

TOPRAK SOLUCANI KULLANIMININ AĞIR METAL GİDERİMİNE ETKİSİFatih GÖKMEN¹¹*Iğdır Üniversitesi, Iğdır Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Iğdır.*

Geliş tarihi: 13.01.2020 Kabul tarihi: 02.03.2020

ÖZET

Dünya üzerinde varlığını devam ettiren canlıların yaşam kalitesi çevre kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Günümüzde kirleticilerin çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Artan kentleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olarak çevreye salınan ağır metal oranı da artırmaktadır. Doğaya salınan bu ağır metaller toprağa, bitkilere, hayvanlara, yeraltı sularına karışmakta ve sonunda tekrar insana dönmektedir. Oluşan kirliliği azaltmak ya da temizlemek için geliştirilmiş bazı teknikler bulunmaktadır. Bu tekniklerin etkili, ekonomik ve doğaya saygılı olması oldukça önemlidir. Bu nedenle gün geçtikçe fitoremediasyon ve biyoremediasyon teknikleri ile yapılmış çalışmalar artış göstermektedir. Bu derleme makalede amaç, solucanlarının topraklarda bulunan ağır metallerin uzaklaştırılması konusunda kullanımı ile ilgili bir kaynak oluşturmaktır.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, solucan, biyoremediasyon.

EFFECT OF SOIL WORM USAGE ON HEAVY METAL REMOVAL**ABSTRACT**

The quality of life of the living creatures that survive in the world is directly related to the quality of the environment. Today, pollutants are known to adversely affect the environment and human health. As a result of increasing urbanization and industrialization, the rate of heavy metal released into the environment increases. These heavy metals released into nature mix with soil, plants, animals and groundwater and eventually return to humans. There are some techniques that have been developed to reduce or clean up the resulting pollution. It is very important that these techniques are effective, economic and respectful to nature. Therefore, studies with phytoremediation and bioremediation are increasing day by day. The purpose of this review article is to provide a source for the removal of heavy metals found in the soil of worms.

Keywords: Heavy metal, worm, bioremediation.

1. GİRİŞ

Genel olarak tanımlamak gerekirse ağır metaller periyodik tabloda metaller sınıfına giren ve atom numaraları >20 olan elementlerdir. Ağır metaller olarak ifade edilen bu elementlerin bazıları hayvanlar ve bitkilerin metabolizmalarında işlev gösterirken aynı zamanda toksik elementlerdir.

Volkanizma faaliyetleri sonucu yer yüzüne ulaşmış olan ve madencilik faaliyetleri sonucunda yüzeye çıkarılan madenlerin ana ve/veya yan ürünleri olan ağır metallerin nihai ulaştıkları yer topraktır. Bu olayda toprakların filtreleme ve tamponlama özellikleri büyük önem taşımaktadır. Filtreleme ve tamponlama kabiliyetleri zayıf olan topraklarda yıkanma

yoluyla yer altı sularına karışan ağır metaller insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek şekilde ekosistemi tahrip edebilmektedir.

Günümüzde toprak kirliliğinin küresel bir sorun haline geldiği bir gerçektir. Başlıca toprak kirleticilerinden olan ağır metaller Cd, Cr, Hg, Pb, Cu ve Zn'dur. Bu ağır metaller bitki dokularında birikerek gıda zinciri içerisinde hayvan yemi ve gıdalara girmektedir. Ağır metaller biyoakümülyasyonla bitki bünyelerine daha sonrasında da hayvanların etine ve sütüne de geçerek dolaylı yönden gıdalara dahil olmaktadır.

Ağır metaller tarafında oluşturulan toprak degradasyonun geri dönüşümü oldukça zor ve zahmetli iş ve işlemleri içermektedir. Ağır metal degradasyonunda akümülyatör bitkilerin kullanımı, yıkama, kazma, katılaştırma, stabilizasyon, elektrokinetik uygulamalar yapılabilirken toprak solucanlarının verimlilik açısından kullanımı artarken bu canlıların ağır metalleri bünyelerinde topladıkları da bulunmuştur (Heşşen Türkay 2010).

2. TOPRAK KİRLİLİĞİ KONTROL YÖNETİM SEÇENEKLERİ

- Kirleticiyi olduğu şekliyle bırakmak, arazinin kullanımını yasaklamak,
- Kirlilik bulunan bölgedeki kirleticinin taşınımını engellemek ve arazinin sürekli denetim altında tutulması,
- Kirlilik bulunan bölgedeki toprağın uzaklaştırılması,
- Kirlilik bulunan bölgedeki toprağın bölge içinde veya bölge dışında temizlenmesi.

