

Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği

Cennet ÖZAY* , Ramazan MAMMADOV

Pamukkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Denizli.

Özet

Son yüzyılda kentleşme, sanayileşme ve dünya nüfusunun hızlı artışı nedeniyle evsel ve endüstriyel üretim ve tüketim koşullarına bağlı olarak oluşan organik ve inorganik zararlı maddeler ekosferin madde bütçesini önemli ölçüde değiştirmiştir. Madencilik, kentsel veya endüstriyel katı, gaz ve sıvı atıkları, pestisit ve yapay gübre kullanımı, boya sanayisi ve araba egzoz gazları doğaya aşırı miktarda ağır metalin salınmasına neden olmaktadır. Ağır metallerin toprakta aşırı birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla havyan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Günümüzde ağır metaller ile kirlenen toprakların temizlenmesinde (fitoremediasyon) hiperakümülatör bitkilerin kullanılması ve bu özelliğe sahip bitkilerin tespit edilmesi önem kazanmaktadır. Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bugüne kadar pek çok bitki remediasyonda kullanılmıştır fakat süs bitkilerinin kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde kullanılması hakkında çok az rapor mevcuttur. Çevresel kirliliğin temizlenmesinde bu bitkilerin kullanılabilirliğinin araştırılması önemli bir temel teşkil edecektir. Bu derlemede, süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ağır metaller, süs bitkileri, fitoremediasyon, hiperakümüülasyon

Heavy Metals and Potential Availability of Ornamental Plants for Phytoremediation

Abstract

The amount of matter in the ecosphere was significantly changed in the last century by urbanization, industrialization and due to the rapid growth of the world population, depending on the conditions of production and consumption of harmful domestic and industrial organic and inorganic substances. Heavy metal pollution of soils is

* Cennet ÖZAY, cennetozay@hotmail.com, Tel: (536) 282 76 67.

increasingly becoming a global problem with the development of industry, mining activity, irrigation of wastewater and the application of sewage sludge. Heavy metal accumulation in soils has an important influence not only on the fertility of soils and functions of ecosystem but also on the health of animals and human beings via food chains. Today, the removal of toxic metals from the environment using plants (phytoremediation) has become more important issue. The tolerance of plants to heavy metal toxicity depend on element type, the duration of exposure to stress and stress types. Up to now, many plants have been found as remediation plants, but there was little report about ornamental plants that can remedy contaminated soils. Thus, this will provide substantial bases for screening out remediation plants. In this review, the potential availability of ornamental plants for phytoremediation is discussed.

Keywords: Heavy metals, ornamental plants, phytoremediation, hyperaccumulation

1. Giriş

Madencilik, kentsel veya endüstriyel katı, gaz ve sıvı atıkları, pestisit ve yapay gübre kullanımı, boya sanayisi ve araba egzoz gazları doğaya aşırı miktarda ağır metallerin salınmasına neden olmaktadır. Çevresel kirleticilerin neden olduğu bu ağır metal stresi, bitkilerde büyümeyi sınırlamakta ve ürün verim ve kalitesini düşürmektedir [1]. Bakır (Cu), çinko (Zn), demir (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), nikel (Ni) ve kobalt (Co) gibi bazı ağır metaller bitki büyüme ve gelişimi için gerekli mikro besin elementleridir. Buna karşın, arsenik (As), civa (Hg), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve krom (Cr) gibi bazı ağır metaller ise bitki gelişimi için gerekli olmayan elementlerdir [2]. Mikro besin elementi olsun ya da olmasın ağır metallerin, atmosferde, suda ve topraktaki konsantrasyonunun belli bir seviyenin üzerine çıkması, tüm canlılar için ciddi problemlere neden olmaktadır [3].

Çevre ve doğal kaynakların kirlenmeye karşı korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi açısından son derece önemli olmakla birlikte kirlenmiş alanların temizlenmesi de mevcut çevre kirliliklerinin çözümünde büyük önem arz etmektedir. Toprak kirliliği açısından bakıldığında, ağır metallerin en önemli kirleticiler arasında olduğu görülmektedir.

