

Ağır Metal Şelasyonunda Fitoremediasyon Tekniği ve Uygulamada Etkili Makrofitler

İrfan AY*

Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yenişehir, Mersin

*e-mail: irfanay7074@gmail.com

ÖZET

Günümüzde kontrolsüzce artan ağır metal kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri ciddi boyutlara ulaşmıştır. Ancak gerekli önlemler alınması durumunda kötü sonun önlenmesi sağlanabilir. Kirlilik önleme çalışmaları arasında en önemli ve etkili yöntemlerden biri şelasyon tekniğidir. Şelasyon ortamdaki kirletici ajanın herhangi bir şelatlayıcı ajan tarafından sorbsiyonu ile gerçekleşmektedir. Kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemlerin uygulandığı bu teknikte biyolojik yöntem diğerlerine göre çevre dostu ve ekonomik olması bakımından avantajlıdır. Fitoremediasyon, bitkisel organizmalar kullanılarak ortamdaki ağır metal ve diğer kirleticilerin şelasyonunu sağlayan biyolojik bir yöntemdir. Bu derlemede, fitoremediasyon tekniği ve son yıllarda kullanımı gerçekleşen makrofitler ile bu yöntemin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, şelasyon, fitoremediasyon, sucul makrofit

Phytoremediation Technique in Heavy Metal Chelation and Effective Macrophytes used in ApplicationTitle

ABSTRACT

The effects of uncontrolled heavy metal pollution on the environment and human health have reached serious dimensions at the present time. However, if the necessary precautions are taken, the bad end can be prevented. One of the most important and effective methods of pollution prevention is chelation technique. A chelate is a chemical compound composed of a metal ion and a chelating agent. A chelating agent is a substance whose molecules can form several bonds to a single metal ion. In this technique, chemical, physical and biological methods are applied, the biological method is advantageous in terms of being environmentally friendly and economical. Phytoremediation is a biological method that enables the chelation of heavy metals and other pollutants from the environment using plant organisms. In this review, the advantages and disadvantages of phytoremediation technique and macrophytes which have been used for phytoremediation in recent years have been investigated.

KEYWORDS: Heavy metal, chelating, phytoremediation, macrophyte.

How to cite this article: Ay, İ. (2019). Ağır Metal Şelasyonunda Fitoremediasyon Tekniği ve Uygulamada Etkili Makrofitler *MedFAR.*, 2(3) :77-82.

1.Giriş

Çevre, antropojenik etkiler sonucu ağır metaller ile sürekli kirlenmektedir (Hussein ve ark., 2005; Rai, 2008; Sekabira ve ark., 2010; Taghinia ve ark., 2010; Ogoyi ve ark., 2011; Aybar ve ark., 2015). Doğaya bırakılan kirlilik yüküne rağmen bunların canlılar üzerindeki zararlı etkilerinin kontrol edilebilmesi, doğal bir detoksifikasyon mekanizmasının çalıştığını göstermektedir. Ağır metaller doğaya farklı kimyasal formlarda katılırlar (Özbolat ve Tuli 2016). Bunların toksik etkileri de birbirinden farklıdır. Bakteri, mantar ve algal mikro ve makro organizmalar metallerin toksik formlarını metilasyon sonucu daha az zararlı ya da zararsız organik bileşikler haline dönüştürerek tekrar ortama bırakırlar (Çakmakçı ve ark., 2008). Bu şekilde Hg, As gibi toksik metallerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri bir derece azaltılabilmektedir (Wang ve ark., 2012). Diğer bir mekanizma ise ağır metallerin şelasyonudur.

Doğal süreç ya da antropojenik etkiler sonucu doğaya katılan ağır metaller, fauna ve florada birikime neden olmaktadır. Bu birikim bitkisel ve hayvansal organizmalarda metabolik ve fizyolojik değişikliklere yol açarken besin zinciri aracılığı ile de üst trofik düzeylere kadar iletilebilmektedir. Diğer yandan ortama katılan ağır metallerin derişimi, metal kompozisyonu, metal-metal etkileşimi, ortamın fiziksel ve kimyasal yapısında değişime neden olarak metal toksisitesini arttırabilmektedir. Bazı karasal ve sucul bitki türleri ortamda bulunan ve besin olarak kullanmadığı metalleri absorbe ederek zararsız hale getirebilme özelliğine sahiptir. Fitoremediasyon adı verilen bu olay doğada var olan en önemli doğal şelasyon mekanizmalarından birisidir.