2.1. Fitoremediasyon Teknolojileri

Fitoremediasyon çevresel olarak risk oluşturan elementlerin bitkilerin kök, gövde veya yapraklarında depolanarak topraklardan kaldırılmasıdır. Son zamanlarda kirlilik bulunan bölgelerde kirliliğin giderimi için kullanımı artan önemli bir metottur. Farklı ıslah yöntemleriyle kıyaslandığında oldukça düşük masraflı, estetik olarak memnun edici olmasıyla beraber uygulama kolaylığı ve uygulama süresinin kısalığı gibi birçok avantaja sahiptir (Glass, 1999).

Fitoremediasyon kirlilik bulunan bölgenin ıslahında belirli bazı elementlere karşı dayanıklılığı bulunan ve bu elementleri bünyelerinde depolayan bitkiler kullanılarak yapılan önemli ve tatmin edici bir metottur. Fitoremediasyon diğer ıslah metotlarının verimliliklerini artırarak kümülatif başarı oranlarını da yükseltmektedir.

Fitoremediasyon yönteminin kullanımında bitkilerin kirlilik bulunan bölgede yaşama durumları, fazlalığı bulunan elementin bitkinin alabileceği formda olup olmadığı işlem için önemlidir. Yöntem uygulamasından sonra bünyesinde yüksek miktarda zararlı elementi toplamış olan bitkilerin bertarafı önem arz etmektedir. Kullanılan bazı bertaraf yöntemleri ise kurutma, gazifikasyon, piroliz, asit ekstraksiyonları gibi metotlarla bünyesinde yüksek miktarda zararlı elementi toplamış olan bitkiler imha edilmektedir. Zararlı elementlerin toprak kök derinliğinde bulunması bitkilerin bu elementlere ulaşmasında ve bünyelerine alınması göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Fitoremediasyon yönteminin dezavantajı ise diğer metotlarla kıyaslandığında uzun sürmesidir (Mulligan ve ark., 2001).

2.2. Toprak Yıkama Teknolojileri

Kirlilik bulunan bölgelerde kirliliğin giderimi için kullanılan metotlardan bir diğeri yıkamadır. Farklı (organik ve inorganik) kirleticiler tarafından kirletilmiş toprakların yerinden alınarak su bazlı artım teknolojisi kullanılan artım yöntemine yıkama teknolojisi denilmektedir. Bu su bazlı teknoloji, topraktaki kirleticileri ayırmak için mekanik süreçleri ve/veya kirleticilerin çözünürlük özelliklerini kullanmaktadır. İşlem sonucu kirleticiler serbest hale geçerek orijinal toprak hacminin %5 ila %40'lık kısmında konsantre olurlar (Anonymous, 2020).

2.3. Mekanik Ayırma Teknolojileri

Kirlilik bulunan bölgelerde kirliliğin giderimi için kullanılan metotlardan bir diğeri toprakların parçacık büyüklüğüne dayalı ayırma ile seçilmesi süreci olan mekanik ayırmadır. Bu arıtım teknolojisinin kullanımını olanak sağlayan şey ise farklı parçacık büyüklüğünde fraksiyonlarda farklı oranlarda element yoğunluğu bulunmalı. Ayırma işleminde gravimetrik çöktürme, flotasyon ayırıcıları ve manyetik ayırıcılar vb. ayırıcılar yardımı ile yapılmaktadır. Mekanik ayırma teknolojileri belirli bir formdaki elementin uzaklaştırılmasında kullanılır. Kirlilik bulunan toprakların ıslahında toprak kütleindeki azalma nedeniyle diğer metotlarla birlikte kullanılması işlemin gelecekteki uygulamalarını artıracığı bildirilmektedir (Mulligan ve ark., 2001).

2.4. Katılaştırma Teknolojileri

Kirlilik bulunan bölgelerde kirliliğin giderimi için kullanılan metotlardan bir diğeri toprağa eklenen bağlayıcı madde bağlanarak elementin hareketliliğinin azaltan kimyasal süreçler dizisine katılaştırma teknolojisi denilmektedir (Conner, 1990). Organik veya inorganik bağlayıcı maddeleri kirlilik bulunan bölgelere belirli oranlarda uygulanması şeklinde yapılmaktadır (Ünlü 1998). Arıtım maliyetleri göz önüne alındığında yerinde arıtım taşınarak yapılan arıtmadan daha ekonomik, uygulanabilir ve yaygın hale gelmektedir. Taşınarak arıtım yapılan küçük ölçekli tesislerde günde yaklaşık 100 ton kirli toprağı arıtılabilirken, büyük ölçekli tesislerde günde 500-1000 ton toprağı stabilize edebilmektedir (Mulligan ve ark., 2001).

