

Çevre Biyoteknolojisi Temelinde Genetik Yapısı Değiştirilmiş (Transgenik) Bitkilerle Arıtım

Ash ÇOBAN¹, Fatma İter TÜRKDOĞAN², Göksel DEMİR^{1*}

¹Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul / Türkiye

Geliş Tarihi: 06/07/2010

Kabul Tarihi: 20/07/2010

ÖZET: Bitkiler çevresel kirliliği gidermede kullanılmakta ve bu yöntem bitkilerle iyileştirme (phytoremediation) olarak adlandırılmaktadır. Organik kirliliklerin toprak ve sudan gideriminde kullanılan bu yöntem genellikle yavaş gerçekleşmekte bu da toksik bileşiklerin bitkide birikerek zamanla bitkiden çevreye yayılmasına sebep olmaktadır. Bitkilerle arıtımın içerisinde yer alan ve genetiği değiştirilmiş bitkilerin kullanıldığı transgenik bitkilerle arıtımın bu soruna çözüm getireceği ve bitkilerle arıtımın daha geniş çapta ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

Bitkilerle arıtım öncelikli olarak topraktan ağır metal gideriminde kullanılmış sonrasında ise bitkilerle arıtımın klorlu solventler, poliaromatik hidrokarbonlar ve patlayıcılar gibi organik bileşiklerin gideriminde de kullanılabilmesi kanıtlanmıştır. Genetiği değiştirilmiş bitkiler olarak genellikle kavak ağacı, tütün, pirinç, kanola, domates, patates vb. bitkiler kullanılmaktadır. Transgenik bitkilerle arıtım tamamlandıktan sonra bu bitkilerin kontrolü çok iyi yapılmalıdır. Bu bitkilerin herhangi bir şekilde insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilerek besin zincirine dahil olması önlenmelidir. Gelecekte daha farklı genler bulunarak transgenik bitkilerle arıtımın daha da geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Bitkilerle İyileştirme (Phytoremediation), Transgenik Bitkiler, Organik Kirleticiler, Metaller*

Treatment with Transgenic Plants on the Basis of Environmental Biotechnology

ABSTRACT: Plants have been used in removal of environmental pollution and this method has been called as phytoremediation. This process which is used in removal of organic pollutants from soil and water generally takes place slowly. Therefore, toxic compounds accumulated in the plant have been released from plant to the environment over time. It is thought that taking part in phytoremediation treatment with transgenic plants, which is used genetically modified plants in, would have solution to this problem and this method would be used safety and widely.

Phytoremediation firstly used in removal of heavy metals from soil and then it was proved that this method could be used in removal of organic pollutants like chlorinated solvents, polyaromatic hydrocarbons and explosives. Generally plants like poplar tree, tobacco, rice, canola, tomato and potato have been used as transgenic plants. Harvested plants should be controlled very well after completing treatment with transgenic plants. It should be prevented to consume by humans and animals and so not to get involved in food chain. It is thought to be discovered more different genes and phytoremediation with transgenic plants would be developed further in future.

Key Words: *Phytoremediation, Transgenic Plants, Organic Pollutants, Metals*

1. GİRİŞ

Bitkiler çevresel kirliliği gidermede kullanılmakta ve bu yöntem bitkilerle iyileştirme (phytoremediation) olarak adlandırılmaktadır. Organik kirliliklerin ve metallerin toprak ve sudan gideriminde kullanılan bu yöntem genellikle yavaş gerçekleşmekte bu da toksik bileşiklerin bitkide birikerek zamanla bitkiden çevreye yayılmasına sebep olmaktadır. Bitkilerle arıtımın içerisinde yer alan ve genetiği değiştirilmiş bitkilerin kullanıldığı transgenik bitkilerle arıtımın bu soruna çözüm getireceği ve bitkilerle arıtımın daha geniş çapta ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Bitkilerle arıtımda ilk yatırım maliyeti düşük ve sistemin işletilmesi kolaydır. Ancak yukarıda da bahsedildiği

gibi kirliliğin giderim prosesi oldukça yavaş gerçekleşmekte bu da kirliliğin bitki dokusunda birikerek zamanla tekrar çevreye (toprak, su ve hava) verilmesine sebep olmaktadır. İşte bu noktada bitkinin kirliliği daha iyi parçalayabilmesi için genetiği değiştirilmiş bitkilerin kullanımı gündeme gelmiştir [1].

Transgenik (genetiği değiştirilmiş) bitkiler genellikle bakteri veya memeli canlılardan alınan genlerin bitkilere aktarılmasıyla elde edilmektedir [2, 3]. Ototrof olan bitkiler tarafından kirliliğin metabolize edilebilmesi tam olarak gerçekleştirilemediğinden heterotrof canlılar olan bakteri veya memelilerden alınan genler bitkilere transfer edilerek bitkilerin bu özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [1].

