علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیستم، شماره یک، بهار ۹۷

بررسی مقدار و اشکال شیمیایی فلزات سنگین در لجن‌فاضلاب تهران برای کاربرد در کشاورزی

سمیه ناجی راد[۱]

اکبر قویدل[۲*]

Ghavidel@uma.ac.ir

حسینعلی علیخانی[۳]

علی اشرف سلطانی طولارود[۴]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۲ تاریخ پذیرش:۹۵/۱۰/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: از بین روش‌های دفع لجن‌فاضلاب، کاربرد در زمین به دلیل منافع اقتصادی و کاهش هزینه‌های خرید کود برای کشاورزان، ارجح است. ولی در صورتی که لجن حاوی مقادیر بالایی فلزات‌سنگین و آلودگی میکروبی باشد باعث آلودگی خاک و محیط‌زیست می‌شود.

روش بررسی: در این تحقیق مقادیر کل، قابل عصاره‌گیری با DTPA و محلول عناصر آهن، روی، سرب، کادمیوم، کبالت، مس، منگنز و نیکل و جمعیت کلی‌فرم‌ها در لجن تهیه‌شده از سه تصفیه‌خانه شهرک غرب، اکباتان، و شوش تهران اندازه‌گیری شده و با استانداردهای جهانی حد آلایندگی این عناصر و استاندارد تعداد کلی‌فرم‌ها مقایسه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در مجموع ۰/۰۱٪ از مجموع کل فلزات موردمطالعه به شکل محلول، ۱/۳۲٪ به شکل قابل عصاره‌گیری با DTPA و ۹۸/۶۷٪ به اشکال دیگر و غیرقابل دسترس بود. از بین سه نمونه لجن موردمطالعه، لجن‌فاضلاب شوش دارای بیش‌ترین مقدار مجموع کل فلزات‌سنگین (گرم بر کیلوگرم وزن خشک لجن۳۹/۷۳) بود و بعد از آن به ترتیب تصفیه‌خانه‌های اکباتان (گرم بر کیلوگرم وزن خشک لجن ۲۸/۴۲) و شهرک غرب (گرم بر کیلوگرم وزن خشک لجن ۲۲/۹۵) قرار داشتند.

۱- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری: به دلیل بالا بودن مقدار روی و مس در نمونه‌های لجن، در مقایسه با استاندارد، نمونه‌های لجن تصفیه‌خانه‌های موردمطالعه در گروه کیفیت استثنایی که قابلیت کاربرد در کشاورزی را دارد، قرار نگرفتند. همچنین مقایسه جمعیت کلی‌فرم‌ها با استانداردها نشان داد که از این نظر نیز نمونه‌های لجن در گروه B قرار دارند و کاربرد آن‌ها در کشاورزی با محدودیت‌هایی همراه خواهد بود.

کلمات کلیدی: آلودگی محیط‌زیست، تصفیه فاضلاب، دفع لجن‌فاضلاب و کلیفرم.

Archive of SID

www.SID.ir

J.Env. Sci. Tech., Vol 20, No.1, Spring, 2018

The Investigation of Heavy Metal Content and Their Chemical Forms in Tehran Sewage Sludge for Agricultural Application

Sumayyah Naji Rad[1]

Akbar Ghavidel[2]*

Ghavidel@uma.ac.ir

Hossein Ali Alikhani[3]

Ali Ashraf Soltnai Toolarood[4]

Admission Date: April 10, 2016 Date Received: January 18, 2017

Abstract

Background and Objective: Among sewage sludge disposal options, land application is more preferred because of economic benefits and decreasing fertilizer cost for farmers. However, if sludge has excess amount of heavy metals and microbial infections, land application may lead to soil and environmental pollution.

Method: In this research, the amount of total, DTPA-extractable and soluble forms of Fe, Zn, Pb, Cd, Co, Cu, Mn and Ni and population of coliform bacteria were determined in the sludge samples of three different sewage sludge treatment plants including Shahrak-e-Gharb, Ekbatan and Shoush and the results were compared to the world pollution limit standards of these metals and the coliform population.