2.4. Elektrokinetik Teknolojiler

Kirlilik bulunan bölgelerde kirliliğin giderimi için kullanılan metotlardan bir diğeri elektrokinetik ıslahdır. Kirlilik bulunan bölgeye yerleştirilen elektrotların arasındaki akımdan faydalanılarak kirleticilerin hareketliliğinden faydalanılarak gerçekleştirilmiş bir metottur. Yük farkından kaynaklanan hareketlilik genellikle su veya bazı tuz çözeltileri varlığında gerçekleşmektedir. Temel fizik prensibine göre anyonlar anotta tutulurken katyonlar katotlarda tutulmaktadır. Elektrotlara ulaşan kirleticiler elektroda elektro-kaplama veya çökeltim prosesi uygulanmasıyla, elektrod yakınındaki suyun yüzeye pompalanmasıyla veya iyon değiştirici reçineler yardımıyla bölgeden uzaklaştırılabilmektedir (Mulligan ve ark., 2001). Yöntemin en büyük avantajı düşük maliyetli bir ıslah yöntemi olma potansiyelidir. En büyük dezavantajları ise farklı gözenek boyutundaki topraklarda çözücünün hareketinin sınırlanmasıdır. Ayrıca, kirlenmiş bölgelerde bulunan büyük metal objeler, kayalar ve diğer engeller metottun etkinliğini azaltmaktadır (Acar ve Gale, 1995).

2.5. Toprak Solucanlarının Etkisi

Toprak solucanları metallerce kirlenmiş topraklarda metal mobilitesini ve bitkiye metal transferini artırmakla beraber toprak faunasının diğer üyelerine göre metal toksisitesine karşı daha dirençlidirler. Toprak solucanları metalleri bünyelerinde biriktirebilmekte ve alınabilir metal miktarını artırabilmektedirler.

Ağır metaller endüstriyel faaliyetler (madencilik, fabrika atıkları ve evsel atıklar), tarımsal faaliyetler (gübreleme ve tarım ilaçları kullanımı) ve volkanizma faaliyetlerle yeryüzüne ulaşabilmektedir. Hangi kaynaktan geldiğinden bağımsız olarak pekte önemi olmaksızın ağır metaller toprak canlılarının dokularında birikmektedir. Bu birikim toprakta birtakım biyolojik ve biyokimyasal olayları etkileyecek problemlere yol açmaktadır (Kızılkaya ve Aşkın, 2002; Kızılkaya ve ark., 2004). Solucanlar, toprak canlılarının aksine degradasyon sonucu toprakta bulunan ağır metallerden çok etkilenmektedir (Kızılkaya, 2004; 2005). Yaşam döngülerini sürdüren solucanların habitatında bulunan ağır metaller bazı zamanlarda dışkılama faaliyeti sonucunda tekrar toprağa dönerken çoğunlukla solucan bünyesinde kalmaktadır. Bu durum habitatda bulunan ağır metal konsantrasyonu ile yakından ilgilidir.

Karaca (2010a) yaptığı çalışmada toprak solucanlarının bünyesinde bulunan ağır metallerin solucan türlerine göre farklılık gösterdiğini ayrıca ağır metallere göre de farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Örneğin; Zn ve Cu ile Cd ve Pb'un birikim seviyeleri kıyaslandığında, vermikestde bulunan Zn ve Cu dokularında ise Cd ve Pb daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu durumun sebebi olarak, solucanların fizyolojileri olduğu, Zn ve Cu organizmaların yaşamsal faaliyetlerini sürdürmeleri için gerekli element olduğu bildirilmiştir. Fitoremedasyon tekniklerinin verimliliklerini artırarak doğal ekosistemin yeniden canlandırılmasına katkı sağlamaktadırlar (Karaca ve ark., 2010b).