*Sorumlu Yazar:Demir, G., goksel.demir@bahcesehir.edu.tr

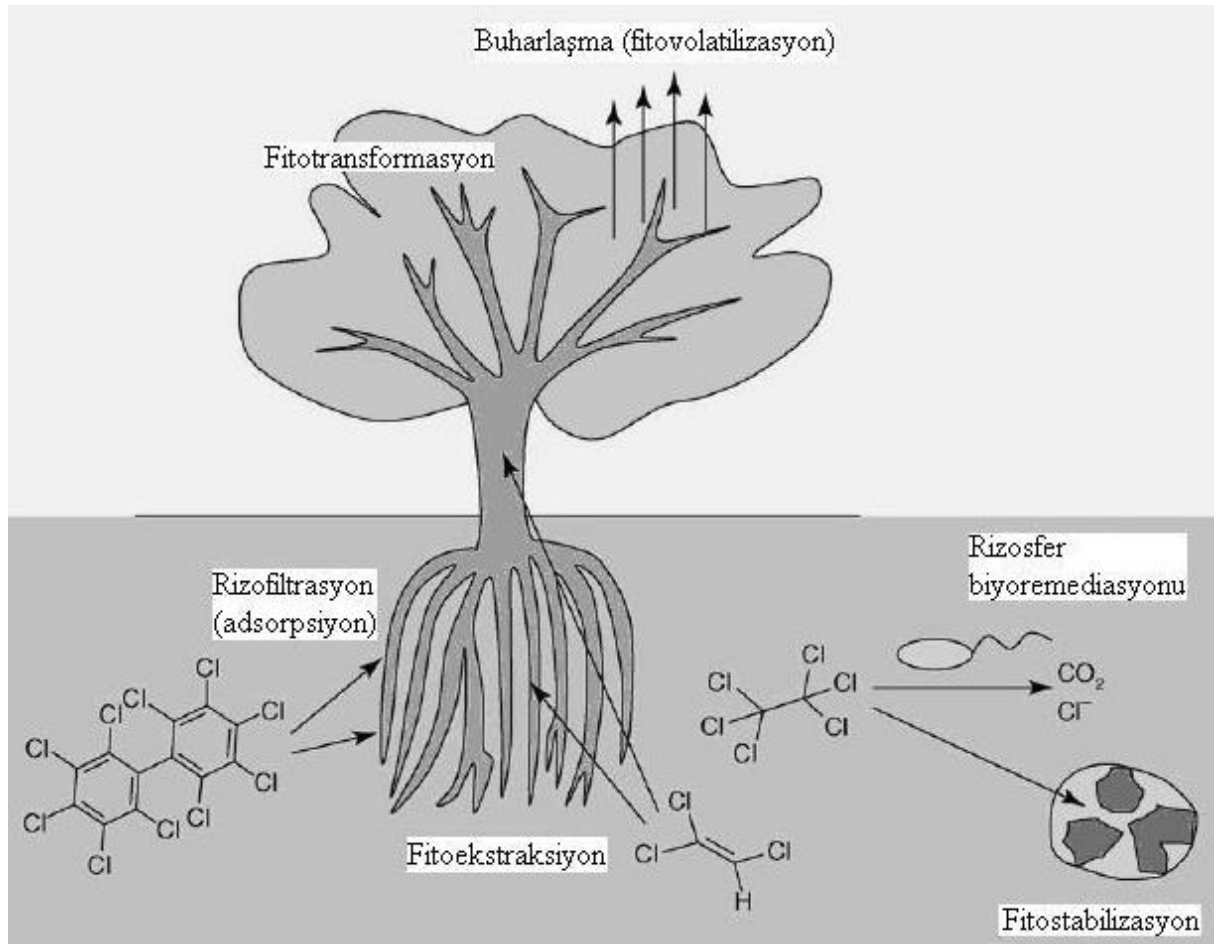
Özellikle bölgesel katı veya su kütlelerindeki taşınmaz kirliliklerin arıtılmasında yapılan birçok farklı araştırmanın güncelliğini sürdürdüğü ve önem kazandığı bu yüzyılda arıtım sonucu kirliliğin yeni bir formda birikmesi yani tamamen ortadan kalkmaması bir sorun olarak karşımızda durmaktadır. Bu anlamda biyolojik iyileştirmenin bir parçası olan bitkilerle arıtımın, hem yeni atık oluşumuna sebep olmamakla hem de taşınmaz kirliliklerin giderimini sağlamakla beraber ekonomik olarak da daha cazip olmasından dolayı giderek önem kazanacağı düşünülmektedir.

