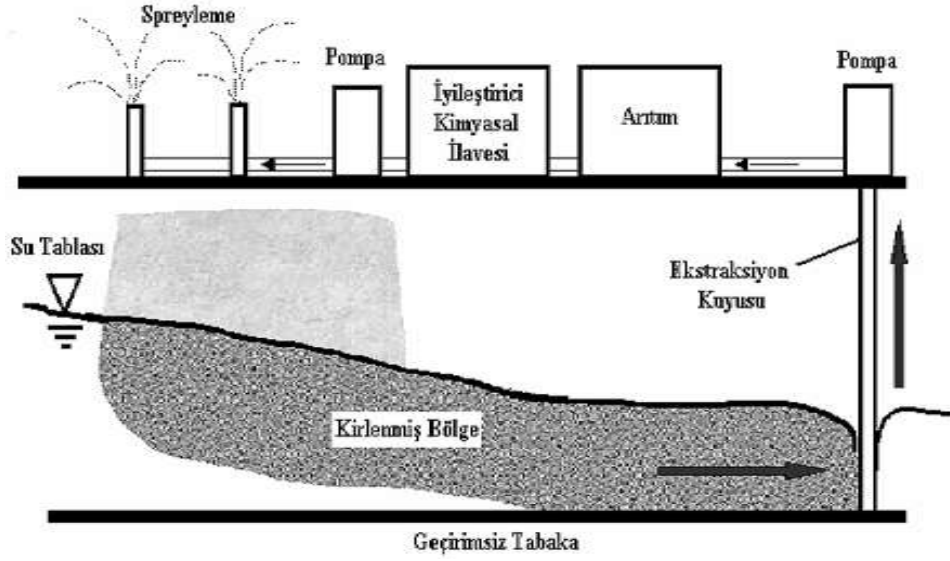
Altın (2004)'a göre bu yöntemde geçirimsiz zemin de bulunan toprak kirleticilerinin başka tarafa geçişini engellemek için gitme ihtimali olan yöne dikey olarak yeterli derinlikte hendeklerin kazılması ve bu hendeğe sulu bentonit çamuru veya çimento karışımlarının doldurulması ile oluşturulan bariyerlerle geçişinin engellenmesinin amaçlandığı bir yöntemdir. Şekil 2.5'te yöntemin düzeneği yer almaktadır. (Köseoğlu 2007)



Şekil 2.5 Kirleticilerin bariyerlerle alıkonması (Köseoğlu 2007)

### 2.9.1.3 Toprağın yıkanması

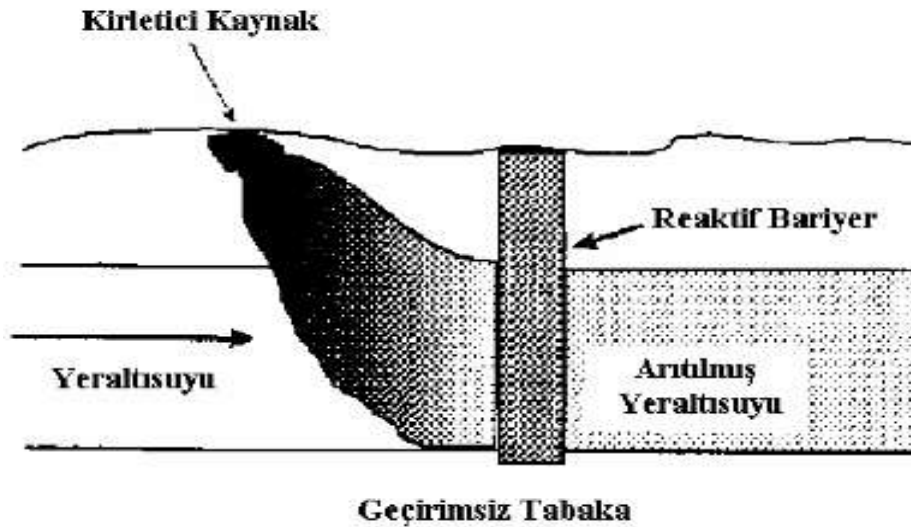
Altın (2004)'a göre toprak veya akiferdeki kirleticilerin su ve benzeri çözücülerle yıkanarak kirleticilerin toprağa yayılmış halde bulunan su ve çözelti ile karşılaşım reaksiyona girmesi ve böylece çözelti içine alınmasına dayanan bir yöntemdir. Şekil 2.6'da yöntemin düzeneği yer almaktadır. Yöntemde yıkama çözeltisi spreyleme ya da enjekte edilmek suretiyle yüzeye yayılmaktadır. Daha sonra kirleticilerin olduğu çözelti pompayla yüzeye çıkarılmakta ve değişik yöntemlerle kirleticiler ayrıştırılmaktadır (Köseoğlu 2007).



Şekil 2.6 Toprağın yıkanarak kirlenmelerden arındırılması (Kocaer 2003)

#### 2.9.1.4 Reaktif bariyerler

Altın (2004)'a göre, bu yöntemde geçirgen ve kirlenmeyi adsorplayabilen veya çözünürlüğü düşük kompleks yapılara dönüştürülebilen bir yapı oluşturulur. Şekil 2.7'de yöntemin düzeneği yer almaktadır. Bariyer malzemeleri olarak en çok doğal bentonitler, alüminyum ile pilare edilmiş killer, doğal zeolitler, sıfır değerlikli demir, aktif karbon ve sıfır değerlikli bimetaller kullanılmaktadır (Köseoğlu 2007).



Şekil 2.7 Reaktif bariyerlerle kirlenmiş giderimi (Köseoğlu 2007)



## 2.9.2 Biyolojik yöntemler

Bazı bakteriler organik kirleticilerin geniş bir bölümünü sindirme yeteneğine sahiptirler. Toprakta doğal olarak bulunan mikroorganizmaların bu özelliğinden faydalanmaya dayanan, yakıtlar ve diğer yağ ürünleri gibi organik kirleticilerin dönüşümünde kullanılan kolay ve etkili bir yöntemdir. Yöntemin etkinliği çevresel şartların mikrobiyal büyüme ve aktiviteye izin verdiği durumlara bağlıdır. Diğer geleneksel metotlardan daha ekonomiktir. Toprak çeşitliliği; toprak materyallerine, alanın topografik özelliklerine, iklimsel etkenlere, bitki örtüsüne ve topraktaki organizma durumu biyoremediasyona etki eden baş faktörlerdir (Dindar vd. 2010).

Biyoremediasyon iki biçimde uygulanır;

- Kirletici konsantrasyonlarının düşük olduğu topraklarda bakterileri etkin duruma geçirmek için bakteri kompozisyonuna göre besin (nutrient) aktarımı yapılır(Yerinde (in-situ)).
- Toprak kazılarak yerinden alınır ve kirletici parçalama yeteneğine sahip yeni bakteriler ilave edilir (Yerinde yapılmayan (ex-situ) bertaraf teknolojileri) (Dindar vd. 2010).

### 2.9.2.1 Yerinde (in-situ) biyoremediasyon yöntemi

Daha çok doymuş topraklarda uygulanan kirletici ögenin doğal ortamında bırakılarak kimyasal maddelerin parçalanması için ortamdaki mikroorganizmaların kullanıldığı ekonomik bir yöntemdir. Yöntemin başarısı kemotaktik yetenekleri ile mikrobiyal organizmalar kirleticilerin bulunduğu bir saha içerisinde hareket edebildikleri için kimyasal etmenlerle ilişkili olarak bir organizmanın ya da hücrenin hareket etmesi önemlidir. Kirleticilerin temizlenmesinde kullanılacak mikroorganizmalar hücre gelişimleri için daha fazla enerji ve besine ihtiyaç duyabilirler bunlar atık maddeye sonradan ilave edilebilirler. Ortam koşulları uygun olmadığı zaman degrade etme kapasiteleri azalır (Dindar vd. 2010).

Kirli toprak yerinden alınmadığı için yönteminin avantajları;

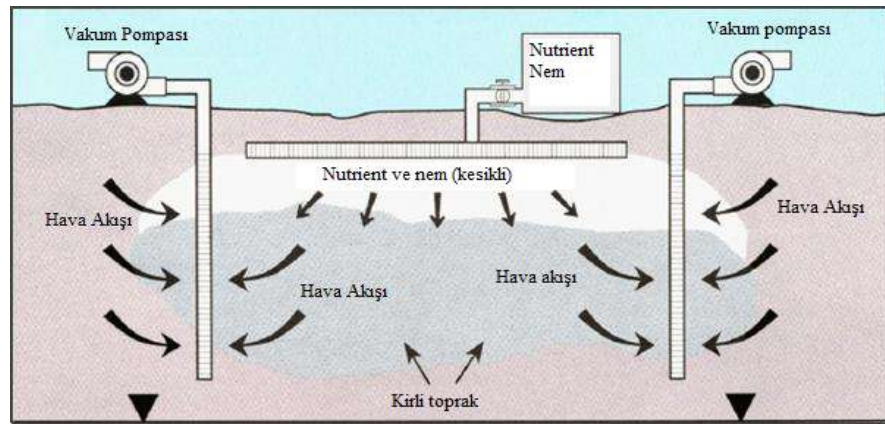
- daha ekonomiktir
- sahanın bozulması minimal düzeyde olur.

Yöntemin dezavantajları ise;

- diğer metotlara göre daha fazla zaman alması,
- çevresel şartlar yüzünden kullanılan mikrobiyal aktivitede mevsimsel azalma olabilir.

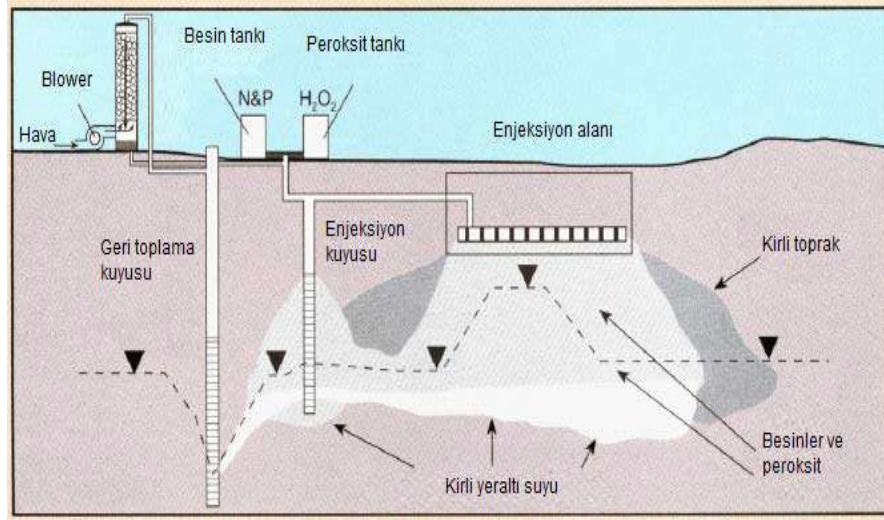
Mikroorganizmalar için uygun yaşam koşullarını oluşturmak için in-situ arıtımda iki teknik kullanılır.

- **Bioventing (Hava enjeksiyonuyla doymamış toprakta kirletici arıtımı)**  
Mihopoulos vd. (2000)'e göre, ortamdaki mikroorganizmalar için gerekli oksijen zemine özel borular içinde enjeksiyonla doymamış toprak da su tablası üzerindeki toprağa atmosferik hava olarak verilir. Şekil 2.8'de yöntemin düzeneği yer almaktadır. Verilen hava veya O<sub>2</sub> bir taraftan parçalanmaya yardım ederken diğer taraftan burada bulunan uçucu organik maddeleri hava akımıyla yüzeye taşır. Bu yöntemle bazı pestisitler, bitki koruyucuları klorlanmış çözücüler, petrol hidrokarbonları, ve diğer organik kimyasallarla kirlenmiş zeminlerin arıtımında uygulanabilirken inorganik kirleticiler için tavsiye edilmemektedir (Dindar vd. 2010).



Şekil 2.8 Su tablası üzerindeki toprağın ıslahı (Bioventing) (Dindar vd. 2010)

- **Peroksit injeksiyonu** : kimyasal oksidasyona dayanan bir yöntemdir. Hava yerine sıvı formda enjeksiyon yolu ile hidrojen peroksit verilir. Oksidant olarak kullanılan hidrojen peroksit hidrokarbonların karbondioksit ve suya dönüştürülmesini sağlar. Şekil 2.9'da yöntemin düzeneği yer almaktadır. Yöntem sadece önceden kirlenmiş yer altı suyunun olduğu alanlar ve sınırlı kirliliğin olduğu alanlara uygulanır (Dindar vd. 2010).



