

Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Erdal ÖBEK, Şule Yüksel TATAR, Halil HASAR, E. Işıl ARSLAN ve Ubeyde İPEK
Fırat Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi. Çevre Mühendisliği, ELAZIĞ
eobek@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi ile KÖY-TÜR Kesimhane Arıtma Tesisi arıtma çamurlarında ağır metal düzeyleri araştırılmıştır. Bu amaçla her iki arıtma tesisinden arıtma çamuru numuneleri alınmış ve ağır metal düzeyleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda toplam metal konsantrasyonlarının belediye arıtma çamurlarında Fe 2349 ± 545.3 ppm, Cr 73.1 ± 10.94 ppm, Cu 148.5 ± 20.5 ppm, Zn 310.9 ± 42.73 ppm, Co 56.2 ± 11.26 ppm, Mn 299.5 ± 52.58 ppm, Ni 74.8 ± 12.29 , Pb 48.7 ± 45.99 ppm aralığında ve KÖY-TÜR arıtma çamurlarında ise Fe 2115 ± 248.48 ppm, Cr 40.7 ± 7.73 ppm, Cu 173.1 ± 15.1 ppm, Zn 1450.1 ± 148.72 ppm, Co 5.42 ± 0.85 ppm, Mn 203 ± 16.59 ppm, Ni 98.9 ± 7.78 , Pb 1.675 ± 0.18 ppm aralığında olduğu saptanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre KÖY-TÜR arıtma tesisi arıtma çamurundaki Ni hariç her iki tesisin çamurlarındaki ağır metal düzeylerinin ülkemiz Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilebilecek maksimum ağır metal içeriklerinin altında, toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal muhtevaları limit değerlerinin ise her iki çamur numunesinde de Ni bakımından üzerinde olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Arıtma Çamuru, Ağır Metal, Atıksu, Kentsel, Endüstriyel

Evaluation of Heavy Metal Levels in Sewage Sludges of Municipal and Industrial Wastewater Treatment Plants

Abstract

In this study, concentrations of various heavy metals in sewage sludges of Elazığ-City Domestic Wastewater Treatment Plants (DWTP) and KÖY-TÜR Slaughterhouse Wastewater Treatment Plants (SWTP) were determined and evaluated according to Turkish Regulation of Soil Pollution Control. The total concentrations of heavy metals were found to be 2349 ± 545.3 ppm for iron, 73.1 ± 10.94 ppm for chromium, 148.5 ± 20.5 ppm for copper, 310.9 ± 42.73 ppm for zinc, 56.2 ± 11.26 ppm for cobalt, 299.5 ± 52.58 ppm for manganese, 74.8 ± 12.29 ppm for nickel, 48.7 ± 45.99 ppm for lead in the sludge of DWTP and 2115 ± 248.48 ppm for iron, 40.7 ± 7.73 ppm for chromium, 173.1 ± 15.1 ppm for copper, 1450.1 ± 148.72 ppm for zinc, 5.42 ± 0.85 ppm for cobalt, 203 ± 16.59 ppm for manganese, 98.9 ± 7.78 ppm for nickel, 1.675 ± 0.18 ppm for lead in the sludge of SWTP. According to Turkish Regulation of Soil Pollution Control, all heavy metals levels except for Ni in KÖY-TÜR sludges were can be considered appropriate for use in agricultural fields, but Ni concentrations in both sludges were not within the allowable values.

Keywords: Sewage sludge, Heavy metal, Wastewater, Municipal, Industrial

1. Giriş

Çeşitli faaliyetler sonucunda oluşan atıksuların çevreye olası zararlı etkilerini azaltmak için yapılan atıksu arıtma tesislerinin yaygınlaşmasına paralel olarak arıtma çamurları da artış göstermektedir. Dünya genelinde atık çamur üretimindeki dramatik artışlar ve atıksu tasfiye

sahalarındaki arıtma çamurunun güvenli şekilde uzaklaştırılması ciddi bir darboğazdır [1, 2]. Atıksu tasfiyesinin toplam maliyetinin yaklaşık %50'si çıkış çamurunu uzaklaştırmak için gerekmektedir [3]. Arıtma çamurlarını uzaklaştırma yöntemleri arasında; tarımda kullanma, ormancılık ve verimsiz arazilerin ıslahında kullanma, depolama, yakma, kompostlamada katkı maddesi olarak kullanma, göl ve denizlere deşarj bulunmaktadır. Son zamanlarda ise, arıtma çamurlarının araziye uygulanması tercih edilen bir yol olmuştur. Atıksu arıtma proseslerindeki mikrobiyal besin zincirinin doğal son ürünü olan arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor gibi nütrientlerin atığa faydalı bir gübre, organik maddelerin ise iyi bir toprak ıslah edici madde özelliği vermesi sebebi ile ABD Çevre Koruma Örgütü (EPA) başta olmak üzere birçok ülkedeki yetkili kuruluş arıtma çamuru gibi biyolojik katıların tarımda kullanımını desteklemeye başlamışlardır.