Bitkilerle arıtım ileri teknoloji gerektiren bir yöntem olduğundan bu yöntemin günümüz Türkiye'sinde uygulanması zor görünmektedir. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte gelecekte bu çalışmaların yapılabileceği dikkate alındığında bu eserin konu

hakkında genel bilgi edinilmesi hususunda önemli bir kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

2. BİTKİLERLE ARITIMIN MEKANİZMASI

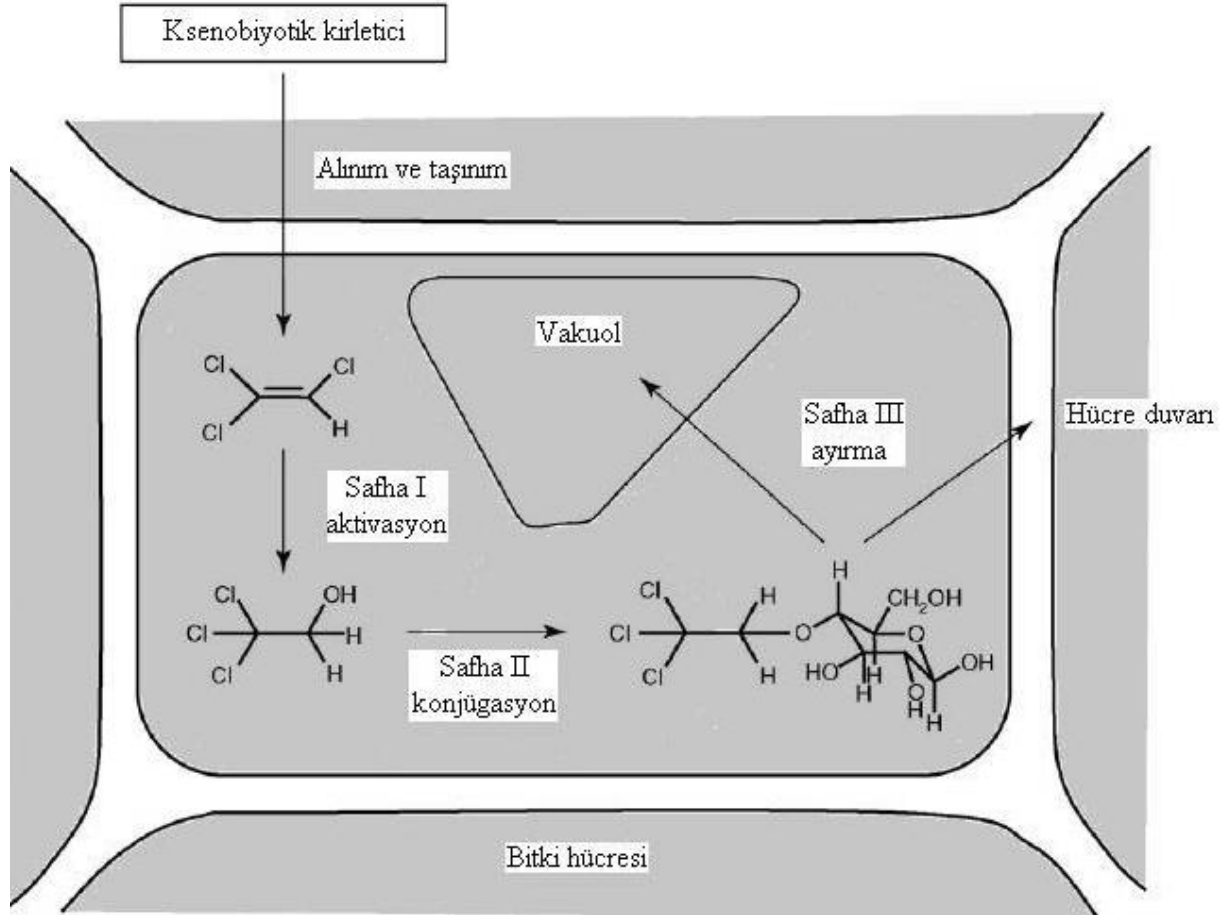
Bitkilerle arıtım aynı anda birçok mekanizmayı içermektedir. Şekil 1'de bu mekanizmalar (prosesler) görülmektedir [1, 4]. Toprak veya yeraltı suyundaki kirlilik bitki dokusunun içine alınabilir (fitoekstraksiyon) veya köklerde adsorbe olabilir (rizofiltrasyon). Bitki dokusu içindeki kirlilik bitkinin enzimleri tarafından dönüştürülebilir (fitotransformasyon) veya buharlaşarak atmosfere verilebilir (fitovolatilizasyon). Topraktaki kirlilikler kök bölgesindeki mikroorganizmalar tarafından parçalanabilir (rizosfer biyoremediasyonu) veya toprak yapısına katılabilir (fitostabilizasyon) [4].