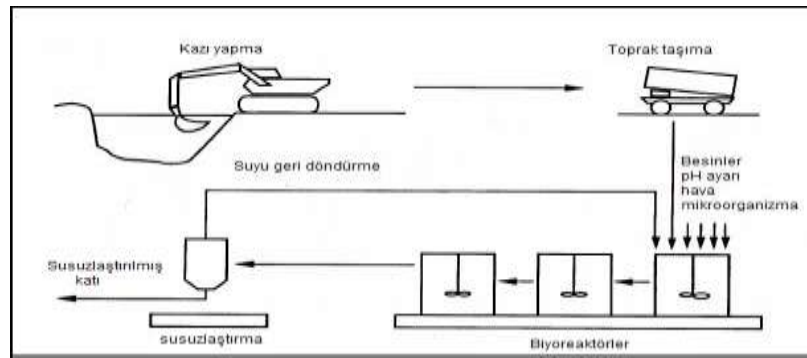
Şekil 2.9 Peroksit enjeksiyonu (Dindar vd. 2010)

### 2.9.2.2 Yerinde yapılmayan (ex-situ) biyoremediasyon yöntemi

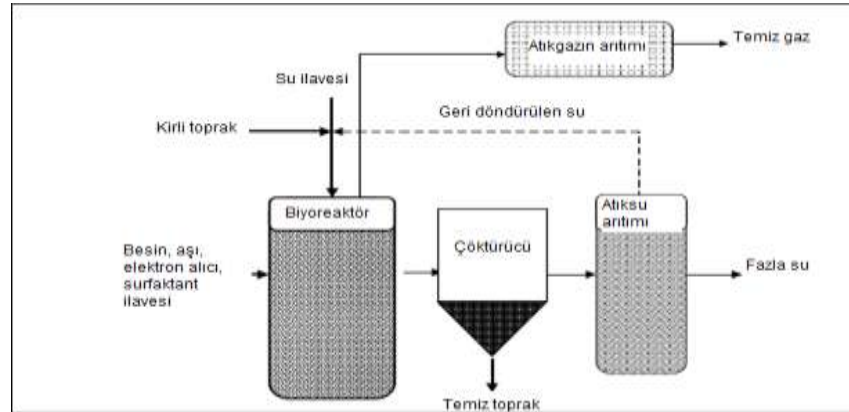
Bu yöntemde mikrobiyal degradasyonu kolaylaştırmak için kirli toprak doğal ortamından kazılarak alınır. Kirlenmiş sahadan uzakta gerçekleştirilen ex-situ biyoremediasyon yöntemi, normal olarak asıl yerinde yapılan yöntemlere göre daha hızlı fakat daha pahalı bir yöntemdir. Bazı durumlarda, etkinliği arttırmak için kirlenmiş ön temizlemeye ihtiyaç duyabilir. Bunun için kullanılan iki yöntem vardır. En yüksek etkililiğe ulaşmak için üst ıslah ölçümleri kadar ön temizlemeye ihtiyaç olabilir. İslahın özel tanklarda ya da hazır zeminlerde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğine göre ex-situ bio-ıslah iki teknolojiyi kapsar (Türkoğlu 2006).

- **Sulu faz işleme (biyoreaktörler)** : hızlı bir yöntemdir. Kirleticilerle temas halinde olan ve zaten doğal olarak bulunan mikroorganizmalar buldukları kirli

toprak ile beraber kazılarak alınır ve özel vasıtalarla özel reaktörlerde su ile karıştırılır. Bu yöntemde kullanılan reaktörler kesikli, yarı sürekli ve sürekli olmak üzere sınıflandırılırlar. Mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu oksijen ve besin takviyesi daha sonra eklenir. Şekil 2.10-2.11’de yöntemin farklı iki düzenekleri yer almaktadır Kirleticilerin degradasyonunun başını çeken bioaktivitelerini devam ettirmek için organizmalar, en iyi koşullara sahip olsun diye ısı, besin ve oksijen konsantrasyonları kontrol edilir (Dindar vd. 2010).



Şekil 2.10 Biyoreaktörler ile toprağın ıslah yöntemi (Dindar vd. 2010)

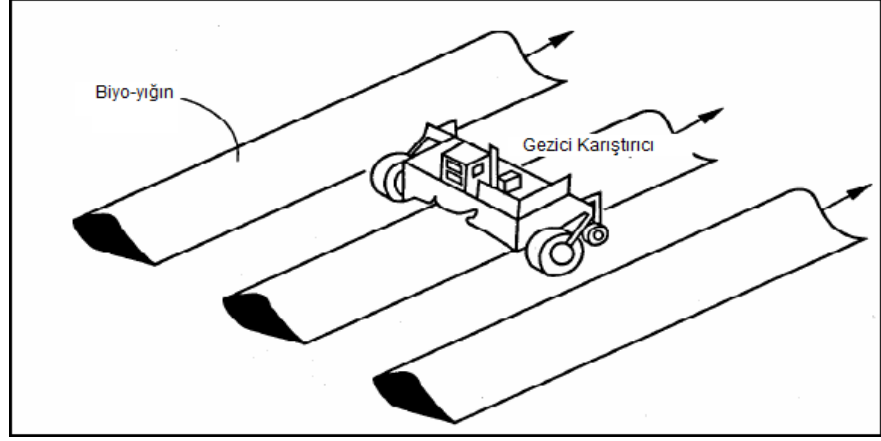


Şekil 2.11 Tipik bir biyoreaktör diyagramı (Dindar vd. 2010 )

- **Katı Faz İşlemi:** bu yöntemde kazılarak doğal ortamından alınan kirleticiler başka bir alandaki hazır zeminler üzerinde işleme tabi tutulurlar. Sulu zemin uygulamasına göre daha çok zamana ihtiyaç vardır, daha az masraflı olmasına rağmen fazla etkili değildir Bio-yığınlar olarak da adlandırılabilen bu yöntem;

bio-hücreler, bio-toprak yığınları, bio-yığınlar ve kompost yığınları olarak bilinen bio-yığınlar biyodegradasyonun kullanımıyla kazılarak yerinden alınmış petrol türevlerinin, PAH'ların, patlayıcıların, pestisitler gibi klorlu organik kirleticilerin konsantrasyonlarını azaltmak için kullanılabildiği bilinmektedir (Dindar vd. 2010). Bu ıslah metodunu gerçekleştirmek için iki ana teknik yaygın olarak kullanılır.

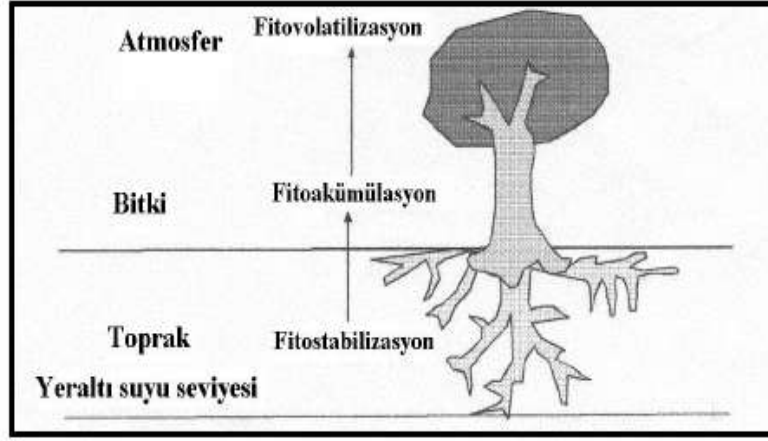
- **Arazi düzenlemesi:** biyolojik parçalanma yoluyla kirletici konsantrasyonlarını azaltmayı amaçlayan bu yöntem arazi iyileştirilmesi ya da arazi uygulaması olarak bilinir. Yerinden kazılarak alınan kirli topraklar başka bir alana ince bir tabaka halinde yayılır. Toprağın havalandırılması, mineral ve besin maddesi ilavesi yapılarak toprak içindeki aerobik mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmeyi amaçlar. Bu işlemin sonucunda ortamdaki mikroorganizmaların artması ve mikrobiyal solunumun etkisi ile adsorbe olmuş petrol ürünleri degradasyona uğrarlar (Dindar vd. 2010)
- **Toprak biyoyığınları:** bu yöntemde yerinden kazılarak alınan kirli toprak başka bir yerde ince bir tabaka halinde değil de birkaç metre yüksekliğinde yığınlar halinde bırakılır. Şekil 2.12'de yöntemin düzeneği yer almaktadır. Mevcut mikroorganizmaların aktivitesini arttırmak için yığın içine hava üflenir ve gerekirse besinler eklenir. Von Fahnstock vd (1998)'e göre yığınlardan yayılan bazı uçucu kirleticiler nedeniyle kontrol yapılmalıdır (Dindar vd. 2010). Toprak biyo-yığınları, arazi düzenlemesi gibi yeraltı depolama tank alanlarında bulunan tipik petrol ürünlerinin yaklaşık tüm türevlerinin konsantrasyonlarını azaltmada etkili bir rol oynamaktadırlar (Dindar vd. 2010).



Şekil 2.12 Toprak yığınları oluşturma tekniği (Dindar vd.2010)

### 2.9.2.3 Yeşil ıslah (Fitoremediasyon)

Bu yöntemin hedef aldığı kirletici türleri organik ve toksik ağır metallerdir. Diğer arıtım yöntemleri ile karşılaştırıldığında fitoremediasyon oldukça az masraflı, estetik olarak memnun edici pasif bir toprak arıtım yöntemidir (Hamutoğlu 2012). Fitoremediasyon yeşil bitkiler kullanılarak çevredeki kirleticilerin zararsız hale getirilmesi yöntemidir (Şekil 2.13). Bitkiler organik kirleticileri bozabilir, parçalayabilir yada metallerde olduğu gibi bünyesine alarak stabilize edebilme özelliğine sahiptir. Fitoremediasyon diğer geleneksel yöntemler gibi toprağın biyolojik yapısını değiştirmedeği için çevresel açıdan bir sıkıntı yaratmaz ve başarılı bir uygulamadan sonra toprak direkt olarak tarımsal amaçlar için kullanılır (Pulford ve Watson 2003). Fitoremediasyonun önemli bir avantajı düşük maliyetli olmasıdır (Macek vd. 2000). Fitoremediasyonun maliyeti toprakların ton başına hesap edilen tahmini maliyeti 25-100\$ ve su ortamı atık akıntılarınının 1000 galon başına arıtımı 0.60–6.00\$ olarak belirtilmektedir. Çoğu durumlarda fitoremediasyon alternatif yöntemlerin yarı fiyatından daha az bir maliyete sahip olabilmektedir (Macek vd. 2000).



Şekil 2.13 Fitoremediasyon sürecinde ana mekanizmalar (Kocaer 2003)

Fitoremediasyon yönteminin en önemli faydası kirliliği başka bir yere taşımaya gerek bırakmadan doğal ortamında arıttırmasıdır. En büyük eksikliği ise bitki köklerinin derinliğine ve bitkinin kirliliğe karşı toleransının yüksek olmasına bağlı bir yöntem olmasıdır (Macek vd. 2000).

### 2.9.3 Katılaştırma ve stabilizasyon yöntemleri

Bu yöntemin amacı kirlenmiş materyallere uygun miktarda su, çimento (portland çimentosu gibi) veya zift, polietilen ve diğer poliolefinler, parafinler ve sülfür çimentoları gibi termoplastik reçinelerin karıştırılmasıyla inorganik bileşikler (As, Cr(VI), Hg gibi metaller hariç) çözünmeyen hidroksitler gibi kirliliğin karbonatlar veya silikatlarla çökeltme ile hareketsiz hale getirilmesi ya da yer değiştirme ve tutulma gibi mekanizmalarla indirgenerek dengede tutulmasıdır.

Kullanılan katkı maddesine göre uygulanan yöntemlerden bazıları;

- Katran ile yapılan katılaştırma (bitumen- based solidification)
- Termoplastik materyaller içinde kapsülasyon
- Polietilen uygulaması
- Pozzolan / portland çimentosu

Sayılabılır.

#### **2.9.4 Termal uygulama yöntemleri**

Kirlenmelerin sıcak fırınlarda yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak buharlaştırılması ve yok edilmesi amaçlanan çok etkili bir yöntemdir. Fırınlardaki sıcaklıklar 400 °C ve 700 °C arasında gerçekleştirilir. Organik uçucu maddenin total oksidasyonunu sağlamak için gaz ocaklarında daha yüksek sıcaklıklarda (800-1200°C ) ileri düzeyde işlemlere de tabi tutulur. Termal uygulama çeşitli teknolojileri kapsar. En önemlileri;

- Yakma (incineration)
- Termal desorpsiyon
- Plasma metodu

Sayılabılır.

#### **2.10 Fitoremediasyon Yoluyla Kirlilik Giderme Çalışmaları**

Ağır metalleri biriktiren bitkilerin tespit edilmesinden sonra bu konu üzerine ilgi artmış ve pek çok araştırma yapılmıştır. Bitkilerin ağır metalleri bünyesine alması, onları üst organlarına kadar taşıması, normal bitkilere göre ağır metalleri gösterdikleri direnç araştırmaları olayın biyokimyasal yapısının anlaşılması ile ilgili çalışmalar son yıllarda büyük bir hızla devam etmektedir Konuya ışık tutması amacıyla bitkilerle yapılmış çalışmalardan örnekler çizelge 2.3’de verilmiştir.



Çizelge 2.3 Fitoremediasyon yoluyla kirlilik giderme çalışmaları

REFERANS	ÇALIŞMA KONUSU
Elsokkary-1982 (Köseoğlu 2007)	Mısır'da endüstri bölgesindeki sebzelerde etkiyi yansıtacak şekilde civa birikmesinin 0.014–0.385 ppb arasında değiştiğini göstermişlerdir.
Warren vd. 1983 (Köseoğlu 2007)	Kanada'da mineral birikmiş alanda <i>Salix spp.</i> 'nin yapraklarında 1.6 ppb'ye ulaşan civa konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır.
Yalçın vd. 1989 (Başcı 2009)	Mısır bitkisi üzerinde Zn, Fe, Mn ve Cu gibi ağır metallerin etkisini çalışmışlardır.
Robinson vd 1997 (Eke 2010)	N,P,K ile gübrelenmiş alandaki <i>Alyssum bertolini</i> bitkisindeki metal derişimleri ve bu metallerin fiyatlarının belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır.
Garbisu ve Alkorta 2001 (Başcı 2009)	Bitkisel özümleme (phytoextraction) tekniğinin kullanılması ve bitkilerin hasat edildikten sonra maddi kazanç sağlaması üzerinde çalışmışlardır.
Nouairi vd.2005 (Köseoğlu 2007)	Brassica napus bitkisinin Cd biriktirme potansiyelini Cd-hiper akümülatör olarak bilinen Brassica juncea bitkisiyle karşılaştırması üzerinde çalışmışlardır.
Güder 2005	Zn konsantrasyonu artırılmış atık çamurda yetiştirilen Kolza ( <i>Brassica napus L.</i> ) bitkisinin bitkisel ekstraksiyon yöntemi ile topraktan bitkinin toprak üstü aksamında ne kadar biriktirdiği üzerinde çalışmıştır.
Arlı 2006	Arıtma çamurundaki ağır metallerin giderilmesi üzerinde çalışmıştır.
Salt vd. 1998 (Başcı 2009)	Yüksek biyomass içeren mısır ve ayçiçeği gibi bitkilerin her yıl 180-530 kg/ha kurşunu ortamdaki uzaklaştırıp 2500 mg/ha'a kadar kurşunla kirli alanların 10 yıl içerisinde temizlenebileceğini öne sürmüşlerdir.