Bitkilerin veya bitki ürünlerinin kirlenmiş alanları restore veya stabilize etmek için kullanımı, kirliliğin bitki tarafından seçilerek çıkarılması, ayrılması ve arındırılması yeşil ıslah (fitoremediasyon) olarak bilinmekte ve bitkilerin organik veya inorganik maddeleri giderimi, akümüle etmesi, depolaması veya parçalaması gibi doğal yetenekleri avantaj olarak kullanılmaktadır [4-5].

Bitkiler, toprak ve su remediasyonu için önemli araçlardır. Bugüne kadar pek çok bitki ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılmıştır fakat çevreyi güzelleştirirken aynı zamanda da ağır metal kirliliğini giderebilme potansiyelleri olan süs bitkilerinin kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanımı hakkında çok az rapor mevcuttur. Bu derlemede, ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanım olanakları ve konuyla ilgili literatür özeti verilmiştir.

2. Ağır Metaller ve Ağır Metal-Bitki İlişkisi

Fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 gr/cm³' ten daha yüksek olan metaller 'ağır metaller' olarak adlandırılır. Bunların başlıcaları krom, demir, bakır, nikel, çinko, kobalt, civa, kurşun, kadmiyum olmak üzere 60' tan fazla metal bulunmaktadır. Bu metaller doğada genellikle silikat, karbonat, oksit ve sülfür halinde güçlü bileşikler olarak veya silikat mineralleri içinde tutulur halde bulunurlar [6].

Toprak kirliliği açısından bakıldığında, ağır metallerin en önemli kirletici kaynaklar arasında olduğu görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın hazırladığı 129 tane öncelikli çevre kirleticiler arasında yer alan ağır metaller, en önemli çevre kirletici gruplardan birini oluşturmaktadır. Topraklara karışan ve buralarda birikme yapan ağır metaller, mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim kayıplarına, hatta besin zinciri yoluyla sıcakkanlılarda zehirlenmelere kadar birçok çevre ve insan sağlığı problemlerinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ağır metaller, biyotaya yüksek düzeyde dayanıklılık ve zehirlilik etkisi göstermesi nedeniyle çevredeki en tehlikeli maddelerden biri olarak kabul edilmektedir [7].

Topraktaki ağır metallerin kaynağı toprağın oluşumu sırasında meydana gelen etkiler olabildiği gibi atmosferik taşınım, biyolojik arıtım çamurlarının boşaltımı, hayvan dışkıları ile evsel atıklarının uzaklaştırılması gibi prosesler sonucunda da olabilmektedir. Toprakların ağır metallerle kirlenmesi, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu olabildiği gibi, ağır metal içeren kayaçların çeşitli nedenlerle çözünerek su ve toprak ortamına taşınması ile de ortaya çıkabilmektedir. Atom ağırlıkları 63 ile 200 arasında olan kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), civa (Hg), arsenik (As), krom (Cr) gibi ağır metallerin çevreye yayılmaları aşağıdaki şekillerde olmaktadır: egzoz gazı kaynaklı yayılımlar (Pb), madencilik kaynaklı yayılımlar (Cr, B), endüstriyel kaynaklı yayılımlar; pil üretimi ve kullanımı (Hg, Cd), demir çelik sanayi ve atıkları (Cr), petrol rafinerisi (Pb), boyalar (Pb, Cd), elektronik sanayi ve ölçü aletleri (Hg), tıbbi kaynaklı yayılımlar (Hg), doğal kaynaklı yayılımlar (Pb, Hg, Cr, Cd, B), termik santraller kaynaklı yayılımlar (Pb, Hg, Cr, Cd), tarımsal kaynaklı yayılımlar (Cd) [7].

Bitkileri ağır metallerle olan tepkilerine göre üç ana grupta toplamak mümkündür [8]:

- a. Metal dışlayıcılar:** Bunlar, toprak üstü kısımlarına metal almayan fakat yüksek miktarlarda metali köklerinde biriktirebilen bitkilerdir.
- b. Metal indikatörleri:** Bu bitkiler toprak üstü kısımlarında topraktaki ağır metal seviyesi kadarını bünyesine alan indikatör (belirteç) bitkilerdir.
- c. Akümülatörler:** Bu tür bitkiler, toprak üstü kısımlarında topraktaki metal seviyesinden daha fazlasını biriktiren dolayısı ile ağır metal kirliliğinin temizlenmesinde (fitoremediasyon) kullanılan hiperakümülatör bitkilerdir.