Günümüzde bu doğal süreç modellenerek ağır metal giderimi amacıyla uygulanmaktadır. Ancak uygulamanın yaygınlaştırılması ve alternatif yöntemlere göre şelasyon başarısının arttırılabilmesi için düşük maliyette metal giderimini arttıracak mühendislik çalışmalarına gereksinim vardır. Toprakta metal iyonlarının hareketliliğini sağlamak amacıyla EDTA, NTA, sitrik asit gibi sentetik, zeolit gibi doğal kil mineralleri kullanılarak fitoremediasyon başarısının arttırılması amaçlanmıştır (Vangronsveld ve ark., 2009). Uygulamalarda kullanılan şelatörlerin, fitoremediasyon başarısını arttırdığı bildirilmiştir (Özbek, 2011).

Bugün doğal süreçler ile gerçekleşen şelasyon mekanizması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin izlendiği modeller haline getirilerek uygulanmaktadır. Uygulamada kullanılan fiziksel

yöntemler çökeltme ve filtrasyon, kimyasal yöntemler ise ters ozmos, iyon değişimi veya adsorbsiyondur. Bu yöntemler tek başlarına kullanılabilirler gibi birlikte de uygulanmaktadır. Ağır metal gideriminde bu yöntemlerin uygulanması yeterince ekonomik değildir (Glass,2000). Bakım ve işletim giderleri uygulamadaki en büyük dezavantajdır. Yine fiziksel yöntemlerin büyük hacimli uygulamalarda uygun olmadığı da belirtilmiştir. Kimyasal yöntemlerin dezavantajları ise yeterince çevre dostu olamayışı olarak kabul edilmektedir. Ancak yüksek derecede kirlenmiş ortamların iyileştirmesinde de fiziksel ve kimyasal yöntemlerin başarı oranları alternatiflerine göre daha yüksek olduğu için tercih edilmektedir.

Uygulamalar sonucu literatüre yansıyan bilgiler ışığında fitoremediasyonun bir çeşit biyolojik kontrol sağlaması nedeniyle doğa dostu, işletim ve bakım maliyetlerinin diğer yöntemlere göre oldukça düşük olması nedeniyle de en ekonomik yöntem olarak kabul edilmekte ancak orta dereceli kirlenmiş sularda ağır metal giderimi için etkili, alternatif ve umut verici bir teknoloji olarak değerlendirilebilmektedir (Wang ve ark., 2012; Kulshreshtha ve ark.,2014). Bu nedenle fitoremediasyon yönteminin başarısını arttıracak alternatif mühendislik uygulamalarının geliştirilmesi doğal yaşam alanlarının korunması ve yaşamın sürdürülebilirliği bakımından önem taşımaktadır.

1.1. Fitoremediasyon Tekniği

Fitoremediasyon hem karasal hem de sucul ekosistemlerde ağır metal kirliliğinin giderilmesini sağlayabilen oldukça önemli bir şelasyon tekniğidir (Vangronsveld ve ark., 2009). Tarımsal uygulamalar sırasında toprağa katılan pestisit, evsel atıklarda yer alan deterjanlar, sanayi atıkları ya da kazalar sonucu toprağa karışan ağır metal, petrol hidrokarbonları ve endüstriyel organik atıkların karasal ortamlarda yürütülebilecek uygulamalar ile sucul ekosistemlere deşarjları sınırlandırılabilir (Kulshreshtha ve ark., 2014). Bu şekilde yarılanma ömürleri oldukça uzun olan ağır metallerin sucul ekosistemlerde birikimi ve sedimanda depolanması sınırlandırıldığından sucul organizmalar bu kirleticilerin toksik etkilerinden daha az zarar göreceklerdir. Bu da ekosistem ve insan sağlığı açısından önem taşımaktadır.