Doğal gübrelemelere olan ilginin arttığı günümüzde arıtma çamurlarının, toprağın organik madde içeriği ile tarımsal ürünün ihtiyaç duyduğu bitki besin elementlerini sağladığı, ürün verimi ile kalitesini arttırdığı, bitkilerde olumlu gelişmeye neden olduğu ve ayrıca farklı bölgelerdeki ve farklı iklim koşulları altındaki verimsiz toprakların fiziksel ve biyolojik özelliklerini geliştirdiği de belirlenmiştir [4 -11]. Chander ve diğ. [12] ve Johansson ve diğ. [13] çalışmalarında araştırılan metallerin hiçbirinin toprak mikrobiyolojisine herhangi bir ters etki göstermediğini bildirmişlerdir.

Kentsel organik atığın devamlı uygulanması ağır metallerin toprakta belirgin bir artışına yol açar [14-19]. Çamur uygulamasından sonra üst toprak katmanlarındaki ağır metal konsantrasyonu dağılımı farklı toprak tiplerine göre değişmektedir [20]. Toprak özelliğinin önemi Khan ve Scullion [21] tarafından vurgulanmıştır.

Çamurdaki metal konsantrasyonu yüksek olduğunda çamurla şartlandırılmış özellikle asidik bir toprakta büyüyen bitkilerce metal alımının arttığı belirlenmiştir [22-25]. Richards ve diğ. [26] çamurla şartlandırılmış topraklarda büyüyen çimdeki Cd, Cu ve Ni konsantrasyonlarının yüksek olduğunu bulmuşlardır. Yönetmeliklerce arıtma çamuru uygulanacak toprağın pH'ının 6.5 veya daha yüksek olması istenir. Böylece ağır metallerin toprak içerisindeki hareketleri sınırlanmış olur.

Laboratuvar ve doğal ortamlarda incelenen birçok bitki türünde, ağır metallerden Co, Cd ve Ni'nin fotosentezi azaltıp inhibe ettiği, stomatal faaliyeti engellediği [27-31]; Cd, Cr, Zn ve Mn'nin nekrozis ve klorozise neden olduğu [32-34]; Cu, Hg, Cd, Mn, Co ve Zn'nin tohum çimlenmesini engellediği [35-41]; Ni, Hg, Cd, Cu ve Pb'nin hormonal dengeyi bozduğu [42-45] anlaşılmıştır.

Arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda bilinçsiz bir şekilde kullanılması geri dönüşümü olmayan muhtemel çevre ve sağlık sorunlarını beraberinde getirecektir. Bu nedenle toprak ekosistemini ve canlı sağlığını bozacak unsurlardan ağır metaller dikkatle ele alınmalı ve izlenmelidir.

Topraklara ağır metal girdisi gelişmiş ülkelerde en azından tarıma uygulanan çamurlarda limit konsantrasyonlar tariflenerek düzenlenmiştir. Gelişmiş ülkelerdeki ve Türkiye'deki farklı yönetmelikler toprağa arıtma çamuru uygulaması sebebi ile kirleticilerin yükünü sınırlandırmak için spesifik yaklaşımlar içermektedir. Bu çalışmada, Elazığ Belediyesi