Toprak üstü organlarında topraktaki metal konsantrasyonundan 50 ila 500 kat daha fazla metal biriktirebilen bitkiler hiperakümülatör olarak adlandırılmaktadır [9]. Diğer bir ifadeyle, hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri herhangi bir toksisite semptomu göstermeksizin toprak üstü organlarında diğer bitki türlerine göre 100 ila 1000 kat daha fazla biriktirebilmektedir [10]. Yaklaşık 450 bitki türü (angiospermilerin sadece %0.2'si) hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır [11]. *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Scrophulariaceae*, *Euphorbiaceae* bu özelliğe sahip

familyalardan yalnızca birkaç tanesidir [12]. Hiperakümülatör bitkileri kendi içerisinde iki ana grupta toplamak mümkündür. Birincisinde, *Thlaspi* L. genusuna ait bitki türlerinde olduğu gibi birden fazla ağır metali aşırı miktarda bünyesinde biriktirebilen fakat az miktarda biyokütle oluşturan hiperakümülatör bitkiler yer almaktadır. İkincisinde ise orta seviyede ağır metal biriktirebilen fakat yüksek miktarda biyokütle oluşturan *Helianthus annuus* L., *Nicotiana tabacum* L. *Brassica juncea* L. ve *Zea mays* L. gibi bitki türleri yer almaktadır [13].

Ağır metallere dirençli bitkilerde, ağır metaller bitki içinde küçük peptidlere bağlanıp kofullarda depo edilirler ve bu şekilde bitkiye zarar vermezler [14]. Ağır metallerin bitkilerde birikimi ve organlarda dağılımı bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine, kation değişim kapasitesine, oksijenin çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlıdır [15].

Hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri hücre zarlarındaki taşıyıcı proteinler yoluyla alırlar. Bu taşıyıcı proteinler, bitkilerin mineralleri kökleri yoluyla içeri almasını sağlayan ya da mineral iyonlarını kofullarda biriktiren taşıyıcılara benzerler. Bu bitkilerdeki taşıyıcı proteinler ağır metallerin taşınımını gerçekleştirecek şekilde, diğer bitkilere göre değişikliğe uğramışlardır. Değişikliğe uğramış taşıyıcı proteinleri kullanarak *Thlaspi caerulescens* bitkisi, kuru ağırlığının %3'ü oranında çinkoyu, hiçbir zehirlenme belirtisi göstermeksizin depolayabilir. Bir eğrelti türü (*Pteris vittata*), toprakta bulunanın 100 katı kadar arseniği, kendi dokuları içinde biriktirebilir. Metal depolayan bitkiler hasat edilerek metaller geri kazanılabilir ya da böyle bitkiler görevlerini yaptıktan sonra toksik atıklar için ayrılmış depolama alanlarına gömülebilirler [14].

3. Süs Bitkileri ve Fitoremediasyon

Süs bitkileri, dış mekân süs bitkileri, iç mekân süs bitkileri ve kesme çiçek olmak üzere başlıca 3 grup altında toplanmaktadır [16]. Dış mekân süs bitkileri genellikle, parklarda, bahçelerde, yollarda, aktif ve pasif yeşil alanlarda, diğer bir deyişle çevre düzenlenmesinde kullanılan bitkilerdir. Bu bitkiler; kullanıldıkları alanı güzelleştirmenin dışında sosyal, kültürel, insan ve çevre sağlığı ve turizm açısından çok büyük öneme sahiptirler. Dış mekân süs bitkileri; büyük ağaçlar, çalılar, çiçekler, yer örtücü bitkiler, su bitkileri, saz ve bambu türleri, sarmaşıklar ve çim gibi çeşitlilikler göstermektedir [17]. Bugüne kadar pek çok bitki remediasyonda kullanılmıştır fakat süs bitkilerinin kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde kullanılması hakkında çok az bilgi mevcuttur.