Sucul organizmalar doymamış yağ asitlerince zengin, lifli yapısı nedeniyle sindirimi kolay ve protein ve mineral madde içeriği oldukça yüksek besin kaynağıdır. Ancak tüketilen bu organizmaların kirleticilerin etkisinde uzun süre kalmaları, insanlara taşınımın önemli kaynaklarından birisini oluşturur. Çünkü insanlar tarafından ağır metal alınımında en

önemli yollardan biri ağır metal ile kontamine besin maddelerinin tüketimidir. Sucul organizmalar ağır metal ile kontamine ortam ile doğrudan etkileşim altında buldukları için tehdit oluştururken, ağır metal ile kontamine karasal besin kaynakları da aynı derecede risklidir.

Günümüzde hızla artan teknolojik aktivitelerin çevreye verdiği inorganik ve radyoaktif kirlilik engellenemediğinden bunun sınırlandırılması ve kontrol altına alınmasına yönelik iyileştirme çalışmalarının hızlandırılması ivedilik taşımaktadır. Bu nedenle çevre dostu ve ekonomik şelasyon uygulamalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Literatürde fitoremediasyonun geleneksel iyileştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, bazı avantajlara sahip olduğu bildirilmiştir. Bunların başında ekonomik ve çevre dostu olması, uygulama sırasında doğal ortama zarar vermemesi, hasadının kolay olması, bertaraf sırasında kirleticilerin yayılma riskinin düşük olması, geleneksel yöntemlere göre daha estetik bir görüntüye sahip olması, birden fazla kirletici türü ile kirlenmiş ortamları iyileştirme potansiyeline sahip olması, iz element geri kazanımı sağlaması (Vangronsveld ve ark., 2009; Akpor ve Muchie, 2010) vurgulanmıştır. Bu uygulamanın avantajları yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajların en önemli nedeni bilgi eksikliğidir. Uygulamada kullanılacak bitkinin büyüme koşullarına toleransı, büyük ölçekli uygulamalarda tarımsal ekipman ve işçilik gereksinimi, geç veya yanlış hasatta kirleticilerin bitkinin yaşlanmış dokularından salınım riski, diğer teknolojilerle kıyasla bitkinin büyüme hızına bağlı iyileştirme süresinin uzunluğu, çözünebilir kirleticilerin sızıntı nedeniyle çevresel hasara yol açabilmesi, etkilenen ortamın bitki köklerinin nüfuz edebileceği rizom bölge ile sınırlı olması, bitki kapasitesine bağlı olarak tam arındırmanın gerçekleştirilememesi ve sadece düşük veya orta seviyede kirlenmiş ortamların iyileştirilmesinde uygun olması dezavantajlar arasında sayılabilir (Akpor ve Muchie, 2010). Fitoremediasyonda bitkinin metal alım verimini belirlemek için türün gelişimi, dikim yoğunluğu, büyüme hızı, en uygun dikim koşulları ve zamanı, hastalık kontrolü ve hasat yöntemlerinin uygunluğu uygulamanın başarısı için oldukça önemlidir. Ayrıca uygulamanın performans değeri, son ürünlerin ve yan ürünlerin kullanımı ve genel ekonomik altyapısının da dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir.

Fitoremediasyon uygulaması birbirinden farklı mekanizmalar ile gerçekleşir (Tangahu ve ark., 2011; Hamutoğlu ve ark., 2012; Tiryaki ve Potur, 2017).