Şekil 1. Bitkilerle arıtımın içerdiği prosesler [1, 4]

Transjenik bitkilerle iyileştirme proseslerinde temel olarak üç safha bulunmaktadır [1-3, 5-9]. Şekil 2'de klorlu bir hidrokarbon bileşiği olan trikloretilenin (TCE) transjenik bir bitki tarafından giderilmesi sırasında bitkide gelişen safhalar gösterilmektedir [1]. Şekilden de görüldüğü üzere TCE'nin bitki tarafından

metabolize edilmesinde üç faz (safha) bulunmaktadır (Phase I, II, III). Birinci fazda TCE trikloretanole okside edilerek aktive edilmektedir. İkinci fazda kirlilik bitki molekülüne bağlanmakta, üçüncü fazda ise hücre duvarı veya vakuole bağlanmış kirlilik ayrılmaktadır.



Şekil 2. TCE giderimindeki safhalar [1]

Transgenik bitkileri elde edebilmek için gerekli genler bakteri, mantar, hayvan veya başka bitkilerden izole edilerek bu genler aday bitkiye *Agrobacterium* yoluyla veya direkt DNA gen transferi metoduyla aktarılmaktadır [10-12]. *Agrobacterium* tütün ve soya fasülyesi gibi bitkilere gen transferi yapabilme kabiliyetine sahip doğal olarak bulunan bir bakteri çeşididir. Memeli canlılardan elde edilen sitokrom *P450* (*CYP*) adlı karaciğer enzimi transgenik bitkileri elde edebilmek için sıklıkla kullanılır. Bu enzim geniş aralıktaki kirlilik çeşitlerini okside edebilmesiyle bilinir. *P450 2E1* enzimine sahip tütün bitkisi etilendibromür alımını/giderimini arttırmakta ve TCE'nin metabolize edilebilmesini de 640 kat arttırmaktadır. Pirinç bitkisine *CYP1A1*, *CYP2B6* ve *CYP2C19* gibi *P450* genleri aktararak elde edilen transgenik bitkilerin birçok herbisiti giderebildiği gösterilmiştir. Benzen ve toluen gibi bileşiklerin gideriminde mantarların kullanıldığı

çalışmalar bulunmaktadır [13]. PCB (poliklorlu bifenil) gideriminde bir mantar türü olan *Coriolus versicolor*'dan alınan mangan (Mn) peroksidaz geni aktarılmış transgenik tütün bitkisi başarıyla kullanılmaktadır. TNT (trinitrotoluen) gideriminde *E.coli* geni aktarılmış transgenik *Arabidopsis thaliana* kullanılmaktadır. Transgenik tütün bitkileri GTN (gliseril trinitrat) ve TNT gibi patlayıcıların sebep olduğu kirliliklerin gideriminde de kullanılmaktadır [2].

İnsanlardan elde edilen sitokrom sınıfları transgenik bitki eldesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Çizelge 1'de sıkça kullanılan ve insanlardan elde edilen sitokrom sınıfları ve bunların temel fonksiyonları verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere bu sitokromların birçok fonksiyonu bulunmakta bu da bu sitokromların fazlaca kullanılmasını açıklamaktadır.

Çizelge 1. Transgenik bitki elde etmek üzere kullanılan ve insanlardan alınan sitokrom ailesi ve bunların temel fonksiyonları [5]

Sitokrom ailesi	Temel fonksiyonu
CYP1	Ksenobiyotik metabolizması
CYP2	Ksenobiyotik metabolizması Arakhidonik asit metabolizması
CYP3	Ksenobiyotik ve steroid metabolizması
CYP4	Yağ asiti hidrosilasyonu
CYP5	Tromoboksan sentezi
CYP7	Kolestrol 7 α -hidrosilasyonu
CYP8	Prostasilin sentezi
CYP11	Kolestrol kenar zinciri kırılması Steroid 11 β -hidrosilasyonu Aldosteron sentezi
CYP17	Steroid 17 α -hidrosilasyonu
CYP19	Androjen aromatisasyonu
CYP21	Steroid 21-hidrosilasyonu
CYP24	Steroid 24-hidrosilasyonu
CYP26	Retyonik asit hidrosilasyonu
CYP27	Steroid 27-hidrosilasyonu
CYP39	Bilinmiyor
CYP46	Kolestrol 24-hidrosilasyonu
CYP51	Sterol biyosentezi