Çizelge 2.3 Fitoremediasyon yoluyla kirlilik giderme çalışmaları(devam)

REFERANS	ÇALIŞMA KONUSU
Guerro vd. 2001 (Köseoğlu 2007)	Belediye katı atık kompostlarının yanmış orman toprağı üzerindeki etkilerini bir yıl süre ile izlemişler ve verimliliğı arttırdığını ortaya koymuşlardır.
Pulford vd. 2002	Ağaçların ağır metalleri özümseme kapasitelerini araştırmışlar ve bu çalışmada salix spp bitkisini kullanmışlardır.
Madejon vd. 2003 (Başcı 2009)	Eski bir madende ayçiçeğı yetiştirip toprağın iyileşme miktarını kontamine olmamış bir bölge ile karşılaştırma çalışmasını yapmışlardır.
Lethomaki 2004 (Eke 2010)	Bitki biyokütlesinden anaerobik parçalanma sonucu metan gazı elde edilmesi üzerinde çalışmıştır.
Reeves ve Adıgüzel 2004 (Eke 2010)	Ni hiperbiriktirici bitkilerden Alyssum'un bazı çeşitlerinde Ni derişimlerinin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır.
Baker vd. 1989 (Başcı 2009)	Hem element eksikliği ve hem de fazlalığı(toksisitesi)'nin bitki büyümesi üzerindeki etkisi üzerinde çalışmışlardır.
Eke 2010	Ni biriktirme kapasitesine sahip olan ve endemik bir tür olan Thlaspi elegans Boiss bitkisi üzerinde fitoekstraksiyon elektrokimyasal çöktürme yöntemi ile kombine edilmiş sıvı ekstarksiyon yöntemi kullanılarak fitoekstraksiyon sonrası hasat edilen bitki biyokütlesini simüle işleminde çalışmıştır.
Vanlı 2007	Pb, Cd ve B ile kirlenmiş topraklardan kirleticilerin şelat destekli fitoremediasyon yöntemi üzerinde çalışmıştır.
Köseoğlu 2007	Atık çamurunun iyileştirilmesi için bitkisel arıtım yönteminin kullanım olanakları üzerinde çalışmıştır.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu bölümde çalışmada izlenen materyal ve yöntemin detaylı olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

#### **3.1 Materyal**

Çalışmanın materyalini konuya yönelik yerli yabancı literatür, internet kaynaklı yayınlar şekil ve fotoğraf gibi çeşitli görsel malzemeler oluşturmuştur. Daha önceden yapılmış çalışmalar ve literatürlere ulaşmak için kütüphane ve internet ortamından elde edilmiş kaynaklar kullanılmıştır.

#### **3.2 Yöntem**

Tez çalışması kapsamında toprak kirliliğinin başlıca kirletici kaynakları, bunların toprağa, suya ve canlılara etkileri, kirli topraklar için geliştirilmiş fiziksel- kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri ile bunlara alternatif oluşturan fitoremediasyon yöntemi ve bu yöntemde kullanılan bitkiler ile ilgili literatür ve veri toplama işleminin ardından toplanan bilgiler analiz edilerek geleneksel arıtma yöntemleri ile fitoremediasyon yöntemi arasında kirli toprağın arıtılması işleminde hem ekonomik olarak hem de toprağın daha sonraki kullanımı için avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Bir taraftan yıllarca endüstrinin kirli atıklarına ve su kirliliğine maruz kalan diğer taraftan yoğun yağışlar sonrasında şehrin olanca kanalizasyon pisliğine maruz kalan ve bu yüzden New York Eyaleti Tuzlu Su Yüzeyi Su Kalitesi Standardı kapsamında, tehlikeli derecede kirlenmiş su olarak kabul edilen SD sınıfı olarak sınıflandırılmış, yüzme ve balık tutma gibi dolaylı temasın bile tavsiye edilmediği Gowanus Canal Sponge Park örneği ele alınmıştır. Peyzaj yapısı bozunmuş olan bu park yapılan bir proje ile fitoremediasyon yöntemi uygulanarak yeniden düzenlenmiş ve 2010 yılında Amerikan Peyzaj Mimarları Birliği (ASLA) tarafından Meslek Ödülüne layık görülmüştür. Bu parktan yola çıkarak toprakların daha az kirlenmesi hatta hiç kirlenmemesi için Peyzaj mimarlığı çalışma alanları düşünülerek fitoremediasyon yönteminin bu alanlarda nasıl uygulanabileceği hususunda öneriler getirilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 Yeşil Islah (Fitoremediasyon)

Phytoremediation, bitki anlamındaki “phyto” ile ıslah anlamındaki “remediation” kelimelerinden turetilmiŐ, Turekçe’de “YeŐil Islah” olarak kullanılan bir ifadedir. Organik ve inorganik kirleticilerin bitkiler kullanılarak kirlilik oluŐturduđu alandan bertaraf edilmesi olup, son yıllarda populer olmasına rağmen yeni bir kavram değildir. YaklaŐık 300 yıl önce atık suların temizlenmesi için bitkilerin kullanılması dűŐunlműŐtur. 19.yüzyılda Őekil 4.1’de görüle *Thlaspi caerulescens* ve Őekil 4.2’de görülen *Viola calaminaria* bitkilerinin yapraklarında yüksek düzeyde metal biriktirebilen ilk bitkiler oldukları tespit edilmiŐtir.



Şekil 4.1 *Thlaspi caerulescens* (Anonymous 2013a)



Şekil 4.2 *Viola calaminaria* (Anonymous 2006)

Daha sonraki yıllarda bünyesinde normal bitkilere göre çok daha fazla Se, Ni ve Zn birikimi ve toleransı olan bitkiler tanımlanmıştır. Kirli topraklardaki metal kirleticilerinin bitkiler tarafından çıkarılması fikrini ilk kullananlar Utsunamyia (1980) ve Chaney (1983) tarafından ortaya konmuştur (Anonim 2012a).

Sonraki yıllarda fitoremediasyon yöntemi için pek çok çalışma gerçekleştirilmiş ve bünyesinde yüksek miktarlarda metal biriktirebilen ve metallere karşı yüksek toleransı olan bitkiler tespit edilmiştir.

Fitoremediasyon, organik veya inorganik kirleticileri toprak veya su ortamından;

- Bitkilerin kök bölgesinde hareketsizleştirmek suretiyle,
- Bitkinin kök ve üst organlarında bünyelerine alarak depolamak suretiyle,
- Kökleri aracılığıyla bitkinin üst organlarına taşınarak gövde ve yapraklarında

metabolize etme veya buharlaştırma yoluyla, toprakların temizlenmesini sağlayan doğal bir yöntemdir. Diğer geleneksel yöntemlere göre hem ekonomik hem ekolojik olması kullanımı için özel bir donanım gerektirmemesi ve kullanımdan sonra bölgenin yeniden kullanımına izin veren gelişmeye açık bir yöntemdir.

Bitkiler büyümeleri ve yaşamlarını devam ettirebilmeleri için kendileri için gerekli olan metalleri topraktan almaktadırlar. Bitkiler için makro besin (N, P, K, Ca ve Mg gibi) ve mikro besin (Fe, Zn, Mn, Ni, Cu ve Mo gibi) maddelerini almak zorundadırlar. Bitkiler mikro besinleri metabolik gereksinimlerini aşmayacak şekilde alırlar(<10 ppm) Ancak hiperbiriktirici diye tanımlanan metallere karşı toleransı ve biriktirmesi yüksek olan bitkiler normal bitkilere göre ppm'in 1000 katı metali bünyesine alabilmektedirler (Terzi ve Yıldız 2011, Anonim 2012a).

Yapılan çalışmalarda bünyesinde ağırlığının %0,2'nin üzerinde metal biriktirebilen yaklaşık 45 familyadan (Güder 2005) 400 bitki türünün varlığı tanımlanmıştır (Güder 2005, Vanlı 2007, Anonim 2012a). Hiperbiriktirici bitkiler içinde sayıca en fazla ve en geniş olanı 11 cins ve 87 türle *brassicaceae* familyasıdır (Güder 2005). Bu özelliğe sahip hakim familyalar *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*,

*Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* ve *Euphobiaceae*'dir Birkaç hakim familyadan bazı bitki örnekleri şekil 4.3'te verilmektedir;



Şekil 4.3 Hiperbiriktirici bitki türlerinden bazı örnekler

Bir hiperbiriktirici bitki normal bir bitkiye göre 10 ppm'den fazla Hg, 100 ppm'den fazla Cd, 1.000 ppm' den fazla Co, Cr, Cu ve Pb ve 10.000 ppm' den fazla Ni ve Zn' yu bünyesine alabilmektedir (Köseoğlu vd. 2002, Anonim 2012a).

Hiperbiriktirici bitkilerin çoğu Ni, yaklaşık 30 tanesi Co, Cu ve/veya Zn' yu, çok azı Mn ve Cd' u bünyesine alabilmektedirler (Anonim 2012a). *Brassicaceae* familyasından Ni biriktiren 7 cins ve 72 tür, Zn biriktiren 3 cins ve 20 türün varlığı belirlenmiştir (Güder 2005). Yapılan çalışmalar bazı cinslerin de birden fazla ağır metali biriktirebilme özelliğinde olduğunu göstermiştir. Örneğin *Thlaspi caerulescens* Cd, Ni, Pb ve Zn; *Thlaspi goesingense* Ni ve Zn; *Thlaspi ochroleucum*, Ni ve Zn ve *Thlaspi rotundifolium* Ni, Pb ve Zn biriktirir (Güder 2005). Şekil 4.4'de *Thlaspi rotundifolium* bitkisi görülmektedir.



Şekil 4.4 *Thlaspi rotundifolium* (Anonymous 2013c)

Fitoremediasyon yöntemi ile çok çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin giderimi yapılabilmektedir. Bu kirleticiler;

- Elementler (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn),
- Metaloidler ( As, Se),
- Radyonükleidler ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ),
- Metal olmayanlar (B)
- Diğer organik bileşikler (Pestisitler gibi)

olmak üzere birçok maddeyi kapsamaktadır (Vanlı 2007).

Kirleticilerin bulunduğu ortama göre yapılan uygulama ve en yaygın kullanılan bitkiler çizelge 4.1’de gösterilmiştir

Çizelge 4.1 Kirleticiler için buldukları ortama göre yapılan fitoremediasyon uygulamaları (Kalkan vd. 2011)

<b>Mekanizma</b>	<b>Proses Hedefi</b>	<b>Ortam</b>	<b>Kirleticiler</b>	<b>Bitkiler</b>
<b>Fitoekstraksiyon</b>	Kirletici Alma ve Uzaklaştırma	Toprak, Sediment ve Çamur	Metaller, Metalloidler, Radionükleidler	Hindistan Hardalı, Pennycress, Alyssum, Ayçiçeği, Hibrit Kavak
<b>Rizofiltrasyon</b>	Kirletici Alma ve Uzaklaştırma	Yüzey ve Yeraltı Suyu	Metaller, Radyonükleidler	Ayçiçeği, Hindistan Hardalı, Su Sumbülü
<b>Fitostabilizasyon</b>	Kirletici Etkisizleştirme	Toprak, Sediment ve Çamur	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Hindistan Hardalı, Hibrit Kavak, Çim
<b>Rizodegradasyon</b>	Kirletici Giderme	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı suyu	Organik Bileşikler	Kırmızı Dut, Çim, Hibrit kavak, Sukamışı, Çeltik
<b>Fitodegradasyon</b>	Kirletici Giderme	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı suyu, Yüzey Suyu	Organik Bileşikler, Klorinat Çözücüler, Fenoller, Herbisitler	Alg, Stonewort, Hibrit Kavak, Siyah söğüt, Servi
<b>Fitovolatilizasyon</b>	Kirleticiyi buharlaştırma	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı suyu	Klorinat Çözücüler, Bazı İnorganikler (Se, Hg, As)	Kavak, Yonca, Siyah Locust, Hindistan Hardalı
<b>Hidrolik Kontrol</b>	Kirletici Bozunma	Yüzey ve Yeraltı Suyu	Suda Çözünen Organik ve İnorganikler	Hibrit, Söğüt
<b>Vejetatif Örtü</b>	Erozyon Kontrolü	Toprak, Sediment ve Çamur	Organik ve İnorganik Bileşikler	Kavak Çim
<b>Kıyı Tampon Şeritleri</b>	Kirletici Giderme	Yüzey ve Yeraltı Suyu	Suda Çözünen Organik ve İnorganikler	Kavak



## 4.2 Kent Parklarından Bir Örnek: Gowanus Canal Sponge Park

Pek çok ülkede endüstri alanlarının ilk kuruluş yerleri kentlerin dışındadır. Ancak endüstrinin ihtiyaç duyduğu eleman ihtiyacı, köylerden kentlere nüfusun akın etmesine ve bu nüfusun barınma ihtiyacı çarpık kentleşmeye ve sonunda endüstri alanlarının şehrin ortasında kalmasına neden olmuştur



Sekil 4.5 Gowanus Kanal Bölmesi-sanayi atıkları (Anonymous 2013g)

Zamanla endüstrinin yarattığı hava, su kirliliği ve oluşturduğu gürültü onların tekrar şehrin dışına taşınması zorunluluğunu doğurmuştur. Endüstrinin şehrin dışına taşınmasından sonra şehrin ortasında terk edilmiş endüstri bölgeleri ve kirlenmiş akarsular ve toprak kalır. Bu alanlar ekonomik gelişimi ve kentsel alan kullanımını engelleyen, kent dokusundan izole edilmiş fiziksel bariyerler olarak şehrin ortasında kalırlar. Bu harabe alanla giden hassas, estetik kalite peyzaj mimarlığında hayata geçirilmiş tasarımlarla yeniden keşfedilir (Anonymus 2010b.).