Kirletici maddelerin bitkilerin kökleri yardımı ile alınıp gövde ve yapraklara iletilmesi ve bu dokuların hasadı ile ortamdaki uzaklaştırılması mekanizmasına fitoekstraksiyon; bitki kökleri ile ortamdaki alınan metallerin metabolik olaylar ile köklerde tutularak bağlanması ve diğer organlara taşınmasının engellenmesi mekanizmasına fitostabilizasyon; bitkinin, kirleticileri, kökleri ile ortamdaki alıp adsorbe ettiği ve diğer dokulara iletilmesini engellediği mekanizma rizofiltrasyon; yine bitkilerin kökleri ile ortamdaki alınan organik kirleticilerin, köklerde mikrobiyal faaliyetler sonucu parçalanması mekanizmasına rhizodegradasyon; yüksek organizmalı bitkiler yanı sıra fitoplankton gibi aşağı organizasyonlu canlılar tarafından gerçekleştirilebilen kirleticilerin özellikle de ağır metallerin metabolik olarak bitki bünyesinde detoksifiye edilerek yeniden ortama bırakılması mekanizmasına fitotransformasyon; bitkinin yine metabolik süreçler sonunda gaz haline dönüştürdüğü kirleticileri atmosfere salması mekanizmasına ise fitovolatilizasyon adı verilmiştir (Terzi ve Yıldız, 2011).

Fitoremediasyonda bitkinin dikildiği ortamda varlığı bilinen metallere tolerans seviyesi, metalleri yeterli seviyede biriktirme, taşıma ve giderme yetisi, yüksek büyüme hızı ve biyokütle verimi, sel ve aşırı kuraklık durumlarına dayanıklılığı, habitat tercihi (örneğin, karasal, sucul, yarı sucul ortamlara uyumluluğu), yüksek pH ve tuzluluğa toleransı, kök karakteristiği ve kök bölgesi derinliği de bitki seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerdir. Çeşitli çalışmalarda, kirlenmiş sulardan ağır metal gideriminde sucul bitkilerin çok etkili olduğu bildirilmiştir (Singh ve ark., 2012). Bazı egzotik bitki türlerin ise bu amaçla daha iyi sonuçlar verdiği ve istilacı davranış olasılığı olmadan güvenle kullanılabileceği belirtilmiştir.

1.2. Sucul Makrofitler ile Yürütülen Fitoremediasyon Uygulamaları

Nassouhi ve ark., (2018) sucul makrofitlerin fitoremediasyonda uygulamalarına ait bulguları derlemiştir. Yapılan araştırmalar sucul makrofitlerin büyüme hızı, biyokütle üretimi ve emilim kapasitesinin yüksek olduğu ve ortam derişiminden çok daha yüksek derişimlerde kirleticiyi biriktirebilme kapasitesine sahip olduğu buna ek olarak da kirleticilerin yüksek derişimine toleranslarının yüksek olduğu belirtilmiştir (Etim, 2012). Sucul makrofitlerin ötrifikasyon gibi ekolojik sorunlara neden olan azot ve fosfor gibi besin elementlerinin de fazlasının giderilmesine ve

ekolojik dengenin korunmasına da olanak sağladığı bilinmektedir.

Fitoremediasyonda seçilecek makrofitin türü ağır metal giderim başarısında oldukça önemlidir. *Eichhornia crassipes*'in Cu, Zn, Cd, Pb ve Ni gibi elementlerin fitoremediasyonunda kullanıldığı (Liao ve Chang, 2004), Zn ve Cd emiliminin diğer metallere oranla yüksek olduğu (Hasan ve ark., 2007), Cu'nun 5 ppm ortam derişimi etkisinde ise emilim oranının %88, Cd'un 5 ppm derişimine bırakıldığında ise %70 başarı sağlandığı bildirilmiştir (Mishra ve Tripathi, 2008). Bitkinin ağır metal remediasyon kapasitesindeki başarısı ortamda bulunan metallerin birbirleri ile etkileşimine bağlı olarak da değişmektedir. Türün 10 ppm Zn remediasyonunda %95, 1 ppm Cr remediasyonunda %84 (Mishra ve Tripathi, 2009), 1 ppm Cr ile 5 ppm Cu remediasyonunda ise %65 başarı sağladığı bildirilmiştir (Lissy ve Madhu, 2011). Ortamda mevcut metallerin birbirleri ile etkileşimi kadar ortamın fiziksel ve kimyasal parametrelerinin de fitoremediasyon başarısında etkili olduğu bildirilmiştir (Moyo ve ark., 2013).

