

Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların İyileştirilmesinde Fitoremediasyon Yöntemi: Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Uygunluğu

Mahmut Yıldıztekin^{1*}, Hatice Ulusoy²⁺ ve Atilla Levent Tuna³

¹Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Koyceğiz Meslek Yüksekokulu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

²Ormancılık Bölümü, Koyceğiz Meslek Yüksekokulu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

³Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

*Sorumlu Yazar: mahmutyildiztekin@mu.edu.tr

+Sunucu: haticeulusoy@mu.edu.tr

Sunum/Yayın Türü: Sözlü / Tam Makale

Özet –Ağır metal kirliliği dünya çapında ciddi boyutlara gelmiş bir sorundur. Günümüz endüstriyel toplumunda, toksik kimyasallara ve metallere maruz kalmaktan kaçınmanın bir yolu bulunmamaktadır. Çevrenin önemli bir bölümü olan tarım toprakları bu olgunun bir parçasıdır. Toksik endüstriyel atıklar sıvı gübrelerle karışarak tarım arazilerine yayılabilmektedirler. Endüstriyel faaliyetler sonucunda çevrede oluşan bozulmaların giderilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunda ileri teknolojiler kullanılır, ve buda oldukça pahalı, geniş alanlara uygulanabilirliği de oldukça zor görünmektedir. Buna karşılık fitoremediasyon yöntemi, metal kirliliği sorunuyla mücadelede en çok tercih edilen seçeneklerden biri olup, sürdürülebilir, estetik ve çevre dostu bir teknik olarak tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ideal bir aday olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemiz florası incelendiğinde uluslararası literatürde yararlanılan farklı familyalardan 38 adet hiperakümülatör türe rastlanmaktadır. Kekik (*Thymus vulgaris* L.), Adaçayı (*Salvia officinalis*), Karahindiba (*Taraxacum officinale*), Kantaron (*Hypericum perforatum*) gibi hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri bünyelerinde tutup gaz formuna dönüştürerek doğaya saldıkları bilinmektedir. Bu derleme, ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için tıbbi ve aromatik bitki kullanmanın yararlarını kısaca açıklamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Ağır metal, çevre, fitoremediasyon teknikleri, tıbbi ve aromatik bitkiler

Phytoremediation Method for Healing of Soils Contaminated with Heavy Metals: Suitability of Medicinal and Aromatic Plants

Abstract – Environmental contamination with heavy metals is a serious growing problem throughout the world. In today's industrial society, there is no way to avoid the exposure to toxic chemicals and metals. Agricultural lands, which are an important part of the environment, are a part of this phenomenon. Toxic industrial wastes can be mixed with liquid fertilizers and spread to agricultural lands. Various methods are used in order to eliminate environmental disturbances as a result of industrial activities. Most of these methods use advanced technologies, which seem to be quite expensive and difficult to apply to large areas. On the other hand, phytoremediation method is one of the most preferred options in combating metal pollution problem and it is an ideal candidate to use medicinal and aromatic plants as a sustainable, aesthetic and environment friendly technique. When it is investigated, it can be seen that the flora of our country consists of 38 hyperaccumulator plants from different families that are also mentioned in international literature. Hyperaccumulator plants such as Thyme (*Thymus vulgaris* L.), Sage (*Salvia officinalis*), Dandelion (*Taraxacum officinale*), Centaury (*Hypericum perforatum*) are known to absorb heavy metals, releasing them into the atmosphere in the form of gas. This review briefly describes benefits of using medicinal and aromatic plants for the recovery of soils contaminated with heavy metals.

Keywords – Heavy metal, environment, phytoremediation methods, medicinal and aromatic plants

I. GİRİŞ

Kirlilik, hızlı kentleşme ve sanayileşme nedeniyle ortaya çıkan ana sorunlardan biri olarak görülmektedir. Bu konuyu öncelikli olarak ele almak zorunlu hale gelmiştir. Çeşitli organik ve inorganik kirleticiler arasında, ağır metal kirliliği, mevcut yaşamın yanı sıra çevre için de büyük bir tehdit oluşturuyor. Metaller kimyasal veya mikrobiyal bozulmaya uğramadıklarından ve daha uzun süre birikme eğiliminde