Findings: Results showed that 0.01% of all metals accumulatively in sewage sludge were in soluble form, 1.32% in DTPA-extractable form and 98.67% in other forms, which are unavailable. Shoush sludge had largest amount of sum of eight metals (39.73 gr/kg dry sludge), Ekbatan sludge (28.42 gr/kg dry sludge) and Shahrak-e-Gharb sludge (22.95 gr/kg dry sludge) were the second and third in the rank, respectively.

Discussion and Conclusion: Because of high amounts of Zn and Cu in the sludge samples in compare to the standards, the samples from all the treatment plants did not categorized as the exceptional quality which can be used in agriculture. A comparison between the coliform population and the standards showed that in this regard, sludge samples were in B quality and there would be limitations in their land application.

Keywords: Coliform, Environmental pollution, Sewage sludge disposal, Wastewater Treatment

1-Young Researchers and Elite Club, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Iran.
2- Assistant Prof. Department of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. *(*Corresponding Author*)
3- Prof. Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.
4- Associate Prof. Department of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

با پیشرفت علم و فناوری و ارتقا سطح رفاه عمومی، مواد زاید دفعی نیز به مرور زمان افزایش پیدا کرده است. از جمله این مواد زاید، فاضلاب[1] است. سالانه حجم بالایی از فاضلاب در مناطق شهری و صنعتی تولید می‌شود که بایستی قبل از ورود به محیط‌زیست تصفیه شوند. یکی از تبعات حاصل از تصفیه فاضلاب تولید سالانه میلیون‌ها تن لجن‌فاضلاب در دنیا تولید می‌باشد(۱). تولید سالانه لجن در دنیا رو به افزایش بوده و از جمله‌گزینه‌های‌پیش‌رو برای دفع لجن‌فاضلاب از تصفیه‌خانه‌ها[2]، می‌توان کاربرد در زمین[3]، دفن در زمین[4]، سوزاندن[5] و ریختن در اقیانوس[6] را نام برد (۲). از بین گزینه‌های یادشده، کاربرد در زمین به دلیل منافع اقتصادی و محیط‌زیستی برای دفع، دارا بودن عناصر غذایی موردنیاز گیاه و در نتیجه کاهش هزینه‌های خرید کود برای کشاورزان، نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد (۳). گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که لجن‌فاضلاب غنی از انواع مغذی‌ها بوده (۴) و می‌تواند به‌عنوان جایگزین برای کودهای کامل گران‌قیمت، کاربرد داشته باشد (۴). این کود به دلیل رهاسازی کندتر مواد مغذی برای گیاه، به کودهای غیر آلی برتری دارد؛ این‌شکل از مواد مغذی، حلالیت کم‌تری در آب داشته و ازاین‌رو کم‌تر در معرض آب‌شویی و ورود به آب‌های زیرزمینی قرار می‌گیرند (۵). کاربرد لجن‌فاضلاب در زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها و یا اراضی دیگر، به‌عنوان یکی از بهترین راه‌های بازگرداندن عناصر غذایی به خاک و افزایش قدرت باروری خاک می‌باشد (۴) به‌نحوی‌که افزودن این کود آلی به خاک موجب افزایش محتوی ماده آلی، بهبود شرایط فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و نیز افزایش مواد غذایی خاک می‌شود (۶).