Fitoremediasyonda başarılı uygulamaları olan bir diğer tür *Azolla spp.*'dir (Roberts ve ark., 2014). *Azolla spp.*'nin Cd, Ni ve Cr emilim kapasitesinin yüksek olduğu saptanmıştır. Bu türün endüstriyel atık sularından ağır metal gideriminde başarılı olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır (Rai, 2008; Mishra ve ark., 2009; Pandey, 2012).

Ağır metal giderim başarısı sadece türe değil metal kompozisyonuna göre de değişim göstermektedir. *Lemna minor* ortamdan Pb ve Ni gideriminde başarılı (Axtell ve ark., 2003), Cd ve Pb gideriminde ise başarısız (Hou ve ark., 2007) sonuçlar veren bir türdür. Bu tür, besin elementi fazlasının gideriminde kullanılmaktadır. Ortamdan As giderimi amacıyla yürütülen bir araştırmada *E. crassipes*'in başarı oranı (%18)'nin *L. minor* (%5)'a göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. *L. minor*'un Cr ve Pb remediasyon kapasitesinin yüksek Cu remediasyon kapasitesinin ise düşük olduğu belirlenmiştir (Üçüncü ve ark., 2013). Bu sonuçlar fitoremediasyon başarısında tür seçiminin ortamdan uzaklaştırılması gereken metal ve ortamın fizikokimyasal parametrelerin etkisine dikkat çekmektedir. *Myriophyllum spicatum* ile yürütülen bir araştırmada, türün Cu ile Zn'yu, Co ile Ni'e oranla daha fazla adsorbe edebildiği tespit edilmiştir. Bu türün Pb adsorpsiyon kapasitesinin ise *Ceratophyllum demersum*'a oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Keskinkan ve ark., 2007). *C. demersum*'un hem iz (Cu, Zn) hem de toksik (Pb,

Cd) metalleri depolayabildiği (Stankovic ve ark., 2000; Keskinkan ve ark., 2003) ve Pb giderim başarısının ise %70 (Rai ve ark., 1995) ve % 95 (Abdallah, 2012) olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, türün metal giderim mekanizmasındaki farklılığın da uygulama başarısında etkili olabileceğini göstermektedir.

Pistia stratiotes ile yürütülen bir araştırmada ise türün civaya karşı toleransının düşük (Odjegba ve Fasidi, 2004), diğer bir araştırmada da Hg gideriminde %80 başarı sağladığı Getkileşime ya da ortamın fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki farklılığa bağlı olabilir. Aynı türün Pb gideriminde de yüksek başarıya (%97) sahip olduğu belirlenmiştir (Vesely, 2011), bakır gideriminde (%66,6) başarı gösterdiği (Aurangzeb ve ark., 2014) belirlenmiştir. Bu bulgular türün toksik metallerin ortamdan uzaklaştırılmasında daha etkili kullanılabileceğini göstermektedir.

2.Sonuç ve Öneriler

Evsel, endüstriyel, tarımsal uygulamalar sonucunda oluşan atıkların ağır metal içerikleri yüksek olup yarılanma ömürlerinin uzun olması nedeniyle de katıldığı ortamda derişimleri sürekli artmaktadır. Yeterince arıtılmaksızın çevreye deşarj edilen ağır metaller karasal ekosistemlerde toprak kirliliğine, hidrolojik döngü sonucu yıkanarak yeraltı suları ve nehirler aracılığı ile sucul ekosistemlere taşınarak su kirliliğine neden olur. Bu durum da çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Dolayısıyla tamamen engellenemeyen bu kirliliğin çeşitli mühendislik yöntemleri ile iyileştirilmesine yönelik uygulamaların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması daha da önemlisi bu bilincin oluşturulması oldukça önemlidir.

Fitoremediasyon yöntemi ile ağır metal gideriminin hem toprak hem de su kirliliğinin iyileştirilmesinde uygulanabilir olması, çevre dostu ve alternatiflerine göre ekonomik olması avantaj sağlamaktadır.