Atıksu Arıtma Tesisi ve KÖY-TÜR Tavuk Kesimhane Arıtma Tesisi arıtma çamurlarında ağır metal düzeyleri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada incelenen çamur örneklerinden biri Elazığ Kenti Atıksu Arıtma Tesisi nihai çamur toplama alanlarının belli aralıklarından eşit miktarlarda alınarak bunlar karıştırılıp kompozit hale getirilmiştir. Ön arıtma, biyolojik arıtma ve çamur giderme ünitelerinden oluşan Elazığ Kenti Atıksu Arıtma Tesisi 2020 yılına göre projelendirilmiş ve 1995 yılında işletmeye alınmıştır. Toplanan atıksular çapı 1200 mm olan kollektörle tesisin giriş yapısına verilmektedir. Atıksu buradaki sürgülü kapaklar vasıtasıyla yönlendirilerek ön arıtma ünitesine girmektedir. buradaki ince ızgaralarla atıksu bünyesinde bulunan yüzen maddeler ve iri daneler tutularak kum tutucuya gönderilmekte ve burada atıksuda bulunan inorganik maddeler ve ince kum taneleri çökerek sudan ayrılmaktadır. Burada tutulamayan inorganik ve çökebilen organik maddeler ön çökeltme havuzu vasıtasıyla sudan ayrılmaktadır. Havuz tabanına çöken çamurlar, buradan çamur yoğunlaştırma havuzlarına pompalanmaktadır. Ön çökeltme havuzundan savaklanan atıksular havalandırma havuzlarına alınmakta ve burada biyolojik arıtma gerçekleşmektedir. Havalandırma havuzundan çıkan atıksu, son çökeltim havuzuna verilmekte ve içerdiği biyolojik yumakları buraya bırakmaktadır. Arıtılmış sular alıcı ortama deşarj edilmek üzere son çökeltme havuzundan savaklanmaktadır. Son çökeltme havuzlarının çamur haznesinde toplanan çamurların bir kısmı sisteme geri döndürülmekte, diğer kısmı ise çamur yoğunlaştırma havuzlarına gönderilmektedir. Yoğunlaşan çamurlar aerobik çamur çürütme havuzlarına verilmektedir. Burada çürüyen çamurlar çamur kurutma yataklarına basılmakta ve açık havada kurumaya terk edilmektedir. Kuruyan bu çamurlar zaman zaman alınarak nihai toplama alanına verilmekte ve tarımsal alanlarda kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan ikinci çamur numuneleri KÖY-TÜR Kesimhane Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmıştır. Tesis fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşmaktadır. Kesimhanelerden çıkan katı atıklar ve kirli sular pompa vasıtası ile kaba tüy-su ayırıcı eleğe gönderilerek, burada suyun içindeki 3 mm'den büyük partiküller ayrılmaktadır. Katı atıklar işlenmek üzere Rendering ünitesine, daha ufak partiküller ise: ikinci defa elenmek üzere ince eleğe gönderilmektedir. Burada 20 mikrona kadar olan partiküller elenerek kaba atıklar Rendering ünitesine, atıksu ise biyolojik arıtma ünitesine gönderilmektedir. Biyolojik arıtma ünitesi yağ alma havuzu, dengeleme havuzu, havalandırma havuzu ve çökeltme tankı bölümlerinden oluşmaktadır. Biyolojik arıtma ünitesine gelen sıvı atıklar yağ alma havuzuna boşaltılmakta ve burada bulunan özel bir pompa ile suya hava verilerek, sudaki yağ ve ince partiküllerin yüzeye çıkması sağlanmaktadır. Yüzeyde biriktirilen yağ ve bir takım partiküllerden oluşan tabaka, sıyrıcı yardımı ile yağ tankına toplanmaktadır. Bu tanktan pompa yardımı ile rendering tesisi üzerindeki yağ ve kaba atıkları dinlendirme tankına gönderilmektedir. Burada bir süre dinlendirildikten sonra dipteki su alınmakta ve geri kalan yağ ve kaba partiküller rendering tesislerinde işleme tabi tutulmaktadır. Dengeleme havuzuna gelen yağı çok iyi alınmış atıksu ile çökeltme tankından gelen geri dönüş çamurunun karışımı iyice sağlandıktan sonra bir pompa vasıtasıyla biyolojik arıtmanın gerçekleşeceği havalandırma havuzuna verilmektedir. Sistem; kendi içinde (dengeleme havuzundan-havalandırma havuzuna, havalandırma havuzundan-çökeltme tankına, çökeltme tankından-dengeleme havuzuna) sirkülasyon şeklinde çalıştırılmaktadır. Havalandırma havuzunu terk eden atıksular bünyelerindeki bakteriyel flokları bırakmaları için çökeltme tankına verilmektedir. Çökeltme havuzu haznesinde toplanan çamurun bir kısmı dengeleme havuzuna aşı çamuru olarak geri

verilmekte, kalanı ise çökeltme havuzundan savaklanan arıtılmış sular ile birlikte alıcı ortama deşarj edilmektedir.