Toprak solucanlarının ürünü olan vermikompost bitki gelişimi destekleyici, toprak düzenleyici, her türlü (bitkisel, hayvansal, endüstriyel vs.) atıkların üretimde kullanılabilmesine imkan sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ağır metallere kirlenmiş alanlar ve ağır metal kirliliği bulunan hammaddelerin temizlenmesinde alternatif bir yöntem olan toprak solucanlarının kullanımını içeren çalışmalar derlenmiştir.

Şehir atık sularının arıtılması sonrasında açığa çıkan ürün olan arıtma çamurunda bulunan ağır metal içeriğinin izlenmesi gerekmektedir. Sınır değerleri aşmasa da uygulama miktarı ve kümülatif uygulama sonucunda topraklar için risk oluşturabilmektedir. Bu problemlerin ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması amacıyla toprak solucanları kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarının toprak solucanları vasıtasıyla kompostlaştırma işlemleri sonucunda solucan bünyesinde ağır metal içeriğinin artış gösterdiği bilinmektedir.

Doube ve Brown (1998), yaptıkları çalışmada toprak solucanlarının ürünü olan vermikompost içerisinde bitki beslenmesini teşvik eden enzimler, besin elementleri, antibiyotikler ve büyüme hormonlarının yer aldığını, patojen maddelerin, ağır metallerin, ot tohumlarının ve parazit yumurtalarının bulunmadığını bildirmektedir. Ayrıca çalışmada vermikompost, solucan maması olarak bilinen organik atıklardan çok daha fazla mikrobiyal canlılık faaliyetleri bulunduğu ifade edilmektedir.

Kızılkaya (2004), yaptığı çalışmasında farklı dozlarda uygulanan arıtma çamurunun içerdiği ağır metal konsantrasyonlarının solucan dokularında Cu ve Zn birikimine, vermikompost içeriğinde ve solucan yaşam alanı etrafında ise Cu ve Zn fraksiyonları etkilerini incelemiştir. Arıtma çamuru uygulaması 30. gün örnekleri incelendiğinde, toprak, vermikompost ve solucan dokusundan alınan örneklerde en yüksek metal miktarlarını en yüksek arıtma çamuru dozunda (400 g kg^{-1}) belirlemiştir. Özellikle dışkılarda ve toprakta değişebilir Zn ve organik bağlı Cu fraksiyonları miktarlarının arıtma çamuru uygulaması yapılan tüm topraklarda diğer fraksiyonlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kızılkaya (2005), beş farklı organik atığın kullanıldığı çalışmasında, beş farklı dozda Zn uygulamasıyla toprak solucan dokuları ve oluşan solucan dışkılarındaki Zn üzerine etkisini araştırdığı çalışma sonucunda; organik atıklar uygulandıktan sonraki 21.günde toprak solucanı dokusu ve dışkısındaki en yüksek Zn miktarını belirlemiştir. Zn uygulaması yapılan topraklardaki solucanların doku ve dışkılarında önemli derecede uygulama yapılmamış topraklara göre yüksek Zn bulunmuştur. Karbon/Azot oranı yüksek olan organik atıkların bulunduğu uygulamalardaki toprak solucanlarında yüksek miktarda Zn bulunduğu bildirilmiştir.

Shahmansouri ve ark. (2005), arıtma çamurunda iki farklı ülkede yetiştirilen toprak solucanlarının Cr, Cd, Pb, Cu ve Zn'nin birikimini çalışmışlardır. Ağır metal içeriğinin vermikompost süresinin artması ile azaldığını bildirmişlerdir. İki farklı ülkede yetiştirilen solucanlar kıyaslandığında İranlı solucanların Avustralyalı solucanlara kıyasla Cu ve Zn gibi mikro besinleri daha fazla bünyelerine aldıkları belirlemiştir. Cr, Cd ve Pb gibi ağır metallerin birikiminin Avustralyalı solucan grubunda daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Çalışma sonucunda her iki solucan grubundan elde ettikleri vermikomposta da ağır metal konsantrasyonlarında anlamlı bir azalmaya ulaşmışlardır. Buda E. Fetida türlerinin vücut dokularındaki ağır metalleri biriktirme kapasitesi olduğu ifade edilmiştir.

Beguer ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada ağır metallerce kirlenmiş topraklarda faklı miktarlarda ağır metallerin, iki farklı türedeki toprak solucanlarının dokularındaki metal konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Solucan dokularında bulunan metallerin suda çözünebilir ve değişebilir formlar arasında zayıf bir ilişki belirlenmiştir. Organik bağlı formda bulunan metaller arasında yalnızca Cd için önemli bir ilişki belirlenmiştir. Ayrıca, toprak bileşenlerine adsorbe olan metallerin solucanlar tarafından biyoakümülyasyon yolu aldıklarını saptamışlardır.