Doğayı iyileştirirken ona bir ahenk verme fikri peyzaj mimarlığında yeni bir olgu değildir. Ancak büyük ölçekte kentsel oluşumu inşa edecek, peyzaj ağı olarak veya iyileştirme sürecini kentsel peyzaj tecrübesinin bir parçası yapacak dönüştürülebilir iyileştirmenin kullanım potansiyeli teoride ve pratikte az gelişmiştir.



Şekil 4.6 Union Street köprüünden Gowanus Kanal manzarası Bugünkü doğal haliyle (Anonymous 2013g)

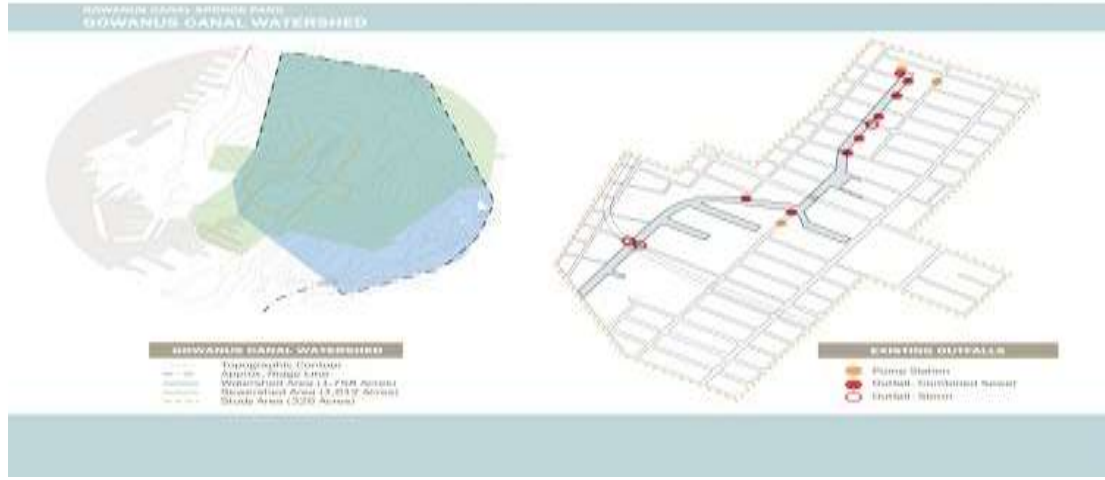
Dönüştürülebilir iyileştirmeye örnek olarak şekil 4.6’da bu günkü hali görülen Gowanus Canal Sponge Park verilebilir. Fitoremediasyon yöntemi kullanılarak yeniden tasarlanan park 2010 yılında Amerikan Peyzaj Mimarları Birliği (ASLA) tarafından Meslek Ödülüne layık görülmüştür. Parka ait verilen bilgiler ve görüntüler ASLA’nın sayfasından alınmıştır.(Anonymus 2010a. <http://www.asla.org>.)



Şekil 4.7 Gowanus Canal Bölme –kanalizasyon ve evsel atıklar (Anonymous 2013g.)

Gowanus Canal Sponge Parkı yıllarca bir taraftan çevresinde bulunan endüstrilerin atıklarına bir taraftan da kentin kanalizasyon atıklarına maruz kalmıştır. New York kenti birleşik kanalizasyon sistemine sahiptir. Kentte fırtınalı havalarda Bergen havzasına düşen yağmur, yağmur suyu drenajlarına akar ve oradan sıhhi atık su sisteminde ham

lağım pisliği ile karışır. Yağmurun şiddetli olduğu zamanlarda kanalizasyon ve yağmur suyu 1,1 milyon metreküp ham lağım pisliğini taşıyarak Gowanus Canal'ına akar.



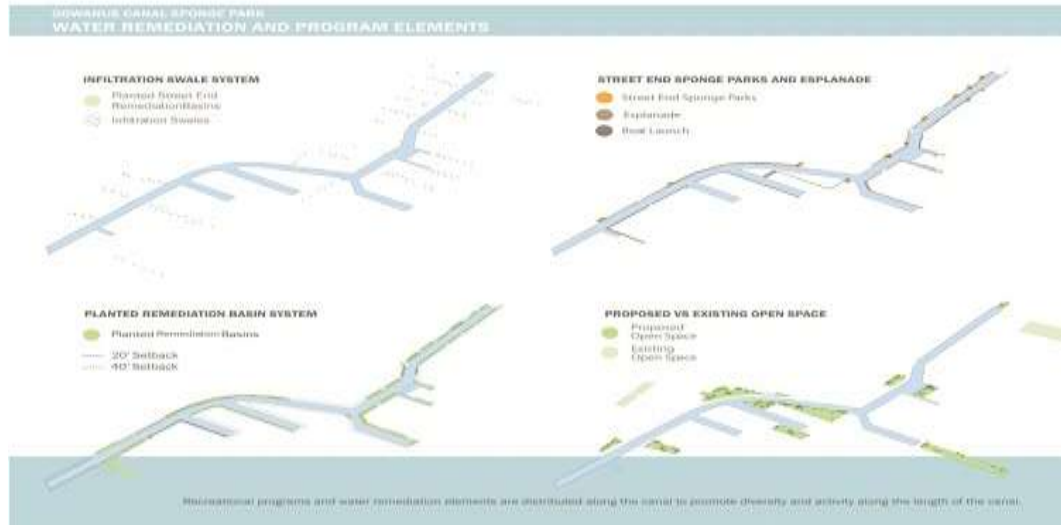
Şekil 4.8 Gowanus Kanal havzası(Anonymous 2013g.)

Bu haliyle Gowanus Canal'ı New York Eyaleti Tuzlu Su Yüzeyi Su Kalitesi Standardına göre yüzmeye ve balık tutma gibi dolaylı temasın bile tavsiye edilmediği tehlikeli derecede kirlenmiş su olarak kabul edilen SD sınıfı olarak sınıflandırılmıştır. Kötü olan bu su kalitesi minimum seviyedeki özel yatırımlar ve bakım eksikliği yüzünden kanal bölme duvarlarının %85'ini aşınmasına ve gittikçe kirlilik miktarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 4.9 Site Aksonometriği -bağlantılarının bir kentsel kıyı parkı sağlayan, mevcut rekreasyon alanları için açık alanlar önerdi

Su kalitesinin gün geçtikçe daha fazla bozulması, atık miktarının artması bölgenin yeniden temizlenmesi için gerekli olan finansman miktarını da arttırmıştır. Çevre Koruma Dairesi, Gowanus Canal'ını temizlenmesi için yüksek maliyet gerektiren yer olarak değerlendirmeye başlamıştır. Sonuç olarak Gowanus Canal'ı New York Eyaletinin su bünyesi bozulmuş listesi olan 303(d) bölümünde kalmaya ve New York şehri Çevresel Planlama Dairesi tarafından Bant I'de taşkını planlanan birleşik kanalizasyon su bünyesi olarak gösterilmeye devam etmektedir.



Şekil 4.10 Su İyileştirme ve Program Elemanları-dinlenme programları ve su iyileştirme elemanları kanalın uzunluğu boyunca çeşitlilik ve aktiviteyi teşvik etmek için kanal boyunca dağıtılır(Anonymous 2013g)

Parkın kirliliğini iyileştirmek, kanal kıyısını aktif hale getirmek ve bölgeyi yeniden canlandırmak için yüzey su akışını yavaşlatan, emen ve filtreleyen çok amaçlı halka açık bir sistemin yaratılacağı bir proje hazırlanmıştır. Bu proje ile parkın yüzey su akışını, su yönetim sistemine geçmeyi, kirliliği emen filtreleyen, kanalizasyon sistemine yağmur suyu girişini azaltan, kamuya açık ulaşılabilir bir su kıyısı oluşturan yeşillendirilmiş bir peyzaja dönüştürülmesi hedef alınmaktadır

Gowanus Canal Sponge Park projesi, kanal boyunca 1,5 mile yayılan kesintisiz bir kordon şeridi için kanala komşu kamu ve özel mülklerin birleştirilmesiyle oluşturulan dinlenme yerlerini önermektedir.

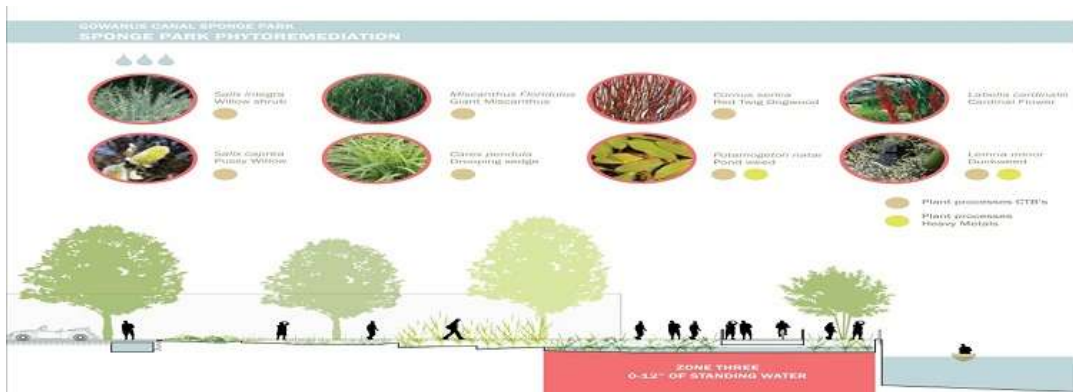


Tasarım; var olan önemli tarihi yerleri, dinlenme alanlarını ve bölge tesislerini gelecekteki kaynaklarla kaynaştırmayı da göz önünde bulundurmaktadır. Bu amaçla önemli tarihi yerlerden bir tanesi olup, kanalın sonunda olduğu için ziyaret edilemeyen Devrim Savaş Anıtı, bir zamanlar suyolu ile Gowanus Canal Sponge Park'a bağlanan Byrne Park'taki Eski Taş Ev, Thomas Green Oyun Alanı, Gowanus Dredgers Kayıkhanesi ve Kızağı ve tabiki tarihi kıyı.



Şekil 4.13 Fitoremediasyon için zonlarda kullanılacak bitki türleri (Anonymous 2013g)

İyileştirme sulak alanların kullanımında Gowanus boşaltma havzasını bir körfez olarak tanımlamakta olup, 17. yüzyıldaki bataklık haline geri döndürülmesi yerine sel kontrolünü sağlayan ve Gowanus Koyunu temiz tutan bitki örtüsü ile 21. Yüzyıl uyarlaması ile yeniden tesis edecektir.



Şekil 4.14 Fitoremediasyon için zonlarda kullanılacak bitki türleri 2 (Anonymous 2013g)

Tasarıma dahil edilen bitkiler farklı düzeylerde gelişmekte ve kirli sudan ağır metalleri çekmektedirler Buna ek olarak kanalizasyonun taşması sırasında oluşan taşkın alanları, istiridye yataklarındaki organik toksinleri, ağır metalleri ve suda bulunan 21'in üzerindeki viral bakterileri absorplama yada parçalama işini uyum içerisinde gerçekleştirecek su organizmalarının karışımını tesis edecektir.



Şekil 4.15 Sackett Caddesinde- Sınırlı erişim ve kullanım ile kamu sokağının sonu yapay sulak alanlara dönüşerek sona erer. (Anonymous 2013g)

Park yakın zamanda kullanılmak için yeniden tesis edilen Gowanus kanalı boyunca 12 metrelik kıydan içeriye çekilerek farklı düzey ve ölçeklerde çeşitli sürdürülebilir tasarım elementlerinden faydalanılmıştır

Kentsel su alt yapısı üzerine odaklanılarak araştırma yapılmış ve veri toplanılmıştır. Kentsel Su Yönetimi için var olan kent su sistemleri, boşaltma havzasının sınırları, su bitkileri için mevcut bitki örtüsü, sudaki atıklar, su iyileştirme stratejileri, toprak geçirgenliği ve suya yönelik kamu programları incelenmiş ve su analizi için aşağıdaki konuların açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

- Var olan kent yağmur suyu akışını ve kanalizasyon mekanizmasını anlamak,
- Fazla yağmur suyu taşkınlarını yönlendirmek, toplamak ve absorbe etmek için stratejiler geliştirmek,

- Bitkisel arıtım aracılığı ile yağmur suyu akışının nasıl temizleneceğine karar vermek,
- Sulak alan habitatını restore etmek için stratejiler belirleme,

Tasarımın en önemli dayanağı birleşik bir kordon oluşturma fikri olmasına rağmen yapılan kentsel analiz, parsellerin çoğunun özel mülkiyet olduğunu ve var olan yapıların New York Şehir Planlama Dairesi'nin planlanan 12 geri çekilimi ile çatışma oluşturduğunu ortaya koymuştur. Tasarım devir-daim komşu alanlara doğru ve alanlardan uzağa doğru zikzak yapmaktadır. Çatışmalar sarmal bir kordon ve Gowanus kanal kıyısını Thomas Green Park ve Eski Taş Ev tarihi yeri gibi yakındaki komşu dinlenme alanlarına bağlayan gezinti yeri sağlamaktadır.



Şekil 4.16 Üçüncü cadde girişi-kamu kıyı erişim iç içe yollar aracılığıyla sağlanan ve Gowanus Kanal boyunca iyileştirme havzaları planlanır (Anonymous 2013g)

Gelecekteki kentsel altyapının gelişimi için Gowanus Canal Sponge Parkı'nın geliştirilmesi önem arz etmektedir. Sponge Parkı'nın tasarımı içindeki su yönetimi, yenileyici bitkileri ve biyolojik yapıları ile pahalı mühendislik çözümlerine bağımlılığı azaltmaya yönelik kanalizasyon ve yağmur suyu sistemlerinin yeniden yapılandırılmasına dayanmaktadır.