Çamur numuneleri, 2002 yılı Temmuz-Ekim aylarında 15 gün arayla Belediye atıksu arıtma tesisinin nihai çamur toplama alanlarından, KÖY-TÜR kesimhane atıksu arıtma tesisinin ise havalandırma tankına geri döndürülen kanalından alınmıştır.

Yukarıda belirtilen her iki farklı sistemden alınan çamur örneklerinin ağır metal analizlerinin yapılması için çamur numuneleri laboratuvar koşullarında 12 saat 65 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Metal konsantrasyonlarını belirlemek için çamur örnekleri derişik nitrik asitle muameleye tabi tutulmuştur [46]. 3 g kurutulmuş çamur üzerine 5 ml derişik HNO₃, 100 ml saf su eklenerek sıcak ocak üzerine bırakılmış ve numuneler açık renkli olana kadar kaynatılmıştır. Daha sonra numuneler mavi bantta süzölmüş ve hacmi 100 ml' ye tamamlanmıştır. Ağır metal analizleri AAS'de (Perking Elmer Atomic Absorbtion Spectrometer) yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

İncelenen Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi ile KÖY-TÜR Kesimhane Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamuru örneklerindeki toplam metal konsantrasyonları (Fe, Cr, Cu, Zn, Co, Mn, Ni, Pb) Tablo 1'de verilmiştir. Literatürde bu konuda çok fazla çalışma yapılmış olup bunlardan Öbek ve İpek [47] arıtma çamurlarında bulunan toplam metal konsantrasyonlarının oranlarının ve ortalama değerlerinin (mg/kg kuru çamur) Fe 8067, Zn 955, Mn 241, Cu 117, Ni 7333, Cr 68, Pb 57 ve Cd 1.6 düzeyinde olduğunu, Yılmaz ve diğ. [48] % 1.86 Fe, % 0.19 Zn, 402.00 ppm Mn, 74.00 ppm Cu, 14.00 ppm Co, 12.00 ppm Ni, 51.00 ppm Cr, 0.73 ppm Cd bulunduğunu, Şčanč ar ve diğ. [49] Cd 1.5-4.22 mg/kg, Cr 408-1235 mg/kg, Cu 185-695 mg/kg, Fe 17050-34450 mg/kg, Ni 372-995 mg/kg, Pb 88-175 mg/kg, Zn 1025-2650 mg/kg olduğunu saptamışlardır. Bu bilgiler ağır metallerin konsantrasyon oranlarının geniş bir aralığını gösterir. Bu durumun çamurda zamanla değışebilen ağır metal konsantrasyonlarının yerel faaliyetlere (evsel, endüstriyel ve tarımsal) ve atıksu ile arıtma çamuruna uygulanan işlemlere bağılı olduğu söylenebilir. Ayrıca, Scheffer ve Schachtschabel [50] tarafından belirtildiğı gibi humik (organik) maddelerin heterojen bir yapı göstermeleri hem element içeriklerinin hem de fonksiyonel grup kapsamalarının farklı olmasına yol açmaktadır. Çünkü yapılarında birden fazla çekirdek bulunabilmekte ve dolayısıyla bunlara bağılı gruplar da farklılık gösterebilmektedir.

Arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda gübre amaçlı kullanımının artması çamurların özellikle ağır metaller yönünden daha sıkı standartlara tabi tutulmasını da beraberinde getirmiştir. Almanya'da 1983 yılında yürürlüğe giren Arıtma Çamuru Yönetmeliğı'ne göre çamurdaki ağır metal sınırlamaları, 1992 yılı itibariyle çeşitli Avrupa ölkelerinde uygulanan ve Avrupa Topluluğı'nca kabul edilen çamur standartları [51], US EPA tarafından verilen arıtma çamurundaki metal standartları için en yüksek limit değerleri ve ölkemizde 2001 yılında yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğı'ndeki tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilebilecek maksimum ağır metal içerikleri (mg/kg kuru çamur) [52] Tablo 1'de verilmiştir. Birçok ölkede olduğu gibi ölkemizde de arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılabilmesi için çamurdaki ağır metal içeriklerinin Tablo 1'deki sınır değerleri geçmemesi gerekir.