خاک‌های مناطق مرکزی ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، اغلب دارای کم‌تر از یک درصد ماده آلی می‌باشند. بنابراین با توجه به محدود بودن منابع کودهای دامی، استفاده از کودهای آلی دیگر نظیر لجن‌فاضلاب امری مطلوب به نظر می‌رسد (۷)؛ اما از طرف دیگر، وجود آلاینده‌هایی از قبیل فلزات‌سنگین و پاتوژن‌ها باعث می‌شود کاربرد لجن در زمین با مشکل مواجه شود (۸). نگرانی در مورد آلودگی فلزات‌سنگین به دلیل سه ویژگی مهم این مواد یعنی؛ عدم تجزیه زیستی، سمیت برای موجودات خاک‌زی و پایداری و ماندگاری در خاک می‌باشد (۹). فلزات‌سنگین در مقادیر بالا، اثرات سمی بر موجودات خاک‌زی، گیاهان و حیوانات دارند و با ورود به چرخه غذایی انسان سبب بروز سمیت در بدن انسان نیز می‌شوند. لذا اهتمام کلی، جلوگیری از ورود این عناصر به چرخه غذایی انسان است. از طرف دیگر مقدار فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب بیان‌گر سمیت آن‌ها نیست و برای تعیین اثرات زیان‌بار فلزات‌سنگین، باید شکل شیمیایی آن‌ها تعیین شود (۹)؛ لذا هدف از این پژوهش، ارزیابی مقدار فلزات‌سنگین و اشکال مختلف شیمیایی آن‌ها در لجن‌فاضلاب تهیه شده از سه تصفیه‌خانه بزرگ شهر تهران شامل شوش، اکباتان و شهرک غرب و مقایسه مقادیر این فلزات با استانداردهای جهانی حدود سمیت فلزات‌سنگین و امکان‌سنجی استفاده از لجن‌فاضلاب تهران برای کاربرد در کشاورزی بود. همچنین جمعیت میکروبی و تعداد باکتری‌های کلیفرم در نمونه‌های لجن تعیین و با استانداردهای موجود مقایسه شده‌اند.

روش بررسی

نمونه‌برداری و آماده‌سازی لجن‌های فاضلاب

نمونه‌برداری از لجن فعال[7] و لجن هوادهی شده[8]، از ایستگاه‌های لجن‌فاضلاب شوش، اکباتان و شهرک غرب، در سه نوبت در ماه‌های شهریور، آبان و دی در ساعت ۱۲ ظهر انجام شد. انتخاب تصفیه‌خانه‌ها به نحوی بود که نقاط مختلف (شمال، مرکز و جنوب) شهر تهران تحت پوشش قرار گیرد. تصفیه‌خانه‌های مذکور از لحاظ حجم تصفیه فاضلاب از بزرگ‌ترین تصفیه‌خانه‌های تهران می‌باشند. نمونه‌های تهیه‌شده

1- wastewater
2- wastewater treatment plant
3- land application
4- landfill
5- incineration
6- ocean dumping
7- activated sludge
8- aerated sludge

Archive of SID

www.SID.ir

در ظروف پلی‌اتیلنی جمع آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید.

اندازه‌گیری خواص شیمیایی و مقدار عناصر غذایی در لجن‌های فاضلاب

بلافاصله پس از انتقال به آزمایشگاه، هدایت الکتریکی (EC) و pH هر یک از نمونه‌ها با استفاده‌ازEC متر (Jenway4230)، و pH متر (Orion 920) قرائت گردید (۱۰). همچنین مقدار کربن آلی (۱۱)، نیتروژن کل (۱۲)، فسفر قابل‌جذب (۱۳)، پتاسیم محلول و تبادلی، کلسیم محلول و تبادلی، منیزیم محلول و تبادلی و سدیم محلول و تبادلی (۱۰) در نمونه‌های لجن- فاضلاب تعیین شد. سپس نمونه‌ها بر بسترهای پلاستیکی مناسب در دمای اتاق به مدت ۷۲ ساعت هوا خشک و با آسیاب دستی پودر شدند. لازم به ذکر است که در حین آزمایش‌ها، تمام اجزایی که در تماس با لجن قرار داشتند از جنس پلاستیک بودند تا احتمال ورود فلزات‌سنگین از طریق ساییدگی قطعات فلزی وجود نداشته باشد. نمونه‌های لجن آسیاب شده در ظروف پلی‌اتیلنی ریخته شده و تا شروع آزمایش‌ها در دمای ۴°C در یخچال نگهداری شدند تا واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی در داخل لجن به کمترین حد ممکن برسد.