Liu ve ark. (2005), yaptıkları verimliliğin artırılması ve ağır metal kirliliğinin azaltılması çalışmasında toprak solucanları kullanım potansiyelini belirlemişlerdir. Toprak solucanlarının atık çamurlarda bulunan Cu ve Cd miktarlarına etkisini belirlemek amacıyla bir laboratuvar çalışması yürütmüşlerdir. İnkübasyon sonunda solucan dokularında 250 mg kg^{-1} Cu ve 10 mg kg^{-1} kadar Cd artış tespit edilmiştir. Ayrıca, solucan uygulamasının bitki biyomasını artırdığı ve bitkinin Cd ve Cu kapsamını düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Hobbelen ve ark. (2006), yaptıkları çalışmalarında yüksek metal konsantrasyonları içeren topraklarda *Lumbricus rubellus* ve *Aporrectodea calliginosa* solucanlarının dokularında önemli miktarlarda ağır metal birikimi olduğunu bildirmişlerdir. Metal kirliliğibulunan 15 farklı alanda solucan dokularında ve ısırgan otu (*Urticadiocia*) bitkisi yapraklarında ve topraklar örneklerinde saf su ve CaCl_2 ekstraktlarında Cd, Cu, Zn miktarlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, solucan dokularında Zn konsantrasyonlarının anlamlı bir farklılık göstermediği bildirilmiştir.

Vijver ve ark. (2007), su altında kalan topraklar ve farklı amenajman pratiklerinin yürütüldüğü üç farklı havza da yaşayan toprak solucanlarının dokularındaki metal konsantrasyonlarında meydana gelen farklılıkların sebepleri araştırıldığı bildirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre epijeik solucanların biyoakümüle ettiği metal konsantrasyonları endojeik solucanlara oranla, mevsime bağlı olarak değişmekte olduğu bildirilmiştir. Su altında kalan alanlarda yaşayan solucan dokularında biriken metal miktarlarının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Ruiz ve ark. (2009), yaptıkları çalışmalarında maden ocağı olarak kullanılmış alandan ağır metallerce zengin topraklardan saksı denemesi kurmuşlardır. Bu topraklarda mısır ve arpa bitkilerinin toprak solucanları vasıtasıyla Pb, Zn, Cd ve Cu elementlerinin kaldırılmasını araştırmışlardır. Deneme sonuçlarına göre toprakların metal konsantrasyonları solucanlar tarafından önemli ölçüde değiştirildiğini ve her iki bitkininde Pb, Zn, Cd ve Cu elementlerini biyoakümülyasyonlarının önemli derecede arttığını bildirmişlerdir.

Giovanetti ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada uranyuma tarafında kirletilmiş toprakta solucan bünyesinde uranyum akümülyasyonunun biyolojik etkilerini araştırdıklarını bildirmişlerdir. Çalışmasında uranyum dozları $1.86-600 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğu bildirilmiştir. 28 günlük deneme planının ilk 7 gününden sonra biyolojik özellikleri (membran stabilitesi, ölüm gibi) belirlenmiş ve uranyumun solucanların ölüm ve çoğalmaları üzerine bir etkisi olmadığı bildirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, uranyuma tarafında kirletilmiş toprakta solucanların istatistiksel olarak önemli derecede yüksek etkiler gösterdiğini bildirilmiştir.

Hepşen Türkay (2010), yaptığı çalışmasında arıtma çamurunun fındık atık maddeleri ile toprak solucanları vasıtasıyla kompostlanmasından elde edilen vermikompostun toprak özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre arıtma çamurundan kaynaklı Zn içeriğinin toprak solucan dokularında arttığı ve vermikompost içeriğinde azalma olduğu bildirilmiştir. Toprak solucanlarının topraktan Zn uzaklaştırmasında kullanılabileceği bildirilmiştir.

Shaymaa ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada endüstriyel arıtma çamurundan Pb, Ni, Al ağır metallere vermikompostlama yöntemi ile gideriminin araştırmışlardır. Farklı oranlarda koyun gübresi ve arıtma çamuru karışımlarından hazırlanan karışımları 56 günlük inkübasyon süresi sonunda Pb, Ni, Al ağır metallere sırasıyla %97, %86, %72 oranında giderimin sağlandığı bildirilmiştir.