Ekonomik faydalarına ek olarak Sponge Parkı sistemi, yağmur suyu yönetimini, önemli tarihi yerlerin, dinlenme alanlarının ve bölge tesislerinin, doğayı güzelleştirirken bir yandan da tasarlanabilir kentsel açık alanları oluşturacak şekilde entegre etmektedir. Bu çevresel kentselleşme, tüm ülkede uygulanabilir bir fikirdir. Endüstriyel gelişimin ardında bıraktığı tedavi edilemez toksik etkileri, kirlettiği tabiat alanlarını dönüştürebildiği gibi altyapısının eskimesi ve büyüme ile zarar görmüş şehirlerde de uygulanabilir.



Şekil 4.17 Carrol Street’den Esplanade manzarası-Sağanak akış su yapay sulak havzaları yoluyla bertaraf edilir,

Sponge Park ile doğayı göz önünde bulundurmak sistemin bütünleşik bir parçası haline gelmektedir. Kamu alanlarının esnek tasarımı, bölgeye özgü gereksinimlere adapte olmayı mümkün kılmaktadır ve az gelişmiş semtlerde erişilebilir kentsel açık alan sağlamaktadır.

Tasarım, daha temiz bir gelecek vaat eden bir tarzda arızalı altyapının tamir edilmesini önermektedir. Bu proje, New York Güzel Sanatlar Eyalet Şurası’nın, bir devlet kurumunun, kamu fonları sayesinde mümkün kılınmıştır.

### 4.3 Toleranslı, Gösterge ve Hiperbiriktirici Bitkiler

Birçok bitki için ağır metallerin fazla alınması toksik etki yaparken ve üstelik metal birikiminin enerji tüketen bir süreç olması nedeniyle metal birikiminin bitkilere gelişmeleri ile ilgili nasıl bir avantaj sağladığı çok bilinmemekle beraber bitkileri mantar, tırtıl ve zararlı böceklere karşı koruma sağlayan ekolojik bir rolü olduğu öne sürülmüştür (Pulford ve Watson 2003). Yapılan çalışmalar kirlenmiş topraklara adapte olan endemik ve spesifik bitki topluluklarının bulunduğunu ve yüksek seviyede Zn, Cu, ve Ni biriktirebildiğini ortaya koymuştur (Anonim 2012a).

Bitkiler kendileri için gerekli olan besin maddelerini bünyelerine almak, yer değiştirmek ve depolamak için çeşitli mekanizmalar geliştirmişlerdir (Anonim 2012a). Salt vd. (1995)'e göre bitkiler tarafından metal iyonlarının alınımı; metal iyonlarının kök yüzeyine tutunması, kök içine alınımı ve kütle akışı ve difüzyon aracılığıyla gövdeye translokasyonunu işlemlerini içermektedir (Terzi ve Yıldız 2011). Toprak partiküllerine bağlı halde bulunan metallerin alınımı köklerden rizosfere salgılanan metal şelatlayıcı (şeker, aminoasit, organik asit, yağ asitleri, sterol, enzimler gibi) moleküller, plazma membranına bağlı metal redüktaz ve proton salınımıyla gerçekleştirilmektedir (Kösesakal 2011, Terzi ve Yıldız 2011). Raskin vd. (1997) 'ne göre metal iyon alımı ise bitki türü ve metal tipine bağlı olarak simplast ya da hücre çeperinin katyon değişim kapasitesi sınırlandırılan apoplast yolla gerçekleşmektedir (Terzi ve Yıldız 2011).

Singh vd. (2003) 'ne göre bitkilerde ağır metal toleransı birbiriyle ilişkili fizyolojik ve moleküler mekanizmalar tarafından belirlenmekte olup, bitkilerin artan seviyelerdeki toksik metallere toleransı ya toksik elementlerin dışarda tutulması veya metabolik toleranstan kaynaklanmaktadır (Terzi ve Yıldız 2011).

Kirli ortamlarda yaşamlarına devam eden bitkilerin ortamla ilişkilerine göre toleranslı, gösterge ve hiperbiriktirici olarak üç gruba ayrılabilir.

- **Toleranslı türler:** bunlar pek çok bitkiye zarar verecek belirli elementlerin kirlendiği ortamlarda kirleticilerin köklerine girmesine izin vermez ve o ortamda yaşamlarını sürdürürler (Anonim 2012, Özay ve Mammadov 2013). Bu

bakımdan hem gösterge hem de hiperbiriktirici türler toleranslıdır. Yapılan çalışmalar bitkilerin ilgili mekanizmalarının genetik olarak farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Toleransı türlere *Holcus lanatus*, *Agrostis capillaris*, *Mimulus gultatus* ve *Silene vulgaris* örnek olarak verilebilir (Arlı 2006). Şekil 4.18 - 4.19’da toleranslı bitki türlerinden ikisi yer almaktadır.



Şekil 4.18 Toleranslı türlerden *Holcus lanatus* (Anonymous 2013d)



Şekil 4.19 Toleranslı türlerden *Silene vulgaris* (Anonymous 2013e)

- **Gösterge bitkiler** : bu gruptaki bitkiler buldukları ortamdaki metal alımı ve iletim işlemleri üzerine zayıf kontrole sahiptirler. Bu bitkilerdeki metal birikim derecesi toprak rizosfer bölgesindeki metal konsantrasyonunu gösterdiği için bu tür bitkiler madencilikte yeni maden cevherlerinin aranması çalışmalarında kullanılmaktadır. Örnek olarak sudaki yüksek metal konsantrasyonlarının

biyolojik göstergeleri olarak bilinen karasuyosunları ve Se göstergesi olarak bilinen *Stanleya pinnata* verilebilir (Arlı 2006, Anonim 2012a, Özay ve Mammadov 2013). Şekil 4.20’de gösterge türü bitki yer almaktadır.



Şekil 4.20 Gösterge türü bitki *Stanleya pinnata* (Anonymous 2013f)

- **Hiperbiriktirici bitkiler** :bu gruba giren bitkiler buldukları ortamdaki kirleticilerin köklerine girmesine engel olmazlar ancak metabolizmalarında kirleticilerin toksik etkisini gidermek için özel mekanizmalar geliştirdikleri için kirleticilerin yüksek konsantrasyonlarda biyobirikimine izin verirler. Hiperbiriktiricilerdeki elementlerin tanımlanan seviyeleri, biriktirici olmayan türlerde saptanan seviyelerden çok daha yüksektir. Hiperbiriktirici türler, 45 farklı bitki familyasından saptanmıştır, en yüksek metal birikimi ise *Brassicaceae* familyasında olmuştur. Bu bitkiler yıllık küçük otlardan, uzun süreli çalı ve ağaçlara kadar değişebilir (Arlı 2006).

#### 4.4 Yeşil Islah (Fitoremediasyon) Çeşitleri

Son yıllarda tarım, madencilik, madenlerin tasfiyesi, hızlı sanayileşme, enerji ve yakıt üretimi gibi nedenlerden dolayı kirliliğe maruz kalan ve organik-inorganik kirleticilerle kirlenmiş alanların bitkiler yardımı ile temizlenmesi yöntemi olan yeşil ıslahın kirleticinin bulunduğu ortama göre uygulanabilecek farklı çeşitleri bulunmaktadır.

Yöntemin başarısı için öncelikle;

- bitkiler tarafından alım ve giderim mekanizmaları,
- kirletici ortamının fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- uygulanacak yöntemin kirleticiye uygunluğu,
- kirlilik konsantrasyonu,
- kirleticinin toprak içindeki derinliği
- iklim şartları gibi

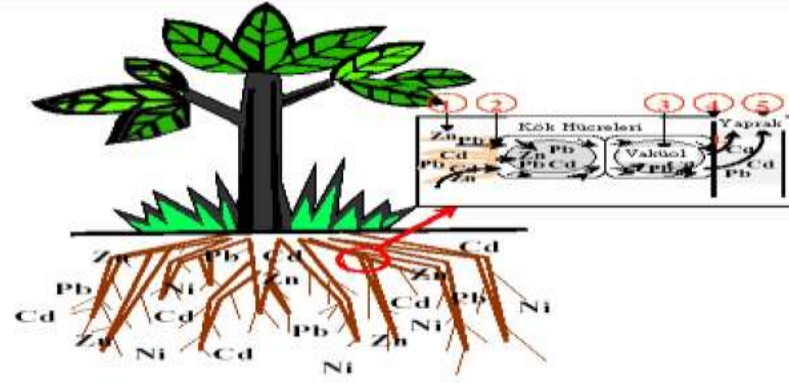
faktörlere dikkat edilmesi ve bunlara göre bir yöntemin seçilip uygulanması gerekmektedir.

Fitoremediasyon kapsamında söz konusu olan yöntemler aşağıda verilmiştir;

- Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)
- Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme),
- Rizodegradasyon (Köklerle bozunum),
- Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum),
- Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaştırma)
- Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme)

#### **4.4.1 Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)**

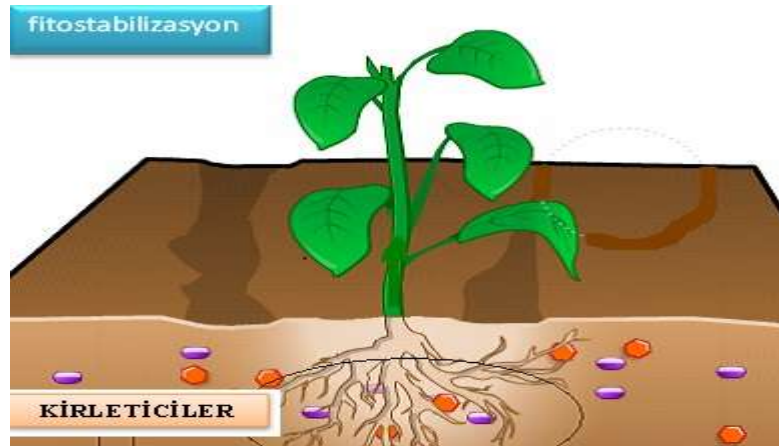
Pivetz (2001)'e göre biyotik ve abiyotik işlemlere bağlı olarak kirleticilerin köklerin içine alınması veya bitki köklerinin üzerinde yapışıp kalma işlemidir. Kirleticiler bitkiye alınabilmekte ve taşınabilmekte olup, amaç kirleticilerin bitki üzerinde veya içinde hareketsizliğinin sağlanmasıdır. Sistemin avantajı karasal ve sucul bitkilerin kullanılmasına olanak tanınması olup, yeraltı suları, yüzey suları ve atık sular gibi doğal ortamlarda uygulanabildiği gibi havuz, tank, gölet gibi yapay alanlarda da uygulanabilmekte, yani kirlilik, kaynağında veya uzakta bertaraf edilebilmektedir (Kalkan vd. 2011). Bitki köklerindeki metal alımı şekil 4.21'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Bitki köklerindeki metal alımı (Köseoğlu 2007)

#### 4.4.2 Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme)

Erozyon ve havadaki asit yağmurlarına neden olan SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gazları yağmurlarla beraber toprağa iner ve toprakta bağlı olarak bulunan metalleri çözerek topraktan sızarak hareket etmesine neden olur. Bu yöntemin amacı topraktaki kirleticilerin stabil hale getirilerek biyolojik alınabilirliğinin azaltılması anlamındadır (Şekil 4.22). Bu yöntemde kirleticilerin hareketsizleştirilmesi, kirleticilerin kökler tarafından biriktirilmesi, köklerin yüzeyine yapışması veya bitkinin kök bölgesinde çökmesi şeklinde gerçekleştirilir. Aynı zamanda gövdelerinde düşük seviyede bir birikim gösterdikleri için, hasattan sonra kalıntıların tehlikeli atık haline gelmesi elimine edilmiştir. Toprakta bulunan metalleri stabilize etmesinin yanı sıra bu bitkiler, toprak matriksindeki erozyonu ve sedimentin hareketini de stabilize eder



Şekil 4.22 Fitostabilizasyon yöntemi (Vanlı 2007)

Bu yöntemde alan hem bitkilendirildiği hem de kirli toprağın başka bir yere taşınması gerekmediği için avantajlıdır. Yöntemin en önemli dezavantajı kirlilik etmenlerinin alanda kalarak uzun zaman içindeki değişikliklerle taşınabilmesi veya yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir. Sistemde gübreleme ve toprak ıslahı çalışmalarına, maksimum stabilizasyon etkinliği sağlamak için gerek vardır (Anonymous 2000).

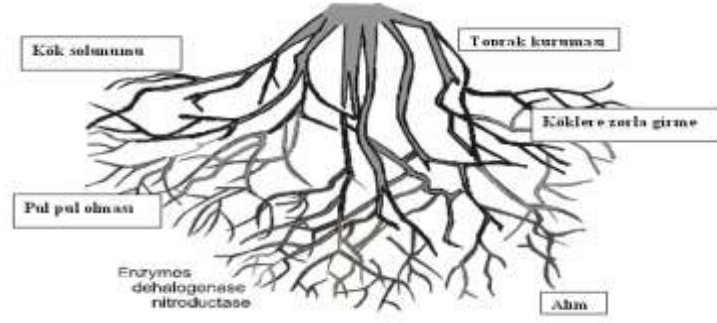
Sistemin etkinliği kök derinliğine bağlıdır. Örneğin kavak kökleri 150-300 cm derinlikler için düşünülebilir (Vanlı 2007). Pivetz (2001) 'e göre hibrit bir kavak Güney Dakota (ABD)'deki bir çalışmada ilk yıl 12 m büyüme kaydederek bünyesinde tahmin edilenden çok daha yüksek miktarlarda As ve Cd biriktirmiştir (Vanlı 2007).

Fitostabilizasyon yöntemi As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn gibi elementlerle kirlenmiş toprak, sediment ve çamurların içindeki kirleticilerin giderilmesinde, hindistan hardalı ve çim bitkisi başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Anonymous 2000).

#### **4.4.3 Rizodegradasyon (Köklerle bozunum)**

Yöntem kök ve kök çevresindeki mikrobiyal ilişkilerden yararlanarak topraktaki organik kirleticilerin mikroorganizma faaliyetleri sonucu ayrışmasıdır (Şekil 4.23). Kirlenmiş alanlarda büyüyen bitki türleri, mikrobiyal (mikroorganizma) popülasyonunun miktarını, çeşitliliğini ve aktivitesini etkiler.