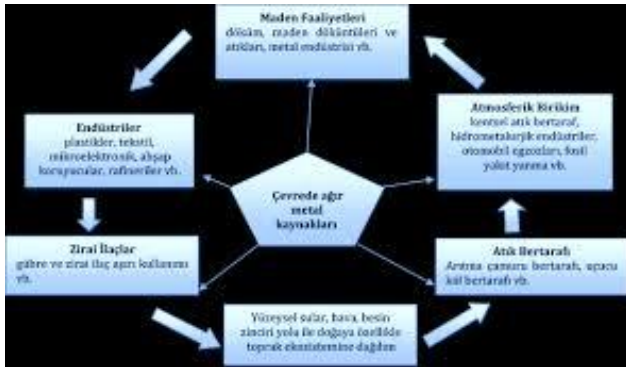
olduklarından, çevre ve insan sağlığı için büyük risk oluşturlar [1]. Ağır metaller, zorunlu ve zorunlu olmayan sınıflara ayrılabilir, önemli ağır metaller Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn'yi içerir ve temel mikro besin maddeleri olarak da kabul edilir, ancak aşırı miktarda alındığında zehirli hale gelir. Temel olmayan ağır metaller Pb, Cd ve Hg'yi içerir ve canlı organizmalar için oldukça toksiktir [2-4]. Sanayi bölgelerinde ağır metallerin varlığı, özellikle yerleşim

yerlerine bitişik olanlar, derhal temizleme eylemi gerektirmektedir. Bununla birlikte, kazma ve boşaltma yaklaşımı gibi mevcut geleneksel teknikler pahalıdır ve daha fazla alanı kirletebilir [5]. Bunların yanı sıra özellikle otoyol kenarlarına yakın toprakların trafik kaynaklı ağır metal düzeyi de önemli bir sorun olarak göze çarpmaktadır. Ağır metallerin toprakta bulunmasının toprak kirliliği, tarımsal üretim ve diğer özellikleri açısından olumlu ya da olumsuz etkileri vardır. Topraktan bitkilere geçen ağır metaller besin zincirine hayvan ve insanlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle, bu sorunun sürdürülebilir bir yaklaşımla mümkün olan en uygun şekilde ele alınması gerekmektedir.

Fitoremediasyon, bölgeye özgü iyileştirici hedefler elde etmek için kirli alanlarda yer altı, organik ve inorganik moleküller ile bitki kontrollü etkileşimlerin uygulanmasıdır [6]. Türkçe’de “Yeşil İslah” olarak kullandığımız bu ifade bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme teknolojileridir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir. Fitoremediasyon yönteminde, çevrenin doğal koşulları korunabilir. Remediasyon yöntemleri arasında en az yıkıcı yöntemdir. Kirlenmiş bölgelerde yetişen çoğu bitki, toksik elementleri alır ve toplanabilir parçalara dönüştürür [7].

II. TOPRAK KİRLİLİĞİNE NEDEN OLAN KAYNAKLAR

Toprak tanımı yıllardır bilim insanları tarafından çok çeşitli şekillerde ifade edilmiştir. Bu tanımlar doğrultusunda toprak; kayaçların ve organik maddelerin ayrışması sonucu oluşan ürünlerin farklı oranlarda karışarak meydana getirdiği, litosferin üst tabakasını örten gevşek tabaka olarak kabul edilebilir. Toprak mineral parçacıklar, toprak organik maddesi, toprağın canlı kısmı, çözünebilir tuzlar ve iyonları içeren toprak suyu ve toprak havasından oluşmaktadır [8]. Toprak kirliliğinin günümüzde giderek önem kazanması, birçok ülkede karşılaşılan toprak kirliliği vakaları nedeniyle yaygın bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1. Toprakta ağır metal kaynakları

Endüstriyel faaliyetler, maden atıkları, kurşunlu benzin ve boyalar, arazilere gübre uygulamaları, hayvan gübreleri, yağım suyu, pestisitler, atık su ile sulama, kömür yakma atıkları ve petrokimyasalların dökülmesi gibi kaynaklardan kaynaklanan emisyonlar ağır metaller vasıtasıyla toprağın kirlenmesine sebep olur (Şekil 1).