Kirlenmiş toprakların temizlenmesi amacıyla, fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik süreçleri içeren birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemler; izolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, mekanik ayırma teknolojileri, pirometalurjik teknolojiler, elektrokinetik teknolojiler, biyokimyasal teknolojiler, toprağı su/sıvı ile yerinde temizleme teknolojileri, toprak yıkama (kimyasal sızma) teknolojileri ile fitoremediasyon teknolojileri olarak sıralanabilmektedir. Biyolojik temizleme yöntemleri içinde yer alan fitoremediasyon, diğer yöntemlere göre en ucuz ve ekolojik yönden en uygun yaklaşımdır. Bitkilerin kullanılarak toprağın temizlenmesi fitoremediasyon olarak tanımlanmaktadır. Yöntem, ekonomik ve ekolojik olmasının yanında özel donanım gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden

kullanılabilmesine olanak vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir yöntem durumundadır [7].

Fitoremediasyon teknolojisi temel süreç ve uygulanabilirliği temelinde farklı gruplara ayrılabilir, bunlar: fitoekstraksiyon, rizofiltrasyon, fitostabilizasyon, fitovolatilizasyon ve fitodegradasyon olarak sıralanabilir. Yapılan çalışmalarda, fitoremediasyonda kullanılacak en uygun bitkinin, ortamdaki yüksek ağır metal konsantrasyonlarında bile yaşayabilen, güçlü ve zengin bir kök sistemine sahip olan, hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilen, hızlı bir büyüme yeteneği ve arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeline sahip olan bir bitki olması gerektiği sonucuna varılmıştır [18]. Fitoremediasyon, kirleticileri özütlemek ve/veya detoksifiye etmek ve çevrenin temizlenmesi için bitkilerin kullanımını kapsayan oldukça güçlü bir tekniktir [13].

Günümüzde ağır metaller ile kirlenen toprakların temizlenmesinde hiperakümülatör bitkilerin kullanılması ve bu özelliğe sahip bitkilerin tespit edilmesi önem kazanmaktadır. *Thlaspi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* ve *Alyssum* gibi bazı bitkilerin kadmiyum, bakır, kurşun, nikel ve çinkoyu bünyelerinde biriktirme yetenekleri vardır ve bu nedenle, söz konusu bitkilerin yetiştirilmesi kirlenmiş toprakların temizlenmesinde indirekt bir yöntem olarak kabul edilmektedir [19]. Örneğin, çoğu bitkiler yaklaşık 100 ppm'lik bir Zn birikiminde toksisite semptomları gösterirken, en yaygın metal hiperakümülatörü olarak bilinen *Thlaspi caeruledcens*'in 26000 ppm'in üzerinde bir birikimi sağlayabildiği literatürden bilinmektedir [20].

Kentsel alanlardaki kirliliğin artmasıyla birlikte, çevreyi güzelleştirmesinin yanı sıra iyileştirilmesinde de görev alabilen süs bitkilerinin kirli toprakların temizlenmesinde kullanımı dikkate alınmaya başlanmıştır. Süs bitkileri olarak *Calendula officinalis* (aynısefa çiçeği) ve *Althaea rosea* (gül hatmi)'nin kadmiyuma toleransı ve kadmiyum biriktirme özellikleri incelenmiş ve bu bitkilerin fitoremediasyonda kullanılabilir oldukları sonucuna varılmıştır. Özellikle *A. rosea*'nın potansiyel Cd hiperakümülatörü olarak kabul edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca etilen gluataro triasetik asit (EGTA) ve sodyum dodesil sülfat (SDS) uygulamasının kök ve yapraklarda Cd birikimini arttırdığı ortaya çıkarılmıştır [21]. Yapılan önceki çalışmalar göz önüne alınarak seçilen üç süs bitkisinin (*C. officinalis*, *A. rosea* ve *Impatiens balsamina* (kına çiçeği)), tek başına Cd ya da Cd-Pb stresi altında büyüme tepkileri ve muhtemel fitoremediasyon yetenekleri de araştırılmıştır. Bu üç süs bitkisinin de Cd ve Pb kirliliğine karşı yüksek tolerans gösterdikleri ve bu metalleri etkin bir biçimde biriktirebildikleri tespit edilmiştir. İleriki çalışmalarda bu özellikler hidroponik kültürde incelenmiş ve *A. rosea*'nın muhtemel Cd hiperakümülatörü olarak çok büyük bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu bitkiler üzerinde Cd-Pb etkisinin karmaşık olduğu, bu etkinin sadece olumlu, antagonistik ya da sinerjistik değil, ağır metallerin hangi oranlarda karıştırıldığı, bitki türü ve bitkinin farklı kısımlarına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir [22].

Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) ve Fil kulağı (*Syngonia* sp.) bitkilerinin topraktaki As (Arsenik) kirliliğinin gideriminde kullanımı ile ilgili yapılan bir çalışmada [23], saksılarda kontrollü şartlar altında yetiştirilen ve çeşitli konsantrasyonlarda As (NaAsO_2) verilen bitkiler, 15 günün sonunda incelendiğinde kök ve gövdelerinde biriktirdikleri arseniğin, bu metalle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılması açısından iyi birer kaynak olduğunu göstermiştir.

Süs bitkisi olarak *Petunia grandiflora*'nın kullanıldığı bir çalışmada bitkinin hem yabani formu hem de doku kültüründe üretilen formu üzerinde yapılan çalışmalarda, tekstil boyası olarak yaygın bir şekilde kullanılan Brilliant Blue G (BBG)'nin parçalanması ve renginin giderimi (dekolorizasyon) vasıtasıyla fitoremediasyon potansiyeli araştırılmıştır. Sonuç olarak, *P. grandiflora*'nın BBG'nin dekolorizasyonunu %86'ya kadar sağladığı tespit edilmiştir. *P. grandiflora*, BBG'yi non-toksik metabolitlere parçalayarak dekolorizasyonunu sağlamıştır [24].

Süs bitkisi olarak park ve bahçeler, yol kenarları ve göbeklerde sıklıkla kullanılan *Aptenia cordifolia* (buz çiçeği, ögle çiçeği) *Brassica juncea* (hardal), *Brassica oleracea* (lahana) ve *Alyssum maritima* (bal çiçeği) ile, farklı konsantrasyonlarda (2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm ve 52 ppm) $K_2Cr_2O_7$ (potasyumdikromat) kullanılarak hazırlanmış olan sentetik atık su verilen topraktaki Cr (VI) iyonunu en yüksek düzeyde alabilen, bitki çeşidinin tespiti ve bu bitkiler yardımıyla topraktan Cr (VI) iyonunun temizlenmesi amaçlanan bir çalışma sonucunda, bitkiler yetiştirildiği ortamdan (torf), kök, gövde ve yaprak olarak ayrılmış ve bitkilerin bünyelerinde kalan Cr (VI) iyonu miktarları belirlenmiştir. Torf ile hazırlanan bitki ortamlarına uygulanan en yüksek konsantrasyondaki Cr (VI) iyonunu bünyesine alabilen bitkiler sırasıyla *Alyssum maritima* > *Brassica juncea* > *Brassica oleracea* > *Aptenia cordifolia* olarak tespit edilmiştir [25].

Bitkilerde normalde Ni birikimi 0.5-10 $\mu\text{g/g}$ arasında iken, *Alyssum* türleri, yapraklarında 1280-29.400 $\mu\text{g/g}$ (kuru ağırlık) Ni^{2+} 'i biriktirebilir [26]. Minguzzi ve Vergnano tarafından yapılan çalışmada [27], *Alyssum bertolonii* bitkisinin kuru materyalinde yaklaşık 10 000 ppm (%1) Ni bulunduğu tespit edilmiştir [28]. Gabrielli ve arkadaşlarının [29] yaptığı çalışmalarda *Alyssum* cinsinin metal biriktirici türlerinin aynı metalle kirlenmiş topraklarda gelişen ve biriktirici olmayan türlere oranla nikel çok fazla tolerans gösterdiği belirtilmiştir. *Alyssum* olarak tanımlanan 168 bitki türünün Ni için hiperakümülatör olup olmadığını anlaşılması için Ni içerikleri belirlenmiş ve 14'ü Avrupa türü olmak üzere toplam 31 tane hiperakümülatör bitki tespit edilmiştir (1 g kuru ağırlıkta >1000 μg) [30].