Söğüt (2004)'e göre rizodegradasyon topraktaki kök bölgesinde köklerden bırakılan şeker, aminoasit, organik asit, yağ asitleri, sterol, büyüme etmenleri, nükleotid, *flavanon* ve enzimler, kök çevresinde mikrobiyal aktiviteleri etkiler. 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 (Vanlı 2007).



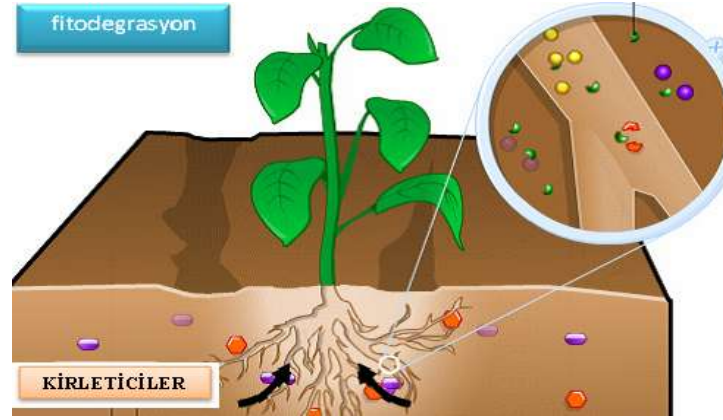
Şekil 4.23 Rizodegradasyon yöntemi (Anonymous 2000)

Rizodegradasyon yöntemi ile giderilen kirleticiler arasında, petrol artıkları, PAH (polisiklik aromatik hidrokarbonlar), BTEX(benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen), pestisitler, klorlu çözücüler, pentaklorofenol, poliklorlu bifeniller gibi kirletici bileşiklerine karşı uygulanabilir Rizodegradasyon amacıyla kullanılan bitkiler arasında ise, Kırmızı Dut ( *Morus rubra L.*), Nane ( *Mentha spicata*), Yonca ( *Medicago sativa*) ve Su kamışı( *Typha latifolia*) bitkileri sayılabilmektedir (Anonymous 2000).

#### 4.4.4 Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum)

Fitotransformasyon olarak da bilinen fitodegradasyon topraktaki organik kirleticilerin bitkiler tarafından alınarak bitki metabolizmasında bitkiler tarafından üretilen enzimlerle zehirli etkisi azaltılmış bileşiklere dönüştürülmesidir (Şekil 4.24). Bu oluşum esas olarak enzimatik reaksiyonlar vasıtasıyla gerçekleşir. Yöntemin başarısı organik bileşiklerin bitki bünyesine alınabilmesine, bu ise kirleticilerin toprakta eriyebilirliği, bitki tipi, kirlilik etmeninin toprakta kalma süresi veya eskiliği ile toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Toprakta hemen eriyebilen bileşiklerin bitki tarafından alınması zordur. Bu yöntemin ana mekanizması kirleticilerin bitki bünyesine alınması ve bitki metabolizmasında bozunmasıdır. Bu işlem genellikle kök bölgesi ile hatta en uç kök kısımları ile sınırlıdır (Anonymous 2000, Vanlı 2007). Hemen eriyebilen bileşiklerin bitki tarafından alınması zordur.





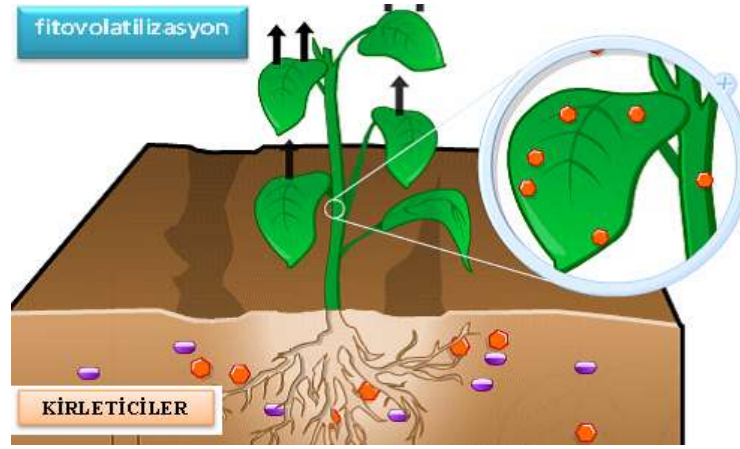
Şekil 4.24 Fitodegradasyon yöntemi (Vanlı 2007)

Fitodegradasyon, toprak, tortu (sediment), çamur ve yeraltı sularının arıtılmasında kullanılmaktadır. Fitodegradasyon, yüzey sularının iyileştirilmesinde de kullanılabilir. Fitodegradasyon yöntemiyle giderilebilen kirleticiler, klorlu bileşikler, pestisitler, askeri kimyasal maddeleri ve fenollerdir (Anonymous 2000)

Yöntemin en önemli avantajı indirgenme veya bozulmanın fizyolojik olaylar doğrultusunda bitki içinde olması ve mikroorganizmalara bağlı olmamasıdır. Pivetz (2001)'e göre yöntemin dezavantajı bozulma sırasında zehirli ara ve son ürünler oluşabilmesi ve bunların çok zor tespitidir. Örneğin kavak derin kökleri ile taban suyundaki azotu (nitrat) almakta, bitkide azot proteinlere veya azot içeren bileşiklerin yapısına girmekte ve bir kısmı da gaz olarak atmosfere bırakılmaktadır (Köseoğlu 2007).

#### 4.4.5 Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaştırma)

Fitovolatilizasyon yöntemi organik klorlu çözücüler ve Se, Hg ve As gibi inorganik kirleticiler ile kirlenmiş yeraltı suları başta olmak üzere toprak, sediment ve çamur alanlarında kirletici etmenlerin bitki bünyesine alınarak, yapısının atmosfere verilecek şekilde değiştirilmesi ve atmosfere verilmesidir (Şekil 4.25). Çok zehirli bileşiklerin (örneğin civalı bileşikler) daha az zehirli formlara dönüşmesi yöntemin avantajı iken daha az zehirlide olsa zehirli materyallerin atmosfere bırakılması dezavantajdır (Anonymous 2000).

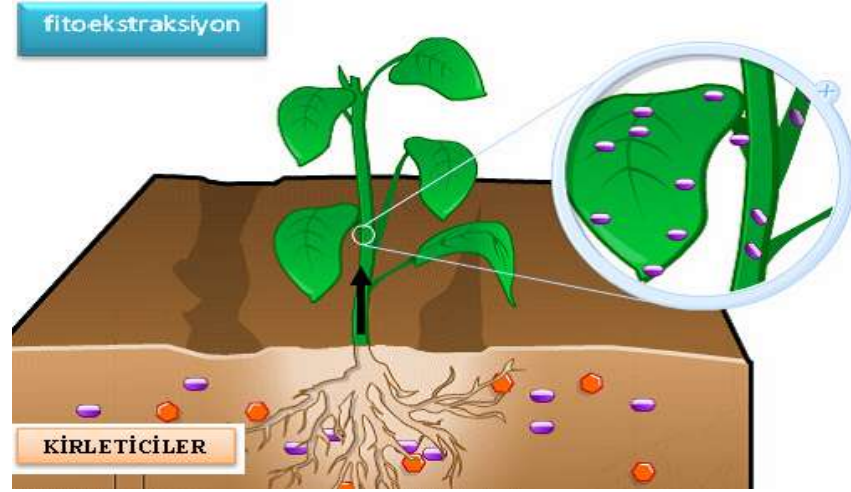


Şekil 4.25 Fitovolatilizasyon yöntemi (Vanlı 2007)

Yöntemde kök derinliği önemli olduğu için yer altı suları söz konusu ise, bitki köklerinin derin olması gerekir. Kirliliği yer altı suları pompalarla yüzeye çıkarılarak suyun daha sıkı bitki köklerine alınması da sağlanabilir (Vanlı 2007). Bu amaçla kullanılan bitkilerden hindistan hardalı ve kanola ile Se elementi giderilmiş ve selenat halindeki selenyum daha az toksik olan dimetil selenit gazına dönüştürülerek atmosfere salınmıştır (Anonymous 2000).

#### 4.4.6 Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme)

Ağır metallerin ve metalloidlerin (metal + kısaç organik bileşiği) bitki kökleriyle alımı ve sonrasında ağır metalleri bitkinin toprak üstü (gövde, dal ve yapraklar gibi) aksamına taşınımı ile giderilmesi yöntemidir (Şekil 4.26). Bitkilerin metalleri topraktan daha kolay alabilmesi için toprağa EDTA (Etilen Diamin Tetra Asetik Asit) gibi kısaçlayıcı ya da hızlandırıcı maddeler (şelatlayıcılar) ilave edilebilir (Arlı 2006). Yöntemin en önemli avantajı kullanılan bitkilerin diğer bitkilere göre bünyelerinde 100 kata kadar daha fazla kirlilik etmeni biriktirebilir olmaları ve bunları biçilen ya da budanan kısımlarında biriktirmeleridir.



Şekil 4.26 Fitoekstraksiyon sürecinin şematik gösterimi (Vanlı 2007)

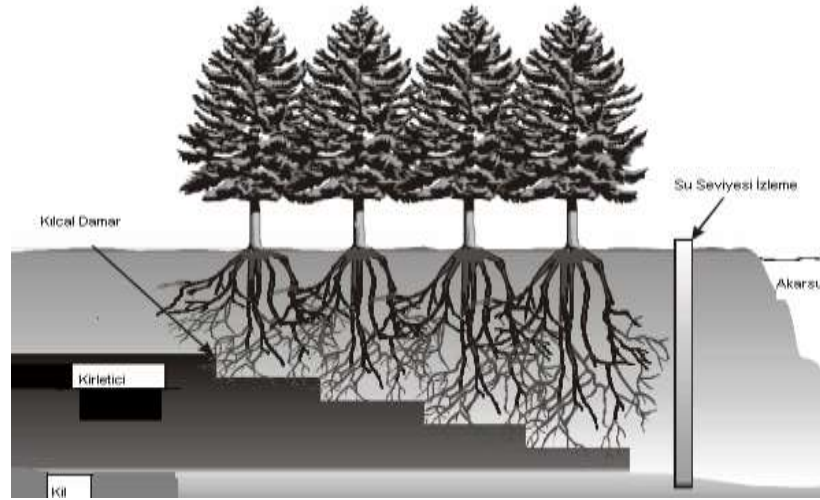
Fitoekstraksiyon yönteminde bitkinin hasat edilen kısımları; kurutularak, yakılıp kül haline getirilerek, kompost haline getirilerek ya da gübre olarak kullanılabilirdiği gibi, içindeki ağır metaller yeniden elde edilerek değerlendirilebilir. İçindeki ağır metallerin yeniden elde edilmesine biyo-madencilik denilmektedir. ABD’de bu yolla işlenerek çıkarılması ekonomik olmayan altın ve nikel gibi elementler geri kazanılmaktadır (Anonymous 2000, Köseoğlu 2007, Vanlı 2007). Bu yöntem için uygun ve çoğu *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* ve *Scrophulariaceae* familyalarından olmak üzere bünyesinde ağır metal biriktirebilen 400 kadar tür saptanmıştır (Anonymous 2000, Köseoğlu 2007).

Fitoekstraksiyon, yöntemi metalleri ve radyonükleitleri insan ve çevre sağlığı için kirleticinin en tehlikesiz kimyasal formlarına dönüştürerek tutulmasını sağlamaktadır. Diğer geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, maliyeti oldukça düşük ve materyallerin elle işlenmesi oldukça sınırlı olup, bu işlemden sonra yetişecek bitki türleri içinde verimli bir ortam hazırlanmış olması yöntemin avantajlarıdır. Dezavantajları ise diğer yöntemlere göre daha fazla zaman alması ve çok yoğun kirleticinin bulunduğu yerlerde uygulanamamasıdır. Ayrıca bölgenin ekosisteminde bulunan bir bitki türü seçilmelidir. Kullanılacak bitkiler hasat edileceğinden mevsimlik olmamalıdır (Eke 2010).

## 4.5 Bitkisel Arıtım Teknolojisinin Temel Uygulama Alanları

### 4.5.1 Hidrolik kontrol

Hidrolik kontrol kavak gibi geniş bir kök sistemine sahip ve yeraltı suyunun önemli bir kısmını topraktan alma yeteneğine sahip bitkiler kullanılarak yeraltı sularındaki kirlilik etmenlerinin birikmesinin kontrol altına alınması ve başka yerlere taşınmasının engellenmesi yöntemidir (Şekil 4.27). Yeraltı ve yüzey sularına uygulanabilen bu yöntemde fitoremediasyon kategorilerinin birden fazlası bir arada uygulanabilmektedir (Anonymous 2000).



Şekil 4.27 Hidrolik kontrol yöntemi (Vanlı 2007)

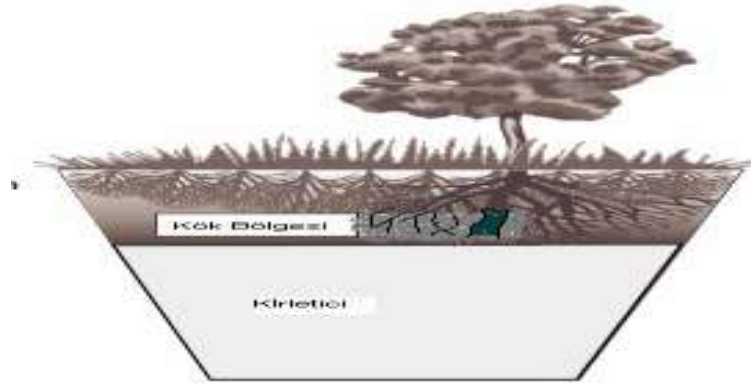
Yöntemin en önemli avantajı herhangi bir yapay sistem kurulmasına gerek olmadan köklerin pompalardan daha fazla alana yayılması nedeniyle ıslah etki alanını genişletirken, dezavantajı ise mevsim ve iklime bağlı olarak bitkinin su alımının değişmesidir. Ancak yaprak döken ağaçlar kış boyunca istenilen görevi yapamazlar (Anonymous 2000)

Yer altı suyunun ıslahı için derin köklü bitki türleri kullanılmalıdır. Gaz ve dizel kirliliğine karşı kavak türleri bir engel görevi yapar. Söğüt ve okaliptüs türleri de bu amaçlarla kullanılmaktadır. Beş yaşındaki bir kavak ağacının günde 100-200 litre su

alması, tek bir söğüt ağacının terleme miktarının bir günde 20 m<sup>3</sup> suya eşdeğer olması bu bitkilerin su kullanma yeteneklerini ve bu amaçla kullanımlarının önemini vurgulamaktadır (Anonymous 2000).