III. KİRLENMİŞ TOPRAKLARIN FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Fitoremediasyon yöntemi, hem ekonomik hem de ekolojik bir yöntem olması, uygulama esnasında özel bir donanım

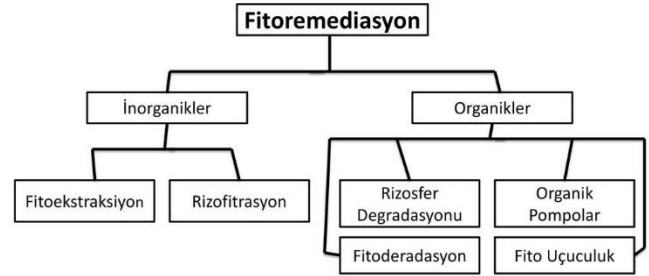
gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir toprak ıslah yöntemidir. Metallerle kirlenmiş topraklarda yetiştirme stratejileri için bitkileri üç gruba ayırır [9]. Bunlar; metal önleyici, indikatör ve akümülatörler veya hiperakümülatörler olarak sınıflandırılmıştır. Metal akümülatörler (hiperakümülatörler), yer üstü dokularında metalleri toprakta bulunanları aşan seviyelere kadar yoğunlaştıran bitki türleridir. Metal önleyiciler, içlerindeki ağır metal translokasyon (kirliliğin yer değiştirmesi) seviyelerini etkili bir şekilde sınırlandıran ve geniş bir toprak seviyesi aralığında gövdelerinde nispeten düşük seviyelerde tutan bitkilerdir. Metal indikatörler, yer üstü dokularında metal biriktiren bitkilerdir ve bu bitkilerin dokularındaki metal seviyeleri genellikle topraktaki metal seviyelerini yansıtır [10-11].

Bir bitki dört kriteri karşıladığında ağır metal (ler) için hiperakümülatör olarak sınıflandırılır [12-13]. Bunlar;

- 1- Gövde/kök aksamı >1
- 2- Ekstraksiyon katsayısı (gövdedeki ağır metal seviyesi topraktaki toplam ağır metal seviyesine bölünür) >1
- 3- Diğer bitkilere göre 10 - 500 kat daha fazla ağır metal biriktirmesi
- 4- Yapılarında 1000 mg / kg'dan fazla bakır, kurşun, nikel, krom; veya 100 mg / kg'dan fazla kadmiyum veya 10000 mg / kg'dan fazla çinko içermesi

IV. FİTOREMEDİASYON TEKNİKLERİ

Organik ve inorganik kirleticilerin bitkiler kullanılarak giderilmesi teknolojisine genel olarak verilen bir isim olan fitoremediasyon kapsamında kullanılan bitkilere ve giderilecek kirleticilere bağlı olarak farklı yöntemler bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Kirlenmiş topraklar için fitoremediasyon teknikleri

A. Fitoekstraksiyon

Toprakta kirliliğe yol açan metal kirleticilerin bitki kökleri yardımı ile alınması yöntemine verilen isimdir. Bitkiler topraktaki zararlı maddeleri bünyelerine alma konusunda farklı özellikler gösterirler. Bu nedenle kirleticilerin yüksek seviyelerine direnen bitkiler kullanılmalıdır. Çinko, bakır ve nikel gibi ağır metal içerikli bileşikler başarılı bir şekilde fitoekstrakte edilebilmektedirler. Bitkiler bu zararlı metalleri kökleri yardımı ile topraktan alırlar ve diğer vejetatif organlara dağıtımında görev alırlar. Bu nedenle, uygulamada metalleri bünyesinde barındırabilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Daha sonra ağır metalleri tutan bitkiler hasat edilir ve yakma fırınlarında yakılırlar veya başka uygun bir metot ile farklı işlemlere tabi tutulurlar [14].

B. Rizofiltrasyon

Filtre görevi yapan iyi gelişmiş bir kök sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemde toprağın ıslahından çok kirlenmiş sudaki ağır metallerin alandan uzaklaştırılması uygulanmaktadır. Kirleticiler ya bitkilerin kök yüzeylerinde absorbe edilir ya da kökler aracılığı ile emilerek bitkinin diğer organlarına taşınır [14].