3. TRANSGENİK BİTKİLERİN KULLANILDIĞI KİRLİLİK GİDERİM ÇALIŞMALARI

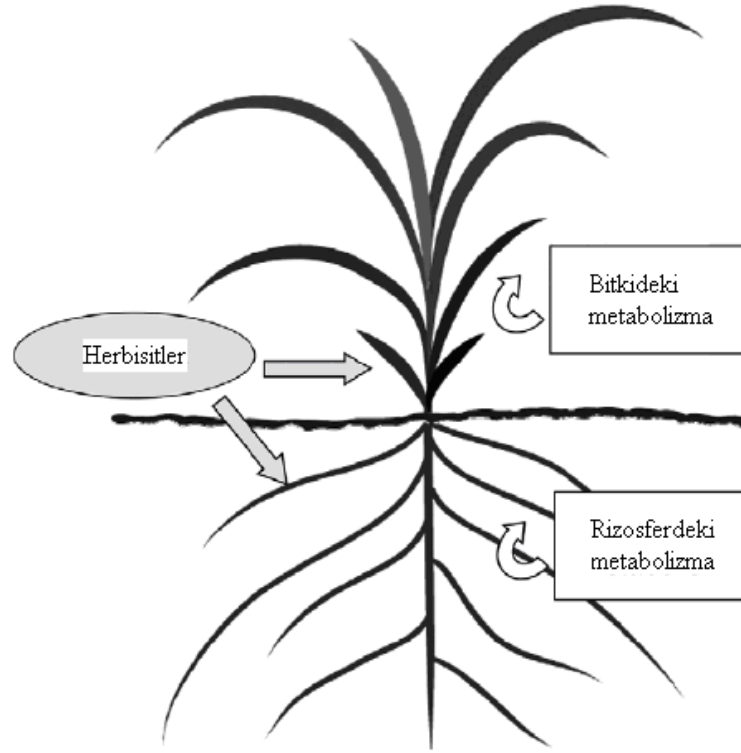
Transgenik bitkiler de dahil olmak üzere bitkilerle arıtım öncelikli olarak topraktan ağır metal gideriminde kullanılmış sonrasında ise bitkilerle arıtımın klorlu solventler, poliaromatik hidrokarbonlar ve patlayıcılar gibi organik bileşiklerin gideriminde de kullanılabileceği kanıtlanmıştır [1]. Yapılan literatür taramasına göre genellikle kavak ağacı, tütün, pirinç, kanola, domates, patates vb. bitkiler genetiği değiştirilmiş (transgenik) bitki olarak kullanılmaktadır.

Organik kirliliklerin gideriminde ilk olarak genetiği değiştirilmiş tütün bitkisi kullanılmıştır. Küçük boyutlarından dolayı laboratuvar ortamında çalışmaya en uygun bitki tütün olduğundan bu bitki tercih edilmiştir. Ancak bu bitkinin saha uygulamaları için çok uygun olmadığı görülmüştür. Saha uygulamalarında yüksek biyokütle ile hızlı büyüyen kavak ağacı kullanılmaktadır. Enzim nakledilerek genetiği

değiştirilen transgenik kavak ilk olarak herbisit gideriminde kullanılmıştır [1].

2000 yılında yapılan bir çalışmada insan sitokromu olan *P450* içeren transgenik tütün bitkisinin TCE'yi (trikloroetileni) başarılı bir şekilde metabolize ettiği gösterilmiştir. Aynı grup tarafından 2007 yılında yapılan bir başka çalışmada memeli sitokromu *P450 2E1* içeren transgenik kavak ağacının da TCE'yi hızlı bir şekilde metabolize ettiği gösterilmiştir [14, 15].

Tarımda kullanılan herbisitler ekonomik açıdan önemli pozitif etkiye sahip olmalarına karşın çevresel açıdan negatif etkiye sahiptirler. Noktasal olmayan bu kirlilik kaynağı sadece kullanıldığı bölgede değil bu bölgeye yakın bölgelerde de çevre açısından önemli tehdit oluşturmaktadır. Bitkilerle herbisit kirliliği giderimi konvansiyonel bitkilerle sıkça çalışılmıştır. Ancak transgenik bitkilerle bu gibi kalıcı kirliliklerin giderimi daha iyi yapılabilmektedir (Şekil 3). Memeli canlılardan elde edilen sitokrom *P450* enzimini içeren transgenik pirinç ve patates herbisit gideriminde etkili bir biçimde kullanılmıştır [3].



Şekil 3. Herbisitlerin gideriminde transgenik bitkilerin kullanımı [3]

Transgenik bitkiler TNT, RDX (trimetilen trinitriamin) ve GTN gibi patlayıcı bileşiklerle kirlenmiş toprak ve yeraltı suyunun rehabilitasyonunda da başarıyla kullanılmaktadır. *Escheria coli*, *Enterobacter* ve *Pseudomonas* bakteri çeşitlerinden elde edilen P450 ve nitroredüktaz enzimleri bitkiye aktararak bitkinin giderim kapasitesi artırılmaktadır. GTN, TNT ve RDX patlayıcılarının sebep olduğu kirliliğin gideriminde *Nicotania tabacum* (tütün), *Arabidopsis thaliana* ve *Populus tremula-Populus tremuloides* (iki tür titrek kavak ağacı birleşimi) gibi bitkiler kullanılmaktadır [9].