Süs bitkisi olarak kullanılan su kamışının (*Typha latifolia*), sudan topladığı ağır metallerin incelendiği bir çalışmada *T. latifolia*'nın kök, gövde ve yapraklarında fazla miktarda Cu, Ni ve Zn ağır metallerini biriktirdiği tespit edilmiştir [31]. Verbenaceae familyasından olan, dünyada tropikal bölgelerde ve Güney Amerika'da yetişen bir süs bitkisi olan *Phyla nodiflora* bitkisinin ise en etkin olarak bakır ve çinkoyu bünyesine aldığı bildirilmiştir [32]. Hint nilüferi olarak bilinen *Nelumbo nucifera*'da krom birikiminin araştırıldığı bir çalışmada, farklı krom konsantrasyonlarında (50-200 μm) büyütülmüş bitki dokularında benzer birikim miktarları gözlenmiştir. Bununla birlikte en yüksek birikimin köklerde olduğu bildirilmiştir [33]. Yaprakları için yetiştirilen eğreltiotlarının (*Pteris cretica* ve *Pteris vittata*) arsenik biriktirme kapasiteleri incelendiğinde, bu bitkilerin arsenik ile kontamine olmuş topraklarda potansiyel temizleme aracı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir [34].

Portekiz'de Cr, Mn ve Zn ile kontamine olmuş topraklarda *Cistus ladanifer*, *Lavandula stoechas*, *Plantago subulata* ve *Thymus mastichina* bitkileri kullanılarak fitoekstraksiyon yöntemi ile toprakların temizlenme olanakları araştırılmış ve sonuçta *P. subulata* hariç diğer üç bitki sahip oldukları yüksek tolerans kabiliyeti sayesinde hayatta

kalmış ve arıtım için iyi bir performans sergilemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada tanımlanan 3 bitki türünün hoş kokulu olmaları ve uçucu yağları sayesinde ekonomik fayda sağlayabilecek bir biyokütleyle sahip oldukları da ortaya konulmuştur [35].

Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin *Aptenia cordifolia* (buz çiçeği, öğle çiçeği), *Carpobrotus edulis* (kaz ayağı) ve *Bryophyllum tubiflorum* gibi süs bitkileri kullanılarak düşürülmesi ve süs bitkileri yetiştiriciliğinde bitki yetiştirme ortamı olarak atık çamurun kullanılabilirliği araştırılmış ve çalışma sonucunda kök ve yaprak/gövde olarak, bitkilerin bünyesinde kalan ağır metal miktarları (Cr, Fe, Ni, Mn, Cu, Pb) belirlenmiştir. Bitkilerin bünyelerine farklı miktarlarda ağır metalleri aldıkları ve atık çamurun süs bitkileri yetiştiriciliği sektöründe bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılabileceğine dikkat çekilmiştir [36].

4. Sonuç

Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistemin fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstri ve madencilik aktivitelerinin gelişmesiyle ve atıksuyla yapılan sulamaların ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla global bir problem haline almıştır. Ağır metal kirliliğini gidermek için günümüzde kullanılan metodlar fazlasıyla pahalıdır. Fitoremediasyon, ağır metallerle kirlenmiş toprak ve su kaynaklarının iyileştirilmesi için kullanılan, geleneksel metotlarla kıyaslandığında 1000 kata kadar daha ucuz ve etkili olabilen bir tekniktir.

Bitkiler, toprak ve su remediasyonu için, benzersiz genetik, biokimyasal ve fizyolojik özellikleri nedeniyle ideal araçlardır. Hiperakümülatör bitkiler, ağır metallerle kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için bu bitkilerin potansiyel kullanımlarından dolayı son yıllarda artan ilgi görmektedir. Bununla birlikte, bu teknolojinin kullanımındaki sınırlamalar, teşhis edilen hiperakümülatör bitkilerin çoğunun hem düşük biyokütleyle sahip hem de olumsuz çevre koşullarına adapte olamamasından kaynaklanmaktadır. Bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için bitkilerdeki metal hiperakümülatasyonu ile ilişkili mekanizmaların (moleküler ve genetik) iyi şekilde anlaşılması gerekmektedir.