Tablo 1. Elazığ atıksu arıtma tesisi ve KÖY-TÜR atıksu arıtma tesisi arıtma çamurunun ihtiva ettiği ağır metal konsantrasyonları ve bu konsantrasyonların sınır değerlerle karşılaştırılması (mg/kg kuru çamur)

	Fe	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	Pb	Co
E.A.A.T.	2349± 545.3	73.1± 10.9	148.5± 20.5	310.9± 42.7	56.2± 11.3	299.5± 52.6	74.8± 12.3	48.7± 8.4
KÖY-TÜR	2115± 248.5	40.7± 7.7	173.1± 15.1	1450.1± 148.7	5.42± 0.85	203± 16.59	98.9± 7.78	1.68± 0.18
Türkiye ¹		4000	1750	400		1200	1200	
Türkiye ²		3000	1200	300		1500	1500	
ABD (EPA) ³		2800	1500	420		1200	300	
ABD (EPA) (Sınırlı k. ⁴)		7500	4300	420		3000	840	
Almanya		2500	800	200		900	900	
İsveç		800	600	50		100	100	
Hollanda		300	75	30		75	100	
Danimarka		4000	1000	30		100	120(60) ⁵	
Fransa		3000	1000	100		1000	800	
İrlanda		2500	1000	300		-	750	
İspanya		2500	1000	300		1000	750	
Avrupa Top.		2500- 4000	1000- 1750	300- 400		1000- 5000	750- 1200	

¹-Toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal konsantrasyonları (mg/kg) (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği).

²-Toprakta on yıllık dönem esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği).

³Çamurun bütün metal değerleri bu değerlerin altında ise sınırsız kullanım.

⁴Yılda belli bir yükleme oranını geçemez.

⁵Parantez içindeki değer evlerin bahçelerine uygulanacak limittir.

Her iki atıksu arıtma tesisi çamuru örneklerinde belirlenen ağır metal değerleri KÖY-TÜR arıtma çamurundaki Ni hariç Türkiye’de Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ndeki toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal konsantrasyonları sınır değerlerin altında bulunmuştur. Fakat çamurun tarımsal amaçlı kullanımı halinde zamanla topraklarda ağır metal birikimine neden olabileceği göz önünde bulundurulması halinde toprakta belli bir miktarın üzerinde toksik olan ağır metal konsantrasyon değerleri Türkiye’de Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği açısından incelendiğinde Tablo 1 açıkça göstermektedir ki her iki çamur örneğimizde de Ni metalinin toplam konsantrasyonu ülkemiz yasasındaki toprakta müsaade edilebilen maksimum ağır metal muhtevaları limit değerlerini aşmıştır. Yönetmelikte Mn ve Co için sınırlayıcı bir değer verilmemiştir.

4. Sonuçlar

Analizi yapılan Belediye arıtma çamuru ile KÖY-TÜR arıtma çamurlarındaki ağır metal düzeyleri yönetmeliklerde belirtilen toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal içerikleri değerleriyle karşılaştırıldığında her iki arıtma çamurunun da Ni hariç tarımsal alanlarda kullanılması güvenli olarak görülmektedir.

Arıtma çamurlarının güvenli bir şekilde tarımsal amaçlı kullanımında ağır metallerin giderilmesi çalışmaları araştırılmalıdır.