#### 4.5.2 Vejetatif örtü sistemleri

Çevresel risk taşıyan materyallerin içinde veya üzerinde kendiliğinden yetişip, minimum bakım gerektiren, kendi kendini yenileyen, uzun ömürlü bir sistem olup, kirlenmiş yüzey toprağı veya çamur olan yerlerde, belirli kirlilikleri yayan ünitelerin etrafında ve kirli birikintilerin olduğu yerlerde kurulabilmektedir (Şekil 4.28). Sistemin en önemli dezavantajı bitki türlerinden bazıları zaman içinde diğerine daha baskın hale gelebileceği için uygun bitki örtüsünü garantiye almak için uzun süreli bir bakım ve kontrolün sağlanması gereğidir.



Şekil 4.28 Vejetatif örtü yöntemi(Vanlı 2007)

Vejetatif iki tip örtü sistemi olup, topraktan buharlaşarak su kaybını engelleyici veya ıslah edici şeklindedir. Birinci tip bitki toprağın su kaybını minimize ederken, su tutma yeteneğini de maksimize etmekte ve böylece kirlenmiş toprakların yıkanma formasyonuna indirgenemez veya hareket edemez konumda kalmaktadırlar. İkinci tip olan yeşil ıslah da ise bitki bir örtü olarak suyun süzülmesini minimize etmekte ve alt tabakadaki kirliliğın bozulması amaçlanır. Mekanizmada su alımı, kök çevresi mikrobiyolojisi ve bitki metabolizması faktörleri ile olmakta, sistemde hidrolik kontrol dâhil farklı yeşil ıslah (fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, rizodegrasyon gibi) kategorileri yer alabilmektedir. Vejetatif örtü sürekli yenileyen yüzey erozyonunu minimize eden ve

bakım istekleri az olan bir ekosistem olarak uygulamalarda genellikle kirliliğin dağılmasını engelleyecek bariyerler şeklinde oluşturulmaktadır. Düşük maliyetle kurulabileceği için ABD’de katı atık depolama alanlarının örtülenmesin de alternatif olarak geliştirilmesi düşünülmektedir. Vejetatif örtü olarak kavak ağaçları ve çim bitkisi kullanılmaktadır (Vanlı 2007).

#### **4.5.3 Akarsu kenarı vejetasyon örtüsü**

Bu yeşil örtü sistemi yeşil ıslahın diğer kategorileri ile birlikte kirliliğin ıslahı, çevreye yayılmaması, taban suyuna karışmaması gibi görevlerle kirliliğe neden olan bir su kaynağı veya akarsu kenarında kurulur. Sistem bir taraftan erozyonu kontrol edip, sedimenti azaltırken suda eriyebilen kirleticileri de kolaylıkla bertaraf eder. Bu yöntemle en çok gübreler ve pestisitlerin giderilmesi konuları incelenmiştir. Kavaklar bu amaçla en sık kullanılan bitkiler arasındadır (Anonymous 2000).

Gabor vd. (2001)’ne göre Kanada’da yapılan çalışmalarla toprak erozyonunun % 90, herbisit akışının % 42-70 oranlarında azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca sistemle sudaki sediment % 71-91, azot % 67-96, fosfor % 27-97, pestisitler % 8-100 ve fekal koliformlar % 70-74 oranlarında azalabilmektedir (Köseoğlu 2007).

#### **4.6 Bitkisel Arıtımın Avantajları ve Dezavantajları**

Toprak kirliliğinin bertarafın da bu güne kadar kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlere göre daha yolun çok başında ve yeni bir teknoloji olan fitoremediasyon birçok avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Avantajları;

- En önemli avantajı ekonomik olmasıdır. Diğer yöntemlerle fitoremediasyonun arıtım maliyeti (\$/ton) karşılaştırdığımızda; fitoremediasyon için 10-35, Biyoremediasyon (*in situ*) için 50-150, Toprak Yıkama için 80-200, Solidifikasyon/Stabilizasyon için 240-340, Çözücü Ekstraksiyonu için 360-440, Yakma için 200-1500 para gereklidir (Eke 2010).

- Bölgenin tekrar kullanılmasında yeni bir bitki topluluğu oluşturulmasını gerektirmez.
- Toplum tarafından daha yüksek bir kabul edilme ihtimaline sahiptir
- Geleneksel metotlara nazaran daha estetik görünüm ve memnun ediciliğe sahiptir
- Bertaraf alanlarına gerek yoktur Kirleticiler doğal ortamlarında arıtılırlar.
- Tehlikeli maddelerin temizlenmesinde geniş ölçüde kullanım potansiyeline sahiptir (Macek vd. 2010).

Zararları;

- Bitkilerin büyüme ve gelişme şartlarına (iklim, jeoloji, rakım ve sıcaklık) bağlıdır (Macek vd. 2010).
- Yöntemin başarısı bitkinin kirleticiye olan toleransına bağlıdır.
- Yapraklar ile toplanan kirlilikler yaprakların düşmesi ile beraber tekrar çevreye yayılabilir (Macek vd. 2010).
- Kirleticiler yakıt olarak kullanılan (kereste) bitki dokularında toplanmış olabilir.
- Diğer teknolojilere göre giderim daha uzun zaman alabilir.
- Kirletici çözünürlüğü ve yıkanma olasılığı artabilir (Macek vd.2010).
- Bitki ile giderim işlemi sonrasında bitki atıklarının değerlendirilmesi problem yaratabilir (Türkoğlu 2006)

#### **4.7 Bitkisel Arıtım Teknolojisinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri**

Pek çok ağaç türü kötü şartlara karşı toleranslarının yüksek olması nedeniyle kayalık, çorak, besin yönünden yetersiz olan kötü şartlara sahip topraklar üzerinde bile düşük maliyet ile büyüyüp yaşamlarını devam ettirebilmektedirler. Ayrıca ağaçların bazı çeşitleri sürekli budanarak hasat edilebilen ve akabinde kesilen yerlerinden hemen sürgün verebilen oldukları hem de toprağın metrelerce derinliklerine kadar inebilen, masif kök yapısına sahip bitkiler oldukları için bu yönleriyle ağır metallerin odunsu yapısına bağlanması durumunda, kirleticilerin düzenli olarak yok edilmesi açısından yararlıdır.

Kirli toprakların temizlenmesinde uygulanacak fitoremediasyon yönteminde kullanılacak en uygun bitki, aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

- Kirli topraklarda ağır metal oranı yüksek olduğu için bitkinin bu yüksek oranı tolere edebilecek özelliğe sahip olması bu topraklarda yaşayabilmesi,
- Mümkün olduğu kadar yüksek oranlarda topraktaki kirliliği bünyesine alarak hasat edilebilen kısımlarında toplayabilme özelliğine sahip olması,
- Topraktaki kirliliğin gerek yeraltı suları gerekse rüzgar erozyonu nedeniyle etrafa yayılmaması için bitkinin en kısa sürede ortama uyum sağlayıp, hızlı bir büyüme yeteneğine sahip olması,
- Kirli toprakta yetişecek bitkinin kısa sürede çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeline sahip olması,
- Kirleticileri buldukları ortamdan alabilmesi için güçlü ve zengin bir kök sistemine sahip olması (Köseoğlu 2007).

Biyobirikim yüzünden bitkilerin metalleri konsantre etme kapasiteleri, bitkilerin besin olarak tüketilmesi yüzünden ve beslenme yolu ile insanlara geçip ciddi sağlık problemlerine neden olacağı için istenmeyen bir özelliktir. Ancak fitoremediasyonda metal alımı hiperbiriktirici denilen ve normal bitkilere göre  $10\pm 500$  kez daha yüksek düzeyde element toplayabilen doğal olarak ortaya çıkan bitkiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Ancak bu bitkilerin pek çoğu fazla büyük değildir, yavaş büyürler ve biyo kütle oluşumu diğer bitkilere göre bir iki kat daha düşüktür (Köseoğlu 2007). Toprak kirliliğinin iyileştirilmesinde kullanılan bazı bitki türleri ile bünyelerinde biriktirebildikleri metal miktarları çizelge 4.2'de gösterilmektedir.



Çizelge 4.2 Toprak kirliliğinin iyileştirilmesinde kullanılan bazı bitki türleri ile bünyelerinde biriktirebildikleri metal miktarları (Köseoğlu,2007)

<b>Element</b>	<b>Bitki Türleri</b>	<b>Toprak altı biomass konsantrasyonları (Mgha-1)</b>	<b>Tek yıllık bitkilerin toprak üstü biomassı (Mgha-1)</b>
Cd, Cr	<i>Thlaspi caerulescens</i>	3000	<b>4</b>
Co	<i>Haumaniastrum robertii</i>	10200	<b>4</b>
Cu	<i>Haumaniastrum katangense</i>	8356	<b>5</b>
Pb	<i>Thlaspi ratundifolium</i> subsp.	8200	<b>4</b>
Mn	<i>Macadamia neurophylla</i>	55000	<b>30</b>
Ni	<i>Alyssum bertolonii</i>	13400	<b>9</b>
Ni	<i>Berkheya coddii</i>	17000	<b>18</b>
Se	<i>Astragalus pattersoni</i>	6000	<b>5</b>
Tl	<i>Iberis intermedia</i>	3070	<b>8</b>
U	<i>Atriplex confertifolia</i>	100	<b>10</b>
F	<i>Thlaspi calaminare</i>	10000	<b>4</b>

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Toprak ikamesi mümkün olmayan, oluşması için binlerce yıl gerektiren sınırlı bir kaynaktır. Aynı zamanda tüm canlılar için bir mekandır. Tarih boyunca medeniyetlerin gelişmişlikleri, toprak-insan etkileşiminden etkilenmiş ve en büyük medeniyetler toprağın verimli olduğu sulak bölgelerde doğmuştur. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, büyük medeniyetlerin tarih sahnesinden silinme nedeni dış düşmanlar değil su ve toprak kaynaklarının aşırı sömürülmesidir. Bu medeniyetlere en güzel örnek Maya ve Sümerlilerdir. Maya Uygarlığının sonu ormanların yok edilmesiyle erozyona bağlı verim azalması, Sümerlilerinki, ise fazla ürün almak için toprakların aşırı sulanması sonucunda oluşan tuzluluktur.

Toprak her ne kadar kendi kendini yenileyen bir kaynak olsa da son yıllarda insan aktiviteleri sonucunda oluşan kirliliği tolere etme kapasitesini aşmıştır. Toprak kirliliği hava ve su kirliliğine benzemez. Çünkü toprağın temizlenip eski haline döndürülmesi çoğu kez mümkün değildir.

Buna rağmen toprak kaynaklarının maruz kaldığı bazı olumsuz unsurlar aşağıda maddelenmiştir.

- Hızlı kentleşmeye paralel olarak tarım arazileri konut ve sanayinin yer ihtiyacına feda edilmektedir.
- Kentlerin en büyük sorunu ulaşım olup, o da en büyük hava kirliliği kaynağıdır.
- Hava kirliliği sonucunda SO<sub>x</sub> ve No<sub>x</sub> gazları asit yağmurları olarak toprağa oradan da ağır metallerin çözünerek yer altı sularına geçip yer üstü sularını kirletmektedir.
- Büyüyen kentlerin beraberinde evsel, kanalizasyon, atıkları kendileri ile birlikte büyümekte ve toprakların en önemli kirleticilerini oluşturmaktadır.
- Toprakların birincil kirleticileri ağır metaller olup her geçen gün bu kirleticiler insan aktiviteleri sonucunda daha fazla artmaktadır.
- Ağır metallerin bu kadar tehlikeli olmasının nedeni bozulmaz ve yok edilemez olmasıdır.

- Ağır metallerin biyobirikim özelliği olup, bitki ve hayvan metabolizmasının da birikerek besin zincirinde silsile yoluyla artarak etçilleri tehdit etmektedir
- Geniş alanlara yayılan toprak kirliliğini önleme de mevcut sistemler kafi gelmediğinden ileri teknoloji, kalifiye eleman, yüksek enerji yüksek maliyet gerektirmektedir.

#### Buna karşılık fitoremediasyon yöntemi

- Ağır metal ve kirleticilerinin giderimi olan fitoremediasyon geleneksel yöntemler göre hem daha ucuz hem daha ekolojiktir.
- Kirli toprakların yerinden kazılarak başka bir yerde temizlenmesini gerektirmez.
- Gelişmeye ilerlemeye açık bir yöntemdir. Kullanılan bir çok farklı teknoloji ve bitki türünün bulunması, bu teknolojinin imkanını arttırmaktadır.
- Doğal kaynaklara ve özellikle toprağın biyolojik yapısına zarar vermez.
- Yetiştirilen bitkiler su erozyonunu azaltarak toprak kaybını önler.
- Estetik görünümlüdür. Kamuoyu tarafından yüksek kabul görür.

#### Bu avantajlarının yanında;

- Su, toprak ve sedimentte sadece sığ bölgelerde arıtıma olanak verir.
- Mekanik arıtmadan daha yavaştır.
- Ayrıca toprak ve iklim koşullarından etkilendiği için her ortamda uygulanmaz.
- Yöntem boyunca toksik maddelerin bitki bünyesindeki değişimini izlemek oldukça zordur.
- Çok yüksek miktarlarda kirlenmiş alanlarda bitkiler kısa sürede etkinliğini gösteremez.
- Ancak düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda kullanılır sistemin etkinliği kök derinlikleri ve iklim değişikliği ile sınırlıdır.