Transgenik ağaçlar TCE, vinil klorür, karbontetraklorür, kloroform ve benzen gibi beş çeşit uçucu toksik bileşiğin metabolize edilmesini sağlamaktadır. Organik kirliliklerin transgenik bitkilerde iyi bir şekilde metabolize edilebilmesi kirliliğin bitki tarafından hızlı alımı ve bitkinin yüksek konsantrasyon gradyanı ile açıklanabilir. Transgenik bitkiler uçucu bileşiklerin havadan gideriminde de etkilidir [1].

Vücuda alındığında zararlı olan ksenobiyotikler bitkiler tarafından parçalanabilse de tam olarak

mineralize edilememektedir. Çünkü bitkiler ototrofik canlılardır ve C, N ve enerji kaynağı olarak organik bileşiklere ihtiyaçları bulunmamaktadır. Bakteriler ise bitkilerden farklı olarak organik maddeyi (ksenobiyotikleri) karbon ve enerji kaynağı olarak kullandıklarından ksenobiyotikleri tam olarak mineralize edebilmektedir. Dolayısıyla bitkilere mikroorganizmalar ve ökaryotlardan alınan farklı genlerin aktarılmasıyla elde edilen transgenik bitkiler ksenobiyotikleri tam olarak mineralize ederek karbondioksit, nitrat, amonyak ve klor gibi bileşiklere dönüştürebilmektedir. Bitkilerle arıtılabilecek ksenobiyotik bileşikler arasında TCE, PCB, DDT (dikloro difenol trikloroetan), EDB (etilen dibromür), TNT, GTN, DNT (dinitrotoluen), RDX, PETN (pentaeritrol tetranitrat), PAH (polisilik aromatik hidrokarbon) ve deterjanlar sayılabilir. Kirliliğin bitki tarafından gideriminde bitkinin türü ve organik kirlilicinin fiziksel ve kimyasal özellikleri oldukça önemli parametrelerdir. Çizelge 2'de ksenobiyotik bileşikleri giderebilen bitkilere bazı örnekler verilmiştir [2].

Çizelge 2. Ksenobiyotikleri giderebilen bitkilere bazı örnekler [2]

Organik Kirletici	Bitki	Etki mekanizması
Benzotriazol	<i>Helianthus annuus</i>	Metabolizma
2,4-Diklorofenol	<i>Brassica napus</i>	İyileştirme (Remediasyon)
DDT	<i>Brassica juncea</i> , <i>Cichorium intybus</i>	Metabolizma
EDB	<i>Leuceana leucocephala</i>	Metabolizma
Gliserol trinitrat	<i>Beta vulgaris</i>	Metabolizma
PCB'ler	<i>Solanum nigrum</i>	İyileştirme (Remediasyon)
Fenol	<i>Brassica juncea</i> , <i>Raphanus sativus</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>Beta vulgaris</i>	İyileştirme (Remediasyon)
RDX	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Metabolizma
TCE	<i>Populus spp.</i>	Metabolizma
TNT	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Metabolizma

Kawahigashi ve arkadaşları [7] yaptıkları çalışmada transgenik pirinç bitkisi ile herbisit gideriminin fitotoksisite etkisini araştırmışlardır. Test tüplerinin çapı 2.5 cm, yüksekliği ise 15 cm'dir. Bitkiler 27 °C'de 7-14 gün 16 saat/gün ışık altında yetiştirilmiştir. Transgenik bitkiler sorunsuz gelişirken transgenik olmayan bitkilerin gelişme göstermediği tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak kirleticilerin transgenik bitki üzerinde toksik etki yapmadığı ifade edilmiştir.

Mısır bitkisinden elde edilen *GST I* geni aktararak elde edilen transgenik tütün bitkisinin herbisit giderimindeki etkisinin çalışıldığı bir çalışmada besiyerindeki herbisit konsantrasyonu 0.015 g/L olan bitkiler 20 gün boyunca yetiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar transgenik bitkilerin herbisitlerle kirlenmiş tarım arazilerinin yerinde arıtımı için kullanılmaya uygun olduğunu göstermiştir [6]. *GST* geni pamuk bitkisinden de elde edilebilmekte ve yine tütün bitkisine aktararak transgenik tütün bitkisi elde edilebilmektedir [16].

Wang ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışmada pestisitlerde yaygın olarak kullanılan organofosfor bileşiklerinin gideriminde bakteriden alınan organofosfor hidrolaz geni aktarılmış transgenik tütün bitkisini kullanmış ve bu zararlı bileşikler etkili bir şekilde giderebilmiştir.