Kaynaklar

1. M. J. Wang, Land application of sewage sludge in China, *Sci. Tot. Environ.*, 197, 149-160, 1997.
2. R. Renner, The United States and the European nations are far apart on their views of what constitutes safe management, *Environ. Sci. Technol.*, 34, 430A-435A, 2000.
3. Y. Filali-Meknassi, R. D. Tyagi, K. S. Narasiah, Simultaneous sewage sludge digestion and metal leaching: effect of aeration, *Process Biochemistry*, 36, 263-273, 2000.
4. W. E. Larson, R.H. Susag, R. H. Dowdy, C. E. Clappa, R.E. Larson, Use of sewage sludge in agriculture with adequate environmental safeguards. *Sludge Handling and Disposal Seminar Proceedings*, Toronto, 18-19 September 1974, p. 27-46, 1974.
5. J. H. Williams, Utilization of sewage sludge and other organic manures on agricultural land. *First European Symposium Treatment and Use of Sewage Sludge Proceedings*. Cadarache, 13-15 February 1979, p. 227-242, 1979.
6. N. W. Schmidtke, Sludge generation, handling and disposal at phosphorus control facilities in Ontario. Characterization, treatment and use of sewage sludge, *Proceedings of the second European Symposium*. Vienna, 21-23 October 1980, p. 190-225, 1980.
7. C. G. Nichols, US forestry uses of municipal sewage sludge. *Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceedings*. U.K.; 5-7 September 1989, p. 155-165, 1989.
8. A. B. Larsen, F. H. Funch, H. A. Hamilton, The use of fermentation sludge as a fertilizer in agriculture. *Water Science and Technology*, 24, 33-42, 1991.
9. M. A. Mc Donald, B. J. Hawkins, C. E. Prescott, J. P. Kimmins, growth and foliar nutrition of Western Red Cedar fertilized with sewage sludge, pulp sludge, fish silage and wood ash on Northern Vancouver Island. *Canadian Journal of Forest Research*, 24, 297-301, 1994.
10. S. T. Jakobsen, Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer. *Resour. Conserv. Recy.*, 13, 57-71, 1995.
11. J. N. Pedreno, I. Gomez, R. Moral, J. Mataix, Improving the agricultural value of a semi-arid soil by addition of sewage sludge and almond residue. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58, 115-119, 1996.
12. K. Chander, P. C. Brookes, S. A. Harding, Microbial biomass dynamics following addition of metal-enriched sewage sludges to a sandy loam. *Soil Biol. Biochem.*, 27, 1409-1421, 1995.
13. F. A. Johansson, B. Stenberg, L. Torstensson, Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendments. *Biol. Fertil. Soils*, 30, 160-167, 1999.
14. I. Weissenhorn, M. Mench, C. Leyval, Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhiza in a sewage-sludge-amended sandy soil. *Soil Biol. Biochem.*, 27, 287-296, 1995.
15. S. Gäth, Verlagerungspotentiale im Boden-Ansätze zur Regionalisierung von Abfallverwertungsflächen in Hessen. *Forum Städte-Hygiene*, 47, 353-357, 1996.
16. A. M. Chaudri, C. M. G. Allain, V. L. Barbosa-Jefferson, F. A. Nicholson, B. J. Chambers, S. P. McGrath, A study of the impacts of Zn and Cu on two rhizobial species in soils of a long-term field experiment. *Plant Soil*, 221, 167-179, 2000.
17. B. K. Richards, T. S. Steenhuis, J. H. Peverly, M. B. McBride, Effect of sludge-processing mode, soil texture and soil pH on metal mobility in undisturbed soil columns under accelerated loading. *Environ. Pollut.*, 109, 327-346, 2000.

18. S. Cornu, C. Neal, P. Ambrosi, P. Whitehead, M. Neal, J. Sigolo, P. Vachier, The environmental impact of heavy metals from sewage sludge in ferralsols (São Paulo, Brazil). *Sci. Tot. Environ.*, 271, 27-48, 2001.
19. S. Y. Selivanovskaya, V. Z. Latypova, S. N. Kiyamova, F. K. Alimova, Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 86, 145-153, 2001.
20. Swedish Environmental Protection Agency, Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertilizer, precipitation and in oil and crops. Swedish Environmental Protection Agency, p. 45, 2001.
21. M. Khan, J. Scullion, Effect of soil on microbial responses to metal contamination. *Environ. Pollut.*, 110, 115-125, 2000.
22. D. T. Gardiner, R. W. Miller, B. Badamchian, A. S. Azzari, R. D. Sisson, Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metals. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 55, 1-6, 1995.
23. R. W. Miller, M. L. Al-Khazraji, D. R. Sisson, D. T. Gardiner, Alfalfa growth and absorption of cadmium and zinc from soils amended with sewage sludge. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 53, 179-184, 1995.
24. V. Ramachandran, T. J. D'Souza, Plant uptake of cadmium, zinc, and manganese in soils amended with sewage sludge and city compost. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 61, 347-354, 1998.
25. M. J. Mc Laughlin, D. R. Parker, J. M. Clarke, Metals and micronutrients- food safety issues. *Field Crops Res.*, 60, 143-163, 1999.
26. B. K. Richards, T. S. Steenhuis, J. H. Peverly, M. B. McBride, Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site. *Environ. Pollut.*, 99, 365-377, 1998.
27. N. Mohanty, I. Vass, S. Demeter, Impairment of photosystem 2 activity at the level of secondary quinone electron acceptor in chloroplasts treated with cobalt, nickel and zinc ions. *Physiol Plant.*, 76, 386-390, 1989.
28. F. Van Assche, H. Clijsters, Effect of metals on enzyme activity in plants, *Plant Cell Environ.*, 13, 195-206, 1990.
29. J. C. Fernandes, F. S. Henriques, Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The Bot. Revi.*, 57 (3), 246-273, 1991.
30. W. D. McIlveen, J. J. Negusanti, Nickel in terrestrial environment. *Sci. Total Environ.* 148, 109-138, 1994.
31. M. N. V. Prasad, Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environ. Exp. Bot.* 35, 525-545, 1995.
32. M. Delgado, M. Biegeriego, E. Guardiola, Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths. *Wat. Res.* 27 (2), 269-272, 1993.
33. C. S. Andrew, H. J. Pieters, Foliar symptoms of mineral disorders in *Glycine wightii*. CSIRO Australian Div. Trop. Agron. Tech., 18, 1-12, 1976.
34. M. J. Mukhopadhyay, A. Sharma, Manganese in cell metabolism of higher plants. *The Botanical Review*, 57 (2), 118-147, 1991.
35. A. Mishra, M. A. Choudhuri, Monitoring or phytotoxicity of lead and mercury from germination and early seedling growth indices in two rice cultivars. *Water Air Soil Pollution*, 114 (3/4), 339-346, 1999.
36. B. Gupta, S. Mukherji, Effect of toxic concentrations of copper on growth and metabolism of rice seedlings. *Z. Pflanzenphysiol.*, 82, 95-106, 1977.
37. M. J. Mukhopadhyay, A. Sharma, Comparison of different plants in screening for Mn clastogenicity. *Mutation Res.*, 242, 157-161, 1990.