Li ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada domuz gübresi ile beslenen toprak solucanlarının Cu, Zn, Pb ve Cd un biyoakümülyasyonları ve bu elementlerin domuz gübresindeki biyoyararlılığı araştırılmıştır. Toprak solucanının biyoakümülyasyon faktörleri; Cd (2749 ± 0.441), Zn (0.594 ± 0.200), Pb (0.274 ± 0.101) ve Cu (0.076 ± 0.030) olduğu bildirilmiştir.

Liu ve ark., (2012), yaptıkları çalışmada arıtma çamurundaki ağır metallerin toprak solucanı aktivitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Arıtma çamurunun kompostlama öncesi ve sonrası yapılan karşılaştırma sonucunda; su içeriği, pH değeri, organik madde miktarının azaldığı, toplam azot içeriğinin arttığı, toplam fosfor ve potasyum içeriğinin azaldığı, kullanılabilir azot konsantrasyonu ve kullanılabilir fosfor içeriğinin arttığı, Cu, Ni, Cd, Pb, Zn metallerindeki toplam içeriğinin azaldığı bildirilmiştir. Vermikompostlama ile ağır metallerin uygun bir şekilde giderilebileceği bildirilmiştir.

Pattnaik ve Reddy (2012), yaptıkları çalışmada kentsel katı atıklar ve bitkisel atıkların Pb, Zn, Cd, Cu ve Mn ağır metallerinin toprak solucanları ile giderimi araştırılmıştır. *Eudriluseugeniae*, *Eiseniafetida* ve *Perionyxexcavatus* türleri kullanılarak ağır metal gideriminin önemli derecede sağlandığı bildirilmiştir. *E. eugeniae* türü tarafından üretilen vermikompostun, *P.excavatus* ve *E.fetidatürleri* tarafından üretilen vermikompost ve komposta göre ağır metal gideriminde daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Iwai ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada cassava küsbesi ve kabuğuna ilave edilen %5 oranında ham çamur 30 gün süre ile vermikompost işlemine tabi tutmuşlardır. Araştırma sonucu, karışımlara eklenen solucanların %96 ile %100 oranında canlılıklarını sürdürdükleri ve Cr, Cu, Cd, Pb ve Hg gibi ağır metallerin miktarlarında önemli oranlarda azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Suthar ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada kağıt fabrikasının atık su arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin inek gübresi ile toprak solucanları vasıtasıyla giderimi araştırılmıştır. Farklı oranlarda yapılan karışımlar 60 günlük inkübasyona tabi tutulduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda; oransal olarak Cd (%32-37), Cr (%47.3-80.9), Cu (%68.8-88.4) ve Pb (%95.3-97.5) ağır metallerin miktarlarında azalma olduğu ve toplam-N, alınabilir P ve K seviyelerinde önemli derecede artış olduğu bildirilmiştir. En verimli giderim işlemi, arıtma çamuru: inek gübresi (2:1 ve/veya 3:1) karışımlarında meydana geldiği bildirilmiştir. Toprak solucanlarının dokularındaki metallerin birikimlerinin; kuru biyokütlerde Pb ($8.81-9.69 \text{ mg kg}^{-1}$), Cd ($2.31-2.71 \text{ mg kg}^{-1}$), Cr ($20.7-35.9 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Cu ($9.94-11.6 \text{ mg kg}^{-1}$) olduğu bildirilmiştir.

Suleiman ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada toprak solucanları kentsel katı atık, talaş tozu ve bitkisel atıklar ile beslendiği bildirilmiştir. Bu beslenme sonucunda toprak solucanlarının bünyelerinde sırasıyla Cd>Co>Cu>Zn>Ni>Pb>Cr ağır metallerinin biriktiği bildirilmiştir. Vermikompostta bulunan ağır metal kontaminasyonu engellenmiş olduğu bildirilmiştir.