C. Fitodegradasyon

Fitodegradasyon metodunda hiperakümülatör bitkiler kullanılarak ortamda bulunan organik kirleticilerin yapısı bozunur ve aynı zamanda ayrıştırma yeteneğine sahip olurlar. Bu oluşumun gerçekleşmesi için enzimatik reaksiyonlar gerçekleşmesi gerekir. Yani bazı kirleticiler ilk önce bitkiler tarafından absorbe edilir ve daha sonra enzimler yardımı ile bozunuma uğratılırlar. Bitkiler tarafından bünyesinde tutulan organik bileşikler metabolik mekanizmalar vasıtasıyla daha küçük parçalara ayrılırlar. Parçalara ayrılan bu moleküller daha sonra da bitkiler tarafından metabolik olarak ayrıca kullanılabilir duruma gelip bitki dokuları ile birleşmiş bir hal alırlar. Bu yöntem kullanılarak yeraltı sularındaki çözücüler, topraktaki petrol ve aromatik bileşikler ve havadaki uçucu bileşikler gibi birçok farklı kirletici ıslah edilebilir [15]. Bununla beraber bitki enzimleri, cephane atıkları ve ayrıca organik herbisitler gibi bozunabilen diğer zararlı maddelerin arıtımında da bu yöntem kullanılmaktadır [16].

D. Rizodegradasyon

Fitostimülasyon olarak da adlandırılan rizodegradasyon, organik kirleticilerin, arttırılmış mikrobiyal aktiviteye sahip olan rizosferde parçalanmasıdır [17].

Bitki kökü şekerler, alkoller ve organik asitleri toprak mikroflorası için karbonhidrat kaynakları olarak harekete geçirirler, mikrobiyal oluşumu ve aktiviteyi arttırırlar. Rizodegradasyonun en önemli yararlarından biri de kirleticilerin doğal ortamlarında yok olmalarıdır. Olumsuz yönü ise az miktarda da olsa bitki veya atmosfere taşınmalarıdır [18].

E. Organik pompalar

Bu mekanizmada bitkiler, yüksek hacimli kirli suların toplanmasında organik pompa olarak görev yaparlar. Örneğin söğüt ağaçları günlük 200 litrelik su tüketimiyle bu mekanizma için en uygun bitki türlerindedir [19]. Bitkisel buharlaştırma olayı organik kirleticiler ve ağır metal içeren suyun büyük bir miktarını kökler vasıtası ile bünyesine alan ağaçlarda meydana gelir.

F. Fitovolatilizasyon

Fitovolatilizasyon yöntemi ile bitkiler tarafından tutulan kirleticiler daha az uçucu formlara dönüştürülerek transpirasyon yolu ile doğaya salınmaktadır. Bilindiği gibi su, köklerden alınarak gövde ve yapraklara iletilirler. Böylece kirleticiler, bitkiyi çevreleyen havaya terleme ve gaz formunda dönüşerek karışır. Daha önce bu çalışma kavak ağaçlarında uygulanıp başarılı sonuçlar alınmıştır [20].

V. FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİNDE TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN ROLÜ

Fiziksel ve kimyasal arıtmanın bir arada kullanıldığı bir arıtma sistemi olan konvansiyonel arıtma sistemleri ile katı

ve sıvı atıkların arıtılması tam olarak sağlanamamaktadır. Etkili bir arıtım sistemi ise endüstri kuruluşlarına pahalıya mal olmaktadır. Bu nedenle, günümüzde birçok endüstri kuruluşunun önemli sorunu olan kirliliğin arıtımında ekonomik yönden ucuz, pratik uygulamalarda kolaylık sağlayacak arıtım süreçlerine yönelik geniş bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Bu kaynaklara göre bünyesinde element biriktiren en az 45 bitki familyası bulunduğu tesbit edilmiştir. Bu bitkilerin çoğu Cu, Co, Cd, Mn, Ni, Se veya Zn elementlerini bünyelerinde 100 -1000 mg/kg bitki seviyesinde biriktirebilmektedir [21]. Ağır metal kontamine olmuş bölgelerin arıtılması için en umut verici tıbbi ve aromatik bitkiler genelde *Poaceae*, *Lamiaceae*, *Asteraceae*, and *Geraniaceae* familya üyelerinden Fesleğen, Kekik, Nane, Lavanta, Adaçayı, Biberiye, Papatya, Karahindiba, Sardunya gibi bitkilerden oluşmaktadır [22]. Ayrıca kadife çiçeği, hatmi, kimyon, sarımsak, kuzukulağı, kenevir gibi bitkilerde fitoremediasyon yönteminde kullanıldığı çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