تعیین مقدار کل فلزات‌سنگین در لجن‌های فاضلاب

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار کل عناصر آهن، روی، سرب، کادمیم، کبالت، مس، منگنز و نیکل در نمونه‌های لجن‌فاضلاب تهیه شده، پنج‌گرم از هر نمونه توزین و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه گردید. نمونه تا خروج بخارات غلیظ دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از حمام آب گرم حرارت داده شدند. در مرحله بعد ۱۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریدریک غلیظ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک به هر نمونه اضافه و عمل حرارت دهی در حمام آب گرم تا حصول محلول زلال انجام پذیرفت. محلول شفاف حاصل با استفاده از سیستم قیف بوخنر و کاغذهای صافی واتمن شماره ۴۲، صاف و پس از به رساندن حجم آن به ۵۰ میلی‌لیتر، جهت اندازه‌گیری مقدار کل فلزات مورد مطالعه با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu AA-670) مورداستفاده قرار گرفت (۱۰).

اندازه‌گیری مقدار قابل عصاره‌گیری فلزات‌سنگین در لجن‌های فاضلاب

بدین منظور پنج گرم از هر نمونه لجن‌فاضلاب توزین و ۲۵ میلی‌لیتر از محلول یک نرمال DTPA (Diethylene Triamine Pentaacetic Acid)، (با نسبت ۵: ۱) به آن اضافه گردید. نمونه-ها پس از تکان دادن به مدت دو ساعت (با استفاده از همزن با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه)، به کمک قیف بوخنر و کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲، صاف و مقدار قابل عصاره‌گیری فلزات‌سنگین در عصاره حاصل با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۱۴).

اندازه‌گیری شکل محلول فلزات‌سنگین در لجن‌های فاضلاب

جهت اندازه‌گیری شکل محلول فلزات‌سنگین، به پنج گرم از لجن خشک ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و نمونه‌ها مشابه روش ذکرشده در قسمت ۲-۴ صاف شده و مقدار محلول فلزات‌سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

قابل ذکر است که در این آزمایش به منظور قرائت مقدار واقعی عناصر و به حداقل رساندن خطای اندازه‌گیری در هر نمونه، از محلول‌های‌مورداستفاده(DTPA،اسیدنیتریک،اسیدپرکلریدریک و آب مقطر) نمونه‌هایی تحت عنوان شاهد (به ترتیب شاهد ۱، شاهد ۲، شاهد ۳ و شاهد ۴) در سه تکرار تهیه و مقادیر فلزات ذکر شده در آن‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت و مجموع مقادیر به‌دست‌آمده از هریک از نمونه‌ها کسر گردید.

اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی لجن‌های فاضلاب

از ویژگی‌های زیستی، تعداد کل ریزجانداران در لجن با استفاده از روش بیش‌ترین تعداد محتمل[1] و تعداد واحدهای تشکیل کلنی[2] و شمارش باکتری‌های کلیفرم با استفاده از روشی فرضی تاییدی انجام شد (۱۵).

1- Most Probable Number (MPN)
2- Colony Forming Unit (CFU)

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه داده‌های حاصل با استانداردهای موجود، با استفاده از آزمون t در نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۲ انجام گردید.

یافته‌ها

نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH و EC نمونه‌های لجن‌فاضلاب موردبررسی نشان داد که pH در حد خنثی بوده و مقدار املاح محلول درداخل لجن‌فاضلاب پایین است (جدول ۱). در این پژوهش یافته‌های حاصل از ارزیابی میزان ماده آلی، وضعیت عناصر غذایی شامل نیتروژن کل، فسفر قابل‌دسترس و شکل محلول و قابل‌تبادل (تبادلی) عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم نشان داد که نمونه‌های لجن از لحاظ عناصر غذایی موردنیاز گیاه در وضعیت مناسبی قرار دارند (جدول ۲).