Sharma ve Garg (2018) yaptıkları çalışmada toprak solucanları tarafından pirin samanı ve kağıt atığının bitkilerin beslenmesinde kullanılabileceği araştırılmıştır. İnek gübresi ve pirinç samanı-kağıt atığı kullanılarak dokuz farklı hammadde üretildiği bildirilmiştir. Laboratuvar koşullarında toprak solucanları ile 105 günlük inkübasyona tabi tutulduğu bildirilmiştir. Araştırma sonuçları N, P, K içeriğinin vermikompostda daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Zuo ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada atık çamurunun solucanlarının vermikompost haline dönüştürülmesi, kanalizasyon çamurunun çamur toprağına doğrudan uygulanmasından kaynaklanan ağır metal kirlenme riskini en aza indirmek için etkili olabileceği bildirilmiştir. Sonuçlar, vermikompost uygulamanın toprak kütle yoğunluğunu, tuzluluk ve pH'ı azalttığını topraktaki organik karbon, azot ve fosfor içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Arıtma çamurunda bulunan Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin zararlı etkilerinden korunduğu bildirilmiştir. Vermikompostun, arıtma çamuru yerine etkili ve güvenli bir alternatif olabileceği bildirilmiştir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğaya salınmış olan ağır metalleri bertaraf etmek çok zor ve pahalıdır. Topraklardaki metallerin etkisini yok etmek için kazma, katılaştırma, stabilizasyon, toprak yıkama, elektrokinetik, fitoremediasyon ve biyoremediasyon gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Biyoremediasyon yöntemi diğer yöntemlere göre kirlenmiş alanların temizlenmesinde en uygun yöntemlerden biridir. (Ceyhan ve Esmeray, 2012). Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda toprak solucanlarının ortamda bulunan ağır metalleri bünyelerinde biriktirdiği bilinmektedir. Toprak solucanlarının ağır metalleri dokularında biriktirmeleri yanı sıra, besin elementlerini bitkinin ihtiyaç duyduğu forma dönüştürme, bitkilerin gelişimini teşvik etme, toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi nedeniyle, diğer arıtma teknolojilerine göre toprağa daha yararlı olduğu bilinmektedir.

Toprak solucanlarının genellikle ağır metal kirliliği bulunan materyallerin temizlenmesinde kullanılması biyoremediasyon için tam anlamıyla kullanılabilirliği düşünülmektedir. Toprak şartlarında solucanların hayat döngüleri sonun da topraktan nasıl uzaklaştırılacağı ve hayat döngüleri içerisinde tüm toprak ve iklim şartlarına adapte olma durumları incelenmelidir. Tüm bu soru işaretlerine rağmen biyolojik döngünün tamirinde gene biyolojik materyallerin kullanımı ve teşvik edilmesi önemsenmektedir. Bu sebepten ötürü konu ile ilgili yapılacak çalışmalara hız verilmeli ve konu ile ilgili araştırmalar desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Acar, Y.B., Gale, R.J., 1995. Electrokinetic remediation: basics and technology status, *Journal of Hazardous Materials*, 40, 117-137.
- Anonymous, 2020. Best Management Practices (BMP's) for Soil Treatment Technologies: Suggested Operational Guidelines to Prevent Cross-media Transfer of Contaminants During Clean-up Activities. <https://nepis.epa.gov> (Erişim Tarihi: 26.02.2020).
- Beguer, T., Dai, J., Cecile, Q., Lavelle, P., 2005. Sources of bioavailable trace metals for earthworms from a Zn-, Pb- and Cd-contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(8), 1564-1568.
- Ceyhan, N., Esmeray, E., 2012. Petrol Kirliliği ve Biyoremediasyon. *Türk Bilimsel Derleme Dergisi*, 5(1), 95-101.
- Conner, J.R., 1990. *Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Doube, M., Brown, G., 1998. Life in A Complex Community Functional Interactions between Earthworms, Organic Matter, Microorganisms, and Plants. CRC Press, Edwards, C.A. (Ed.) 179-211.
- Giovanetti, A., Fesenko, S., Cozzella, M.L., Asencio, L.D., Sansone, U., 2010. Bioaccumulation and biological effects in the earthworm *Eisenia fetida* exposed to natural and depleted uranium. *Journal of Environmental Radioactivity* 101(6), 509-516.
- Glass, D.J., 1999. Economic potential of phytoremediation, *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*, (Raskin I., Ensley B.D., Eds.), John Wiley& Sons, New York, ss.15-31.
- Hepşen Türkay, F.Ş., 2010. Fındık Zurufu Ve Arıtma Çamurunun Solucanlarla Kompostlanması ve Elde Edilen Vermikompostun Sera ve Tarla Koşullarında Toprakların Biyolojik Özelliklerinde Meydana Getirdiği Etkilerin Belirlenmesi. OMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Samsun, 166s.
- Hobbelen, P.H.F., Koolhass, J. E., Gestel, C.A., 2006. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworms *L. Rubellus* and *A. caliginosa* in relation to total and available metal concentrations in field soils. *Environmental Pollution* 144, 639-646.
- Iwai, C.B., Ta-Oun, M., Chuasavatee, T., Boonyotha, P., 2013. Management of municipal sewage sludge by vermicomposting technology: Converting a waste into a bio fertilizer for agriculture. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 4(1), 169-174.