VI. SONUÇLAR

Fitoremediasyon yöntemi yeni bir teknolojidir ve gelişim safhasında olması nedeni ile performansı ve maliyetiyle ilgili veriler oldukça sınırlıdır. Bu yöntemde iklim şartları ve metallerin yararışlılık durumları göz önüne alınmalıdır. Ağır metalleri, kirlenmiş topraklardan uzaklaştırmaya uygun yeni bitki türleri tespit edilmelidir. Böylece çevreyi kirleticilerden korumak, kirlenmiş ortamları iyileştirmek ekosistemin sürdürülebilirliği için gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., ... and Scheckel, K. Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils—to mobilize or to immobilize?. *J Hazard Mater*, 2014, 266, 141-166.
- [2] Monni, S., Salemaa, M., Miller, and N. The Tolerance of *Empetrum nigrum* to Copper and Nickel. *Environ. Pollut.*, 2000, 109, 221–229.
- [3] Ul-Hassan, Z., Ali, S., Rizwan, M., Hussain, A., Akbar, Z., Rasool, N. and Abbas, F. *Role of zinc in alleviating heavy metal stress*. In: Naeem, M., Ansari, A.A., Gill, S.S. (Eds.), *Essential Plant Nutrients: Uptake, Use Efficiency, and Management*. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 351–366, 2017.
- [4] Sandeep, G., Vijayalatha, K.R. and Anitha, T. Heavy metals and its impact in vegetable crops. *Int. J. Chem. Stud.*, 2019, 7 (1), 1612–1621.
- [5] Van Ginneken, L., Meers, E., Guisson, R., Ruttens, A., Elst, K., Tack, F.M., Vangronsveld, J., Diels, L. and Dejonghe, W. Phytoremediation for heavy metal-contaminated soils combined with bioenergy production. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2007, 15(4): 227-236.
- [6] Landmeyer, James E. *Introduction to phytoremediation of contaminated groundwater: historical foundation, hydrologic control, and contaminant remediation*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [7] Meagher, Richard B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current opinion in plant biology*, 2000, 3.2: 153-162.
- [8] Aydın M, Kılıç Ş. *Toprak Bilimi*. 2. Baskı, Ankara, Türkiye, Nobel, 2010.
- [9] Baker, A.J.M. and Walker, P.L. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants: *Heavy metal tolerance in plants*. In: Shaw AJ (ed.) *Evolutionary Aspects*. CRC Press, Boca Raton, 1990.
- [10] Branquinho, C., H.C. Serrano, M.J. Pinto, M. A. Martins- Loucao. Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. *Environ. Pollution*, 2007, 146, 437-443.
- [11] Mganga, N., M. L. K Manoko, Z. K. Rulangeranga. Classification of plants according to their heavy metal content around north mara gold

- mine, Tanzania: implication for phytoremediation. *Tanz. J. Sci.*, 2011, 37, 109-119.
- [12] McGrath, S. P., F. J. Zhao. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr Biotechnol.*, 2003, 14, 277-282.
- [13] Yanqun, Z., L. Yuan, C. Jianjun, C. Haiyan, Q. Li, C. Schwartz. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. *Environ Int.*, 2005, 31, 755- 762.
- [14] EPA. Contaminants and remedial options at select metals-Contaminated Sites, EPA/540/R-95/512.6, 1995.
- [15] Newman L.A., Reynolds C.M. *Phytodegradation of organic compounds*, Current Opinion in Biotechnology, 15, 225-230, 2004.
- [16] Mirsalia. *Soil pollution: origin, monitoring and remediation*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2004.
- [17] Mukhopadhyay, S., Maiti, S.K. Phytoremediation of metal enriched mine waste: a review. *Glob. J. Environ. Res.*, 2010, 4, 135-150.
- [18] Söğüt Z., Zaimoğlu B.Z., Erdoğan R., Doğan S. Su Kalitesinin Arttırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil Islah-Phytoremediation), *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz alanları IV. Ulusal Konferansı*, 5-8 Kasım, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Bildiriler Kitabı. II. Cilt, 1007-1016, 2002.
- [19] Gatliff, E.G. "Vegetative remediation process offers advantages over traditional pump-and-treat technologies", *Remediation*, 1994, 4, 343-352.
- [20] Ghosh, M., Singh, S.P. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Appl. ecol. environ.*, 2005, (3): 1-18.
- [21] Reeves, R.D., Baker, A.J.M. *Metal-accumulating plants*. In: Raskin., I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-Up the Environment*. John Wiley and Sons, New York, pp. 193-230, 2000.
- [22] Pandey, J., Verma, R. K., and Singh, S. Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review. *Int. J. Phytoremediat.*, 2019, 21(5), 405-418.