38. R. C. Dubey, R. S. Dwivedi, Effect of heavy metals on seed germination and seedling growth and seedling growth of soybean. Proct. Natl. Acad. Sci. India Sci. Lett. 10, 121-123, 1987.
39. R. J. Liu Reid, F. A. Smith, The mechanism of cobalt toxicity in mung beans. Physiol Planta 110, 104-110, 2000.
40. T. V. S. Sresty, K. V. Madhava Rao, Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea. Environ. Exp. Bot., 41, 3-13, 1999.
41. H. Harmens, N. G. C. P. B. Gusmao, P. R. den Hartog, J.A.C. Verkleij, W.H.O. Ernst, Uptake and transport zinc in zinc-sevstive and zinc-tolerant *Silene vulgaris*, J. Plant Phsiol., 141, 309-315, 1993.
42. W. E. Rauser, E. B. Dumbroff, Effects of excess cobalt, nickel and zinc on the water relations of *Phaseolus vulgaris*. Environ. And Exp. Bot., 21, 249-255, 1981.
43. P. Charlotte, B. Gunse, J. Barcelo, Influence of cadmium on waters relations, sitomatal resistance, and abscisic acid content in expanding bean leaves. Plant Physiol., 90. 1365-1371, 1989.
44. S. Monni, C. Uhling, E. Hansen, E. Magel, Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metal pollution. Environ. Pollut., 112, 121-129, 2001.
45. İ. Gezinci, Ağır metal (Hg^{++} , Cu^{++} , Cd^{++} , Pb^{++})-hormon etkileşiminin arpa (*Hordeum Vulgare L.*) tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Ens. Biyoloji A.B.D., 66 s., 2001.
46. C. Lue-Hing, D. R. Zenz, R. Kuchenrither, Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal, Water Quality Management Library, U.S.A., 663, 1992.
47. E. Öbek, U. İpek, Elazığ Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Ağır Metal İçeriklerinin Araştırılması, Fırat Üniv. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2), 69-76, 1999.
48. İ. H. Yılmaz, M. A. Bozkurt, H. Akdeniz, Kışlık Arpa Tarımında Arıtma Çamuru Kullanma Olanakları Üzerinde Bir Araştırma, Mersin Üniv. Müh. Fak. Çevre Müh. Böl. Ulusal Sanayi-Çevre Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı (25-27 Nisan 2001), s. 169-177, 2001.
49. J. Ščanč ar, R. Milačič, M. Straž ar, O. Burica, Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. Sci. Tot. Environ., 250, 9-19, 2000.
50. F. Scheffer, P. Schachtschabel, Lehrbuch der Boden kunde ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1966.
51. L. Akça, E. Çitil, N. Tüfekçi, Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Değerlendirilmesi. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Bildiri Kitabı. Mersin, 13-15 Mayıs 1996, s. 39-40, 1996.
52. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre Bakanlığı. 24609 Sayılı Resmi Gazete, 2001.