- Karaca, A., Çetin, S.C., Turgay, O.C., Kizilkaya, R., 2010a. Effects of heavy metals on soil enzyme activities. In: Soil Heavy Metals, Soil Biology, I. Sheremati and A. Varma (Eds), Vol. 19., Springer Verlag Berlin Heidelberg, p. 237-267.
- Karaca, A., Kizilkaya, R., Turgay, O.C., Cetin, S.C., 2010b. Effects of earthworms on the availability and removal of heavy metals in soil. In: Soil Heavy Metals, Soil Biology, I. Sheremati and A. Varma (Eds.), Vol. 19., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 369-388.
- Kızılakaya, R., 2004. Cu and Zn accumulation in earthworm *L. Terrestris* L. in sewage sludge amended soil and fractions of Cu and Zn in casts and surrounding soil. Ecological Engineering, 22, 141-151.
- Kızılakaya, R., 2005. The role of different organic wastes on zinc bioaccumulation by earthworm *Lumbricus Terrestris* L. (Oligochaeta) in successive Zn added soil. Ecological Engineering, 25, 322-331.
- Kızılakaya, R., Aşkın, T., Bayraklı, B., Sağlam, M., 2004. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. European Journal of Soil Biology, 40, 95-102.
- Kizilkaya, R., Askin, T., 2002. Influence of cadmium fractions on microbiological properties in Bafra plain soils. Archives of Agronomy and Soil Science 48,263-272.
- Li, L., Xu, Z., Wu, J., Tian, G., 2010. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure. Bioresource Technology, 101, 3430-3436.
- Liu, F., Zhu, P., Xue, J., 2012. Comparative study on physical and chemical characteristics of sludge vermicomposted by *Eisenia Fetida*. Procedia Environmental Sciences, 16, 418-423.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: An evaluation, Engineering Geology, 60, 193-207.
- Pattnaik, S., Reddy, M.V., 2012. Remediation of heavy metals from urban waste by vermicomposting using earthworms: *Eudrilus eugeniae*, *Eisenia fetida* and *Perionyx excavatus*. International Journal of Environment and Waste Management, 10(2), 284-296.
- Ruiz, E., Rodríguez, L., Alonso-Azcárate, J., 2009. Effects of earthworms on metal uptake of heavy metals from polluted mine soils by different crop plants. Chemosphere, 75, 1035-1041.
- Shahmansouri, M.R., Pourmoghadas, H., Parvaresh, A.R. and Alidadi, H., 2005. Heavy metals bioaccumulation by Iranian and Australian earthworms (*Eisenia fetida*) in the sewage sludge vermicomposting Iranian Journal Environmental Health Science Engineering, 2(1), 28-32.
- Sharma, K., Garg, V.K., 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) Bioresour. Technol., 250, pp. 708-715.
- Shaymaa, M., Ahmed, H., Norli, I., Morad, N., Mahamad Hakimi, I., 2010. Removal of Aluminium, Lead and Nickel From Industrial Sludge Via Vermicomposting Process. World Applied Sciences Journal, 10(11), 1296-1305.
- Suleiman, H., Rorat, A., Grobelak, A., Grosser, A., Milczarek, M., Płytycz, B., Kacprzak, M., Vandembulcke, F., 2017. Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*. Bioresource Technology, 241, 103-112
- Suthar, S., Sajwan, P., Kumar, K. 2014. Vermiremediation of heavy metals in wastewater sludge from paper and pulp industry using earthworm *Eisenia Fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 109, 177-184.
- Ünlü, K., 1998. Toprak Kirliliği: Özellikleri, kontrolü ve temizlenmesi, Çevre ve Mühendis, 16, 20-29.
- Vijver, M.G., Vink, J.P.M., Miermans, C.J.H., Gestel, C.A.M., 2007. Metal accumulation in earthworms inhabiting flood plain soils. Environmental Pollution, 148, 132-140.
- Zuo, W., Xu, K., Zhang, W., 2019. Heavy metal distribution and uptake by maize in a mudflat soil amended by vermicompost derived from sewage sludge. Environ. Sci. Pollut. Res., 26, 30154-30166.