Bitkilerle sadece organik kirlilikler değil metal kirliliği de giderilebilmektedir. Organik kirlilikler bitkiler tarafından tamamen mineralize edilirken metaller bitkinin yerin üzerinde kalan bölümünde birikerek ortamdaki uzaklaştırılmaktadır [18].

Stearns ve arkadaşları [19] yaptıkları çalışmada virüslerden elde edilen *35S* geni ve *Agrobacterium rhizogenes*'ten elde edilen *rolD* geni aktarılmış transgenik kanola bitkisi ile nikel (Ni) ile kirlenmiş toprağın temizlenmesini amaçlamışlardır. Kanola bitkisi ile yapılan üç haftalık çalışmanın sonucu oluşan bitki gelişimleri fotoğraflanmıştır. Fotoğraflara bakıldığında net olarak görülmüştür ki nikel kirliliği olmayan topraktaki transgenik veya transgenik olmayan bitki gelişimleri arasında belirgin

bir fark yoktur. Ancak nikel kirliliği olan saksılara bakıldığında transgenik olmayan bitkinin az gelişme gösterdiği, transgenik olan bitkilerden ise *rolD* geni aktarılanın daha iyi geliştiği görülmüştür [19]. *rolD* geni aktarılan bitkinin kök bölgesindeki aktivite artmakta ve yüksek metal alımı sağlanmaktadır [20].

Transgenik domatesin topraktan metal gideriminde kullanıldığı bir başka çalışmada bitkiler önce kesede (pouch) sonrasında ise saksıda (pot) yetiştirilmiştir. *35S*, *rolD* ve *PRB-1b* genleri kullanılarak üç tür transgenik bitki elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre *rolD* geni aktararak elde edilen transgenik bitkinin metal alımında en etkili bitki olduğu tespit edilmiştir [21].

İnsan sağlığı üzerindeki tehlikeli etkisi bilinen metil civa (MeHg) gibi bileşiklerin ve Hg(II) iyonunun gideriminde de transgenik tütün bitkisi başarıyla kullanılmaktadır. Transgenik tütün bitkisi ile kontrol bitkilerine göre daha iyi bir giderim yapılabilmektedir [18].

Yukarıda değerlendirmesi yapılan sonuçlara göre transgenik bitkiler toprak ve yeraltı suyundan transgenik olmayan bitkilerle giderimi zor olan birçok bileşiğin gideriminde etkili olarak kullanılabilir. Başka bir deyişle bitki, hayvan veya bakterilerden aktarılan genleri taşıyan transgenik bitkiler bitkilerle arıtımı önemli ölçüde geliştirmektedir [19]. Ancak arıtım tamamlandıktan sonra bu transgenik bitkilerin kontrolü çok iyi yapılmalıdır. Bu bitkilerin herhangi bir şekilde insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilerek besin zincirine dahil olması önlenmelidir. Etik sebeplerden dolayı insanlardan alınan genlerle yapılan çalışmaların sayısı azaltılmalıdır [2]. Gelecekte daha farklı genler bulunarak transgenik bitkilerle arıtımın daha da geliştirilebileceği söylenebilir.

4. SONUÇ

Metaller ve doğada bozunması zor organik bileşikler çevre ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle dikkatle izlenmesi ve arıtılması

gereken bileşiklerdir. Metallerin ve kararlı organik bileşiklerin arıtılması için kullanılan yöntemlerden birisi de bitkilerle arıtmadır. Bitkilerle arıtmada ilk yatırım maliyeti düşük ve sistemin işletilmesi kolaydır. Ancak kirliliğin giderim prosesi oldukça yavaş gerçekleşmekte bu da kirliliğin bitki dokusunda birikerek zamanla tekrar çevreye (toprak, su ve hava) verilmesine sebep olmaktadır. İşte bu noktada bitkinin kirliliği daha iyi parçalayabilmesi için genetiği değiştirilmiş bitkilerin kullanımı gündeme gelmiştir. Transgenik bitkiler toprak ve yeraltı suyundan transgenik olmayan bitkilerle giderimi zor olan birçok bileşiğin gideriminde etkili olarak kullanılabilir. Ancak arıtım tamamlandıktan sonra bu transgenik bitkilerin kontrolü çok iyi yapılmalıdır. Bu bitkilerin herhangi bir şekilde insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilerek besin zincirine dahil olması önlenmelidir. Gelecekte daha farklı genler bulunarak transgenik bitkilerle arıtım daha da geliştirilebilir.