Fitoremediasyonda başarının sağlanabilmesi, uygulama sahasındaki metal kompozisyonunun ve ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi ve sürekli izlenmesi ve ortama uygun tür seçiminin yapılması ile artırılabilir. Bu bağlamda yürütülen araştırmaların geliştirilmesi ve remediasyon bilincinin yaygınlaştırılması sağlanmalıdır. Bu şekilde ortama deşarj edilen kirleticilerin çevreye yayılması ve taşınması sınırlandırılabilir. Gerek sucul gerekse karasal besin kaynaklarının ağır metal ile kontaminasyonu azalacağından daha sağlıklı bir toplum ve sürdürülebilir bir dünya sağlanabilir.

Kaynaklar

- Abdallah, M.A.M. (2012) Phytoremediation of heavy metals from aqueous solutions by two aquatic macrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Lemna gibba* L. *Environmental Technology*, 33: 1609-1614.
- Akpor, O.B., Muchie, M., (2010) Remediation of Heavy Metals in Drinking Water and Wastewater Treatment Systems: Processes and Applications, *International Journal of the Physical Sciences*, 5 (12): 1807-1817.
- Aurangzeb, N., Nisa, S., Bibi, Y., Javed, F., Hussain, F. (2014) Phytoremediation potential of aquatic herbs from steel foundry effluent. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31: 881-886.
- Axtell, N.R., Sternberg, S.P.K., Claussen, K. (2003) Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresource Technology*, 89(1): 41-48.
- Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B. (2015) Fitoremediasyon Yöntemi İle Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1(1-2): 59-65.
- Çakmakçı, M., Baspınar, A.B., Balaban, Ü., Uyak, V., Koyuncu, Kınacı, C. (2008) İçme Sularında Arsenik ve Giderme Yöntemleri, Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları'08 Sempozyumu, İstanbul.
- Etim, E. E. (2012) Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3): 120-136.
- Glass, D.J. (2000). *The Phytoremediation Industry*. Glass Associates, Needham, MA.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., Aras, S. (2012) Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4): 235-253.
- Hasasn, S. H., Talat, M., Rai, S. (2007) Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresource Technology*, 98(4): 918-928.
- Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q., Chang, C. C. (2007) Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 62-69.
- Hussein, H., Farag, S, Kandil, K., Moawad, H. (2005) Resistance and uptake of heavy metals by Pseudomonads. *Process Biochemistry*, 40:955-961.
- Keskinkan, O., Göksu, M. Z. L., Yüceer, A., Başbüyük, M., Forster, C. F. (2003) Heavy metal adsorption characteristics of a submerged aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*). *Process Biochemistry*, 1-5.
- Keskinkan, O., Goksu, M. Z. L., Yuceer, A., Basibuyuk, M. (2007) Comparison of the adsorption capabilities of *Myriophyllum spicatum* and *Ceratophyllum demersum* for zinc, copper and lead. *Engineering in Life Sciences*, 7: 192-196.
- Kulshreshtha, A., Ranu, A., Manika, B., Shilpi, S. (2014) A Review on bioremediation of heavy metals in contaminated water. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8: 44-50.
- Liao, S.W., Chang, W.L. (2004) Heavy metal phytoremediation by water hyacinth at constructed wetlands in Taiwan. *Journal of Aquatic Plant Management*, 42: 60-68.
- Lissy, P. N. M., Madhu, G. (2011) Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth. *ACEE International Journal On Transportation and Urban Development. (IJTUD)*, 1: 48-52.
- Mishra, V. K., Tripathi, B. D. (2008) Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. *Bioresource Technology*, 99(15): 7091-7097.
- Mishra, V.K., Tripathi, B.D. (2009) Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3): 1059-1063.
- Mishra, V. K., Tripathi, B. D., Kim, K. H. (2009) Removal and accumulation of mercury by aquatic macrophytes from an open cast coal mine effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3): 749-54.
- Moyo, P., Chapungu, L., Mudzengi, B. (2013) Effectiveness of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in remediating polluted water: The case of Shagashe river in Masvingo, Zimbabwe. *Advances in Applied Science Research*, 4(4): 55-62.