جدول ۱- pH و EC نمونه‌های لجن‌فاضلاب موردمطالعه

Table 1-The amount of pH and EC in the studied sewage sludge samples

نمونه لجن	pH	(dS/m) EC
اکباتان	۶/۸	۰/۷
شهرک غرب	۶/۸	۱/۰
شوش	۷/۰	۱/۳

جدول ۲- مقدار عناصر غذایی در نمونه‌های لجن‌فاضلاب تصفیه‌خانه‌های اکباتان، شهرک غرب و شوش

Table 2- The amount of nutrients in sludge samples of Ekbatan, Shahrak-e-Gharb and Shus sewage treatment plants

نمونه لجن	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم		کلسیم		منیزیم		سدیم	
				محلول	تبادلی	محلول	تبادلی	محلول	تبادلی	محلول	تبادلی
	درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم								
اکباتان	۲۶/۳	۵/۵۳	۵۷۰۰	۳۵۶۰	۳۲	۱۹۳۰	۸۲۴	۲۷۱۰	۶۶۵	۶۴۰	۱۶
شهرک غرب	۲۶/۶	۵/۸۷	۱۳۶۳	۳۲۸۰	۱۰۲	۱۸۲۶	۷۶۹	۱۸۱۲	۳۳۹	۱۵۶۰	۲۳
شوش	۲۸/۵	۶/۰۲	۶۱۵۴	۲۷۶۰	۸۶	۱۸۳۲	۷۸۵	۱۷۶۴	۳۱۷	۲۰۸۰	۸۹

مقدار فلزات‌سنگین در نمونه‌های لجن‌فاضلاب

مقدار مجموع فلزات‌سنگین مورد مطالعه در لجن‌فاضلاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که بین نمونه‌های لجن‌فاضلاب تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار مجموع فلزات‌سنگین وجود دارد و بیش‌ترین مقدار فلزات به ترتیب در لجن‌فاضلاب شوش، شهرک غرب و اکباتان مشاهده شد. با این وجود عکس این موضوع در مورد شکل محلول فلزات‌سنگین صادق است و لجن‌فاضلاب اکباتان دارای بیش‌ترین مقدار شکل محلول فلزات‌سنگین بوده و تفاوت معنی‌داری به ترتیب با نمونه‌های لجن شهرک غرب و شوش دارد. این وضعیت در مورد شکل قابل عصاره‌گیری فلزات‌سنگین نیز مشاهده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- مقدار و شکل شیمیایی کل فلزات‌سنگین در نمونه‌های لجن

Table 3- The amount of chemical form of total heavy metals in the sludge samples

نمونهٔ لجن	محلول	قابل عصاره گیری	شکل‌های دیگر	کل
	(میلی‌گرم در کیلوگرم لجن خشک)			
اکباتان	۴/۵۷[a]	۶۳۱[a]	۲۷۷۸۲[b]	۲۸۴۱۹[c]
شهرک غرب	۳/۷۴[b]	۴۳۷[b]	۲۲۵۰۶[c]	۲۲۹۴۸[b]
شوش	۱/۹۸[c]	۱۳۰[c]	۳۹۵۹۹[a]	۳۹۷۳۱[a]

اعداد با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشند.

جزءبندی شیمیایی فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب

مقدار شکل‌های قابل‌دسترس (مجموع مقدار محلول و قابل عصاره گیری)، غیرقابل‌دسترس و کل فلزات‌سنگین در نمونه‌های لجن‌فاضلاب اکباتان، شهرک غرب و شوش به ترتیب در جداول ۴، ۵ و ۶ ارایه شده‌اند. مقدار کل هر کدام از فلزات‌سنگین با استانداردهای EPA و اتحادیه اروپا با آزمون t مقایسه گردیده است؛ در صورتی که تفاوت معنی‌داری بین مقدار فلزات‌سنگین و استاندارد مشاهده شده باشد این‌اعداد به‌عنوان داده‌های معنی‌دار در جدول مشخص گردیده است. در صورتی که مقدار فلزات به طور معنی‌داری از استاندارد پایین‌تر باشد، معنی‌دار بودن نمایش داده نشده است. همچنین درصد هر کدام از شکل‌های شیمیایی فلزات‌سنگین در هر سه نمونه لجن در شکل ۱ آمده است. با توجه به جداول ۴، ۵ و ۶ و نیز شکل ۱، ملاحظه می‌شود که اغلب فلزات‌سنگین مطالعه شده در نمونه‌های لجن‌فاضلاب هرسه تصفیه‌خانه به صورت غیرقابل‌دسترس بوده و مقدار شکل محلول و قابل عصاره‌گیری آن‌ها پایین است. بیش‌ترین مقدار شکل قابل‌دسترس در مورد سرب مشاهده شد. کم‌ترین میزان شکل قابل‌دسترس مربوط به فلز مس بود. از طرفی فلزات نیکل و کبالت بیش‌ترین درصد محلول را داشتند (شکل ۱). در مورد بقیه فلزات‌سنگین نیز مقدار شکل قابل‌دسترس کم‌تر از ۱۰ درصد کل این فلزات بود. همچنین نتایج جداول ۴، ۵ و ۶ نشان می‌دهد که در هر سه نمونه لجن‌فاضلاب، آهن، روی و مس بیش‌ترین مقدار را دارند.