Biyoteknolojinin ve özellikle çevre biyoteknolojisinin dünyada tüm araştırmacıların üzerinde önemle durduğu bir araştırma alanı olduğu bilinmekte ve bu alanda araştırmalara hızla devam edilmektedir. Bu çalışma ile yapılan literatür taraması sonucunda genetiği değiştirilmiş organizmalarla çevrede zor bozulan maddelerin arıtımı konusunda gerekli yatırım ve araştırmaların da hız kazanacağı ve odak noktası olacağı açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Çalışmanın geniş bir derleme olması sebebiyle bundan sonra bu bağlamda yapılacak olan çalışmalar için de önemli bir kaynak teşkil edeceği düşünülebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Van Aken B. 2008., Transgenic plants for phytoremediation: helping nature to clean up environmental pollution, *Trends in Biotechnology* 26, 225-227.
2. Eapen S., Singh S., D'Souza S.F. 2007., Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants, *Biotechnology Advances* 25, 442-451.
3. Kawahigashi H. 2009., Transgenic plants for phytoremediation of herbicides, *Current Opinion in Biotechnology* 20, 225-230.
4. Macek T., Kotrba P., Svatos A., Novakova M., Demnerova K., Mackova M. 2007., Novel roles for genetically modified plants in environmental protection, *Trends in Biotechnology* 26, 146-152.
5. Abhilash P.C., Jamil S., Singh N. 2009., Transgenic plants for enhanced biodegradation and phytoremediation of organic xenobiotics, *Biotechnology Advances* 27, 474-488.
6. Karavangeli M., Labrou N.E., Clonis Y.D., Tsafaris A. 2005., Development of transgenic tobacco plants overexpressing maize glutathione S-transferase I for chloroacetanilide herbicides phytoremediation, *Biomolecular Engineering* 22, 121-128.

7. Kawahigashi H., Hirose S., Ohkawa H., Ohkawa Y. 2007., Herbicide resistance of transgenic rice plants expressing human CYP1A1, *Biotechnology Advances* 25, 75-84.
8. Sylvestre M., Macek T., Mackova M. 2009., Transgenic plants to improve rhizoremediation of polychlorinated biphenyls (PCBs), *Current Opinion in Biotechnology* 20, 242-247.
9. Van Aken B. 2009., Transgenic plants for enhanced phytoremediation of toxic explosives, *Current Opinion in Biotechnology* 20, 231-236.
10. Babu R.M., Sajeena A., Seetharaman K., Reddy M.S. 2003., Advances in genetically engineered (transgenic) plants in pest management - an overview, *Crop Protection* 22, 1071-1086.
11. Kishimoto K., Nishizawa Y., Tabei Y., Hibi T., Nakajima M., Akutsu K. 2002., Detailed analysis of rice chitinase gene expression in transgenic cucumber plants showing different levels of disease resistance to gray mold (*Botrytis cinerea*), *Plant Science* 162, 655-662.
12. Sahrawat A.K., Becker D., Lütticke S., Lörz H. 2003., Genetic improvement of wheat via alien gene transfer, an assessment, *Plant Science* 165, 1147-1168.
13. Demir G. 2004., Degradation of toluene and benzene by *Trametes versicolor*, *Journal of Environmental Biology* 25, 19-25.
14. Doty, S.L., Shang T.Q., Wilson A.M., Tangen J., Westergreen A.D., Newman L.A., Strand S.E., Gordon M.P. 2000., Enhanced metabolism of halogenated hydrocarbons in transgenic plants containing mammalian cytochrome P450 2E1, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 97, 6287-6291.
15. Doty S.L., James C.A., Moore A.L., Vajzovic A., Singleton G.L., Ma C., Khan Z., Xin G., Kang J.W., Park J.Y., Meilan R., Strauss S.H., Wilkerson J., Farin F., Strand S.E. 2007., Enhanced phytoremediation of volatile environmental pollutants with transgenic trees, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 16816-16821.
16. Yu T., Li Y.S., Chen X.F., Hu J., Chang X., Zhu Y.G. 2003., Transgenic tobacco plants overexpressing cotton glutathione S-transferase (GST) show enhanced resistance to methyl viologen, *Journal of Plant Physiology* 160, 1305-1311.
17. Wang X., Wu N., Guo J., Chu X., Tian J., Yao B., Fan Y. 2008., Phytodegradation of organophosphorus compounds by transgenic plants expressing a bacterial organophosphorus hydrolase, *Biochemical and Biophysical Research Communications* 365, 453-458.
18. Meagher R.B. 2000., Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants, *Current Opinion in Plant Biology* 3, 153-162.
19. Stearns J.C., Shah S., Greenberg B.M., Dixon D.G., Glick B.R. 2005., Tolerance of transgenic canola expressing 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase to growth inhibition by nickel, *Plant Physiology and Biochemistry* 43, 701-708.

20. James C.A., Strand S.E. 2009., Phytoremediation of small organic contaminants using transgenic plants, *Current Opinion in Biotechnology* 20, 237–241.

21. Grichko V.P., Filby B., Glick B.R. 2000., Increased ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb, and Zn, *Journal of Biotechnology* 81, 45–53.