Peyzaj mimarlığı çalışmalarında toprak, hava ve su kirliliğinin önlenmesi ya da mücadelesinde fitoremediasyon etkin bir yöntem olarak kullanılabilir. Bu amaçla biyolojik iyileştirme özelliği olan bitki türlerinin seçimi hem uygulama hem de bakım maliyetlerini düşürürken; peyzaj ekolojisi boyutunda sürdürülebilir uygulamalar gerçekleştirilmede yardımcı olacaktır. Peyzaj mimarlığı kapsamında fitoremediasyonun kullanılabileceği bazı çalışma alanları aşağıda listelenmiştir:

- Kent içi araç trafiğinin neden olduğu toprak kirliliğini azaltmak/önlemek amacıyla orta refüj düzenlemelerinde trafik ve ısınma kaynaklı ağır metal kirliliğini önleyici bitkilerin seçilmesi,
- Yeşil alanlara ulaşımın kısıtlı ve yetersiz olduğu kentlerde hava kirliliğinin önlenmesi için uygun yol kenarlarında çatılarında ve cephelerinde dikey ve çatı bahçelerinin oluşturulması için fitoremediasyona uygun bitkilerin seçimi,
- Gerek kentsel gerekse kırsal alanlarda peyzaj onarımı çalışmaları kapsamında toprak kalitesinin artırılması amacıyla; bölgenin bitki örtüsüne uygun, ortamdaki kirleticileri bertaraf edecek fitoremediasyon özelliği olan bitkilerin seçilmesi,
- Kentlerde endüstriyel kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması amacıyla yeşil kuşak çalışmalarında fitoremediasyon özelliği olan bitkilerin seçimi.
- Türkiye’de, birçok kentte yeşil alanlar büyük oranda estetik kaygılarla tasarlanmakta, ekolojik yaklaşımlar ve işlevsellik göz ardı edilmektedir. Özellikle büyük ölçekli kentsel yeşil alanlar hem doğal çevrelerden bağlantısı kopuk hem de büyük finansal kaynaklar aktarılarak yapılmaktadır. Oysaki, fitoremediasyon konusunun peyzaj uygulama çalışmalarında benimsenmesiyle mevcut kirleticileri bertaraf gücüne bakılıp, bitki seçimi yapılabilir.
- Bununla birlikte mevcut kent parklarının bakım ve onarım çalışmalarında bilinçli gübre ve su kullanımı, kimyasal zirai mücadele ilaçları yerine biyolojik mücadelenin tercih edilmesi bakım maliyetini azaltabileceği gibi toprağa verilen kirletici miktarlarını da azaltabilir.
- Son olarak ulusal ölçekte, mekansal strateji planları (ülke fiziki plan, bölge planları, alt bölge planları, çevre düzeni planları), imar planları (nazım, uygulama) alan kullanım kararları alınırken mevcut ve olabilecek kirlilikleri önlemenin de değerlendirilmesi gerekmekte, bu kapsamda tüm planlama ve tasarım meslek disiplinlerine önemli sorumluluklar düşmektedir. Ulusal ölçekte, mekansal strateji planları (ülke fiziki plan, bölge planları, alt bölge planları, çevre düzeni planları), imar planları (nazım, uygulama) alan kullanım kararları alınırken mevcut

ve olabilecek kirlilikleri önlemenin de değerlendirilmesi gerekmekte, bu kapsamda tüm planlama ve tasarım meslek disiplinlerine önemli sorumluluklar düşmektedir

Bununla birlikte fitoremediasyon çalışmaları peyzaj mimarlığında yeşil altyapı kavramı çerçevesinde de ele alınabilir. Yeşil altyapı, korunum ve gelişim için bir çerçeve yapı sağlayan yeni gelişen planlama ve tasarım kavramıdır.

- Yeşil altyapı, toplumlara, doğa ve insanların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde alanın kullanımını en iyi koşullara getirecek şekilde gelişimini planlama olanağı tanır.
- Yeşil altyapı kentsel yapıyı şekillendirebilir, yeşil alanlar ile var olan altyapı ile birleştirip tamamlayarak melez hidrolojik drenaj ağı ile yapılandırılabilir, bunun için fitoremediasyon yönteminin temel uygulama alanlarından faydalanılabilir.
- Bir planlama ve tasarım kavramı olarak yeşil altyapının ilkelerini takip ederek, fitoremediasyon, geleceğe yönelik gelişimin çerçeve yapısını oluşturan temel ve tamamlayıcı unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır.
- Fitoremediasyon ağı yeşil altyapının temelidir. Harabe alanları komşu muhitlere (yeniden) bağlamak için çerçeve yapıyı oluşturmaktadır.

Sonuç olarak; bitkiler kullanılarak kirleticilerin giderildiği fitoremediasyon yöntemi hem ekonomik hem ekolojik bir yöntemdir. Avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Yeni bir alan olmakla beraber büyük potansiyele sahip bir imkandır. Ayrıca fitoremediasyon daha ileri aşamalarda tarım (gübreleme, toprak kimyası ve mikrobiyolojisi, toprak fiziği, bitki ıslahı vb.), botanik ve çevre bilimlerini birleştiren çok önemli bir disiplinler arası potansiyele de sahip olduğu düşünülmektedir. Yeşil altyapı kapsamında ele alınabilecek bir uygulama alanı olan fitoremediasyonun peyzaj mimarlığı çalışmalarında etkin kullanımı açısından uygulamalı çalışmalara ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

Asan, A. 1993. Toprak Oluşumunda Biyolojik Faktörler, Çevre Dergisi, Sayı:8, 1s.

Algan, F. T. ve Bilen, S.2005. Toprak Kirlenmesi ve Biyolojik Çevre, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1),83-88s.

Arlı, S. 2006. Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metallerin Bitkilerle Giderimi, Yüksek Lisan Tezi(basılmamış). Sakarya Üniversitesi, 20-25s., Sakarya.

Altıkat, A., Torun, F. ve Bayram, T. 2011. Küresel kirlilik: Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye’de hava kirliliği örneği, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı-2, 135 s

Anonim. 2012a Web Sitesi: [http://www.agri.ankara.edu.tr/soil\\_sciences/1250\\_ayten\\_CTS\\_dersnotu](http://www.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1250_ayten_CTS_dersnotu). Erişim Tarihi: 18.9.2013

Anonim. 2012b. Web Sitesi: [www.agri.ankara.edu.tr/soil\\_sciences/1248\\_akp\\_1.doc](http://www.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1248_akp_1.doc) Erişim Tarihi: 27.10.2013

Anonim 2013a Web Sitesi:  
[www.ctf.edu.tr/halk/Çevre%20Sağlığı%20Hava%20Kirlenmesi](http://www.ctf.edu.tr/halk/Çevre%20Sağlığı%20Hava%20Kirlenmesi).  
Erişim Tarihi: 18.9.2013

Anonim. 2013b. Web Sitesi: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Papatyagiller>  
Erişim Tarihi: 07.01.2014

Anonim 2013c. Web Sitesi: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Turpgiller>  
Erişim Tarihi: 07.01.2014

Anonim. 2013d. Web Sitesi: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Karanfilgiller>  
Erişim Tarihi: 07.01.2014

Anonim. 2013e. Web Sitesi: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Ball%C4%B1babagiller>  
Erişim Tarihi: 07.01.2014

Anonymous. (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

Anonymous. 2010. Web Sitesi:  
<http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1143&context=soilsp-roceedi> Erişim Tarihi: 15.01.2014

Anonymous. 2013a. Web Sitesi: [http://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi\\_caerulescens](http://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi_caerulescens)  
Erişim Tarihi: 07.01.2014

- Anonymous. 2013b. Web Sitesi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cyperaceae>  
Erişim Tarihi: 07.01.2014
- Anonymous. 2013c. Web Sitesi [http://species.wikimedia.org/wiki/Thlaspi\\_rotundifolium](http://species.wikimedia.org/wiki/Thlaspi_rotundifolium)  
Erişim Tarihi: 07.01.2014
- Anonymous. 2013d. Web Sitesi: [http://en.wikipedia.org/wiki/Holcus\\_lanatus](http://en.wikipedia.org/wiki/Holcus_lanatus)  
Erişim Tarihi: 07.01.2014
- Anonymous. 2013e. Web Sitesi: [http://en.wikipedia.org/wiki/Silene\\_vulgaris](http://en.wikipedia.org/wiki/Silene_vulgaris)  
Erişim Tarihi: 07.01.2014
- Anonymous. 2013f. Web Sitesi: [http://en.wikipedia.org/wiki/Stanleya\\_pinnata](http://en.wikipedia.org/wiki/Stanleya_pinnata)  
Erişim Tarihi: 07.01.2014
- Anonymous 2013g. Web Sitesi: <http://www.asla.org/2010awards/064.html>  
Erişim Tarihi: 15.01.2014
- Anonymous. 2014. Web Sitesi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fabaceae>  
Erişim Tarihi: 07.01.2014
- Bakar, C. ve Baba, A. 2009. Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu, 1. Tıbbi Jeoloji Çalışmayı, 1-20 s, Nevşehir
- Başcı, N.2009. Cr (VI) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Toprakta Gideriminin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi(basılmamış). Çukurova Üniversitesi, 1-26s., Adana.
- Çağlarırnak, N. ve Hepçimen, A. Z. 2010. Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi, Akademik Gıda 8 (2) 31-35 s.
- Çakır, M. ve Makineci, E. 2011. Toprak Faunası: Sınıflandırılması ve Besin Ağındaki Yeri, Journal of the Faculty of Forestry, İstanbul Üniversitesi61(2):139-152s., İstanbul.
- Dindar, E., Şağban, F.O. ve Başkaya, H. S. 2010. Kirlenmiş Toprakların Biyoremediasyon ile Islahı, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 2, 123-137s.
- Eke, M. 2010. Nikel Hiperakümülatörü Thlaspi Elegans Boiss'den Nikelin Asitle Ekstraksiyonu ve Elektrokimyasal Yolla Metal Olarak Geri Kazanımının Araştırılması, Mersin Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi(basılmamış), 25-27s., Mersin
- Güder, N., 2005.Çinko ile Kirlenmiş Toprakların Bitkisel Ekstraksiyon Yöntemile Biyolojik iyileştirilmesi, Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi(basılmamış),2-3s., Ankara.

- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. 1997. Toprak Kirliliği. TC Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, (40). 11-14 s., Ankara.
- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G. ve Timur, S. 2004. Metallerin Çevresel Etkileri- III. Metalurji Dergisi, 138, 64-71s.
- Güven, E. D. 2007. Ağır Metallerle Kirlenmiş Topraklar İçin Arıtım Yöntemleri, Katı Atık ve Çevre Sayı-68 26-36s.
- Hamutoğlu, R. 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi.235-253s.,
- Kalkan, H., Orman, Ş. ve Kaplan, M. 2011. Kirlenmiş Arazilerin Islah Edilmesinde Fitoremediasyon, Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 25 (4), 102-107s.
- Karaca, A. ve Turgay, O. C. 2012. Toprak Kirliliği, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 17-23 s.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. 2003. Metallerin Çevresel Etkileri- I. Metalurji Dergisi, 136, 47-53s.
- Kartal, G., Kahvecioğlu, Ö., Güven, A. ve Timur, S. 2004. Metallerin Çevresel Etkileri- II. Metalurji Dergisi, 137, 46-51s.
- Khan, F.I., Husain, T. And Hejazi, R. 2004. An overview and analysis of site remediation Technologies, Journal of Environmental Management 71,95-122s.
- Kocaer, F. O. ve Başkaya, H. S. 2003 Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1,121-130s.
- Köseoğlu, C. 2007. Atık Çamurun İyileştirilebilmesi İçin Bitkisel Arıtım'ın (Fitoremediasyon) Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisan Tezi(basılmamış). Çukurova Üniversitesi, 1-26s., Adana
- Kösesakal, T. 2011.Organik Kirliticilerin Bitkilerle Temizlenmesi: Alınma ve Parçalanma Mekanizmaları, Marama Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 23(3), 123-139s.
- Macek, T., Mackova, M. and Kas, J.2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation, Biotechnology Advances 18,pp: 23-24
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M. ve Pehlivan, M. 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri, Alinteri 17(B) 14-26 s.
- Özay, C. ve Mammadov, R. 2013. Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt 15(1) 67-76 s. Denizli
- Özbek, A.K. ve Öztaş, T. 2004. Tarım Arazilerinin Amaç Dışı Kullanımı: Erzurum Örneği, Ekoloji No:52 1-6 s. Erzurum



- Ponting, C. 2000. Dünyanın Yeşil Tarihi. Sabancı Üniversitesi, İstanbul.
- Pulford, I.D. and Watson, C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees, *Environment International* 29, pp:529-540
- Söğüt, Z. 2005. Kentiçi Yeşil Yollar Ve Adana Örneği, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **18**(1), 113-124
- Tecer, L. H. 2011. Hava Kirliliği ve Sağlığımız, *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, S.135,15-29s.
- Terzi, H. ve Yıldız, M. 2011. Ağır Metaller ve Fitoremediasyon: Fizyolojik ve Moleküler Mekanizmalar, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1-12 s.
- Türkoğlu, B. 2006. Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı, Yüksek Lisans Tezi(basılmamış). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-75s., Adana.
- Vanlı, Ö. 2007. Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi(basılmamış). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-36 s., İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gülşen KAYBAL

Doğum Yeri : Keskin

Doğum Tarihi : 1966

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

### **Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

Lise :Kırıkkale 1983

Lisans :Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü 1989

Yüksek Lisans :Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı (Şubat 2010-Ocak 2014)

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl**

Kırıkkale Üniversitesi 1993-1996

Çevre Bakanlığı (Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü, İthalat Dairesi Başkanlığı, Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı) 1996-2003

Çevre ve Orman Bakanlığı (Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Eğitim Tanıtım ve Halkla İlişkiler Şubesi, Av ve Yaban Hayatı Dairesi Başkanlığı) 2003-2011

Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Av Turizmi Dairesi Başkanlığı) 2011-