Süs bitkileri, Türkiye tarımının gizli potansiyelini oluşturmaktadır. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü'nün (TAGEM), TÜBİTAK desteğini alarak 7 araştırma enstitüsü, 8 üniversite ve 19 özel sektör şirketiyle birlikte yürüttüğü ve 2009 yılında tamamladığı "Bazı Doğal Bitkilerin Kültüre Alınması, Yeni Tür ve Çeşitlerin Süs Bitkileri Sektörüne Kazandırılması" adlı proje birçok alanda örnek teşkil edecek nitelikte olmuştur.

Bugüne kadar pek çok bitki remediasyonda kullanılmıştır fakat süs bitkilerinin kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde kullanılması hakkında çok az rapor mevcuttur. Farklı ekolojik istekleri olan çok çeşitli süs bitkileri vardır ve bunlar atmosferik kirlleticilerin izlenmesinde gösterge olarak kullanılabilir. Çevresel kirliliğin temizlenmesinde bu bitkilerin kullanılabilirliğinin araştırılması önemli bir temel teşkil edecektir. Özellikle kentsel alanlarda, süs bitkileri çevreyi güzelleştirirken aynı zamanda da ağır metal kirliliğini giderebilir. Süs bitkilerinin potansiyel hiperakümülatör

türlerinin araştırılması, büyük önem arz etmektedir ve ayrıca uygulanabilir olması açısından da önemlidir.

Kaynaklar

- [1] Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S., Chromium toxicity in plants, **Environment International**, 31, 739-753, (2005).
- [2] Niess, D.H., Microbial heavy-metal resistance, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51, 730-750, (1999).
- [3] Benavides, M.P., Gallego, S.M., Tomaro M.L., Cadmium toxicity in plants, **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 17, 21-34, (2005).
- [4] Meagher, R.B., Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants, **Current Opinion in Plant Biology**, 3, 153-162, (2000).
- [5] McIntyre, T., Phytoremediation of heavy metals from soils, **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**, 78, 97-123, (2003).
- [6] Baba, A., Gündüz, O., Save, D., Gürdal, G., Sülün, S., Bozcu, M., Özcan, H., Madencilik faaliyetlerinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi, **62. Türkiye Jeoloji Kurultayı**, Ankara, 514-515, (2009).
- [7] Vanlı, Ö. ve Yazgan, M., Ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde fitoremediasyon tekniği, (2008).
<http://www.tarimsal.com/fitoremediasyon/fitoremediasyon.htm>, (15.01.2013).
- [8] Baker, A.J.M., Walker, P.L., Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, in: Shaw A.J. (Ed.), Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary Aspects, CRC Press, Boca Raton, 155-177, (1990).
- [9] Clemens, S., Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants, **Biochimie**, 88, 1707-1719, (2006).
- [10] Brooks, R.R., General Introduction. In: Brooks, R.R. (ed.). Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining. CAB International, New York, pp. 1-14, (1998).
- [11] Reeves, R.D., Hyperaccumulation of trace elements by plants. In: Morel, J.L., Echevarria, G. ve Goncharova, N. (Eds.). Phytoremediation of metal-contaminated soils, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer, NY, pp. 1-25, (2006).
- [12] Assuncao, A.G.L., Schat, H., Aarts, M.G.M., *Thlaspi caerulescens*, an attractive model species to study heavy metal hyperaccumulation plants, **New Phytologist**, 159(2), 351-360, (2003).
- [13] Memon, A.R., Aktoprakligül, D., Özdemir, A., Vertii, A., Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants, **Turkish Journal of Botany**, 25, 111-121, (2001).
- [14] Işık, K., **Bitki Biyolojisi**, Palme Yayıncılık, Ankara, (2004).
- [15] Sharma, P., Dubey, R.S., Lead toxicity in plants, **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 17(1), 35-52, (2005).
- [16] Dilaver, Z., Peyzaj mimarlığında bitki materyali, Peyzaj, çevre ve tarım (Ed., Yazgan, M.E.), TC Anadolu Üniversitesi Yayın No: 2282. Eskişehir, (2011).
- [17] Hocagil, M.M., Aydın, A., Yeler, O., Süs bitkileri sektörü yatırım el kitabı, Mersin, (2012).