- Nassouhi, D., Ergönül, M. B., Fikirdeşici, Ş., Karacakaya, P., Atasagun, S. (2018) Ağır Metal Kirliliğinin Biyoremediasyonunda Bazı Su içi ve Yüzcü Sucul Makrofitlerin Kullanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 14(2): 148-165.
- Odjegba, V.J., Fasidi, I.O. (2004) Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation. *Ecotoxicology*, 13(97): 637-646.
- Ogoyi, D.O., Mwita, C.J., Nguu, E.K., Shiundu, P.M. (2011) Determination of Heavy Metal Content in Water, Sediment and Microalgae from Lake Victoria, East Africa. *The Open Environmental Engineering Journal*, 4: 156-161.
- Özbek, K. (2011) Hiper Toplayıcı Bitkilerle Kadmiyumlu Toprakların İyileştirilmesi ve Gübre, Humik Asit ve Şelat Uygulamalarının Etkinliği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Doktora Tezi. Ankara, 98 s.
- Özbolat, G., Tuli, A. (2016) Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4): 502-521.
- Pandey, V.C. (2012) Phytoremediation of heavy metals from fly ash pond by *Azolla caroliniana*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 82(1): 8-12.
- Rai, U. N., Sinha, S., Tripathi, R. D., Chandra, P. (1995) Wastewater treatability potential of some aquatic macrophytes: removal of heavy metals. *Ecological Engineering*, 5: 5-12.
- Rai, P.K., (2008) Heavy Metal Pollution in Aquatic Ecosystems and Its Phytoremediation Using Wetland Plants: An Ecosustainable Approach, *International Journal of Phytoremediation*, 10: 133-160.
- Roberts, A. E., Boylen, C. W., Nierzwicki-Bauer, S. A. (2014) Effects of lead accumulation on the *Azolla caroliniana*-*Anabaena* association. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 10.1016/j.ecoenv.2014.01.019. Epub 2014 Feb 5.
- Sekabira, K., Origa, H.O., Basamba, T.A., Mutumba, G., Kakudidi, E., (2010) Assessment of Heavy Metal Pollution in the Urban Stream Sediments and Its Tributaries, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(3): 435-446.
- Singh, D., Tiwari, A., Gupta, R. (2012) Phytoremediation of Lead from Wastewater Using Aquatic Plants, *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 1-11.
- Stankovic, Z., Pajevic, S., Vuckovic, M. (2000) Concentrations of trace metals in dominant aquatic plants of the Lake Provala (Vojvodina, Yugoslavia). *Biologia Plantarum*, 43(4): 583-585.
- Taghinia Hejabi, A., Basavarajappa, H.T., Qaid Saeed, A. M., (2010) Heavy Metal Pollution in Kabini River Sediments, *International Journal of Environmental Research*, 4(4): 629-636.
- Tangahu, B. J., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. (2011) A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, Article ID 939161, 31pp.
- Terzi, H. Yıldız, M. (2011). Ağır Metaller ve Fitoremediasyon: Fizyolojik ve Moleküler Mekanizmalar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1-22.
- Tiryaki O., Potur, T. (2017) Toprakta Pestisitlerin Arındırılmasında Önemli Bir Araç: Fitoremediasyon. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 33(1): 59-68.
- Üçüncü, E., Tunca, E., Fikirdeşici, Ş., Özkan, A. D., Altındağ, A. (2013) Phytoremediation of Cu, Cr and Pb Mixtures by *Lemna minor*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91: 600-604.
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C. W., Xing, Y., Shang, L. (2012) Remediation of mercury contaminated sites - A review. *Journal of Hazardous Materials*, 221-222: 1-18.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., van der Lelie, D., Mench, M. (2009) Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16: 765-794.
- Vesely, T. Tlustos, P., Szakova, J. (2011) The use of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for rhizofiltration of a highly polluted solution by cadmium and lead. *International Journal of Phytoremediation*, 13(9): 859-872.