- [18] Reeves, R.D. and A.J.M. Baker., Metal-accumulating plants. In: Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment, Raskin, I. and B.D. Ensley (Eds.). Wiley, New York, pp: 193-229, (2000).
- [19] Mulligan, C.N., Yong, R.N. and Gibbs, B.F., Remediation technologies for metal contaminated soils and groundwater: an evaluation, **Engineering Geology**, 60, 193-207, (2001).
- [20] Lasat, M.M., Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/ soil/ metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues, **Journal of Hazardous Substance Research**, 2(5), 1-25, (2000).
- [21] Liu, J.N., Zhou, Q. X., Sun, T., Ma, LQ., Wang, S., Identification and chemical enhancement of two ornamental plants for phytoremediation, **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 80, 260-265, (2008a).
- [22] Liu, J.N., Zhou, Q.X., Sun, T., Ma, LQ., Wang, S., Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics, **Journal of Hazardous Materials**, 151(1), 261-267, (2008b).
- [23] Imamul Huq, S.M., Joardar, J.C. and Parvin, S., Marigold (*Tagetes patula*) and ornamental arum (*Syngonia sp.*) as phytoremediators for arsenic in pot soil, **Bangladesh Journal of Botany**, 34(2), 65-70, (2005).
- [24] Watharkar, A.D., Khandare, R.V., Kamble, A. A., Mulla, A.Y., Govindwar, S.P., Jadhav, J.P., Phytoremediation potential of *Petunia grandiflora* Juss., an ornamental plant to degrade a disperse, disulfonated triphenylmethane textile dye Brilliant Blue G., **Environmental Science and Pollution Research International**, 20(2), 939-49, (2013).
- [25] Başçı, N., Cr (VI) iyonunun süs bitkileri kullanılarak topraktan gideriminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana (2009).
- [26] Siskos, A., Yupsani, A., Symeonidis, L., Yupsanis, T., Similarities and differences in the properties of multiple NDP-kinase isoforms of *Alyssum murale*, Ni²⁺ accumulator species, **Journal of Plant Physiology**, 167, 675-682, (2010).
- [27] Minguzzi, C., Vergnano, O., Il contenuto di nichel nelle ceneri di **Alyssum bertolonii**, **Atti Societa Toscana Scienze Naturali**, 55,49-74, (1948).
- [28] Brooks, R.R., Anderson, C.W.N., Chiarucci, A., LaCoste, C.J., Leblanc, M., Robinson, B.H., Simcock, R., Stewart, R.B., Phytomining for nickel, thallium and gold, **Journal of Geochemical Exploration**, 67, 407-415, (1997).
- [29] Gabrielli, R., Pandolfini, T., Vergnano, G., Comparison of two serpentine species with different nickel tolerance strategies, **Plant Soil**, 122, 271-277, (1990).
- [30] Brooks, R.R., Morrison, R.S., Reeves, R.D., Dudley, T.R., Akman, Y., Hyperaccumulation of nickel by *Alyssum* Linneus (Cruciferae), **Proceedings of the Royal Society of London.**, Section B, 203, 287-403, (1979).
- [31] Manios, T., Stentiford, E.I., Millner, P.A., The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha Latifolia* L. plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. **Ecological Engineering**, 20(1), pp: 65-74, (2003).
- [32] Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, LQ., Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plant growing on a contaminated Florida Site, **Science of the Total Environment**, 368, 456-464, (2006).
- [33] Vajpayee, P., Sharma, S. C., Rai, U. N., Tripathi, R. D., Yunus, M., Bioaccumulation of chromium and toxicity to photosynthetic pigments nitrate reductase activity and protein content of *Nelumbo nucifera* Gaertn., **Chemosphere**, 39, 2159-2169, (1999).

- [34] Wei, C.Y., Chen T.B., Arsenic accumulation by two brake ferns growing on an arsenic mine and their potential in phytoremediation, **Chemosphere**, 63, 1048-1053, (2006).
- [35] Díez Lázaro, J., Kidd, P.S., Monterroso Martínez, C., A phytogeochemical study of the Trás-Os-Montes Region Ne Portugal: Possible species for plant-based soil remediation technologies, **Science of the Total Environment**, 354(2-3), 265-277, (2006).
- [36] Köseoğlu, C., Atık çamurun iyileştirilebilmesi için bitkisel arıtım'ın (fitoremediyasyon) kullanım olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana (2007).