جدول ۴- مقدار و شکل شیمیایی فلزات‌سنگین در لجن تصفیه‌خانه اکباتان (میلی‌گرم بر کیلوگرم لجن خشک)

Table 4. The amount and chemical form of heavy metals in sludge sample of Ekbatan sewage treatment plant (mg/kg dry weight)

فلز سنگین	قابل‌دسترس		شکل‌های دیگر	کل	استاندارد EPA† (۱۷ و ۱۸)	استاندارد EU† (۱۶)
	محلول	قابل عصاره گیری				
آهن	۱/۶۷	۳۶۴	۲۳۲۲۱	۲۳۵۸۸	-	-
روی	۲/۲۵	۲۳۰	۲۵۶۱	۲۷۹۴**	۲۸۰۰	۷۵۰۰
سرب	۰/۰۰	۱۱/۴	۱۱/۱	۲۲/۵	۳۰۰	۸۴۰

Archive of SID

www.SID.ir

کادمیوم	۰/۰۰	۰/۲۴۰	۴/۰۸	۴/۳۲	۳۹	۸۵
کبالت	۰/۱۵۰	۰/۸۵۰	۳۴/۹	۳۵/۹	–	–
مس	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۵۷۲	۱۵۷۲**	۱۵۰۰	۴۳۰۰
منگنز	۰/۴۲۰	۲۴/۲	۳۷۱	۳۹۶	–	–
نیکل	۰/۰۹۰	۰/۴۹۰	۳/۹۱	۴/۴۹	۴۲۰	۴۲۰

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (۱۸-۱۶)†

جدول ۵- مقدار و شکل شیمیایی فلزات‌سنگین در لجن تصفیه‌خانه شهرک غرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم لجن خشک)

Table 5. The amount and chemical form of heavy metals in sludge sample of Shahrak-e-Gharb sewage treatment plant (mg/kg dry weight)

فلز سنگین	قابل‌دسترس		شکل‌های دیگر	کل	استاندارد EPA (۱۷ و ۱۸)	استاندارد EU (۱۶)
	محلول	قابل عصاره گیری				
آهن	۰/۸۴۰	۱۲۰	۱۷۴۶۶	۱۷۵۸۸	–	–
روی	۲/۲۵	۲۵۶	۲۶۵۳	۲۹۱۱**	۲۸۰۰	۷۵۰۰
سرب	۰/۰۰۰	۵/۳۵	۳۱/۳	۳۶/۷	۳۰۰	۸۴۰
کادمیوم	۰/۰۱۰	۱/۰۱	۸/۱۴	۹/۱۵	۳۹	۸۵
کبالت	۰/۰۰۰	۰/۲۱۰	۹/۳۲	۹/۵۳	–	–
مس	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۲۱۱	۱۲۱۱	۱۵۰۰	۴۳۰۰
منگنز	۰/۴۶۰	۴۹/۸	۱۰۴۷	۱۰۹۷	–	–
نیکل	۰/۲۰۰	۴/۷۷	۷۹/۳	۸۴/۲	۴۲۰	۴۲۰

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۶- مقدار و شکل شیمیایی فلزات‌سنگین در لجن تصفیه‌خانه شوش (میلی‌گرم بر کیلوگرم لجن خشک)

Table 6. The amount and chemical form of heavy metals in sludge sample of Shus sewage treatment plant (mg/kg dry weight)

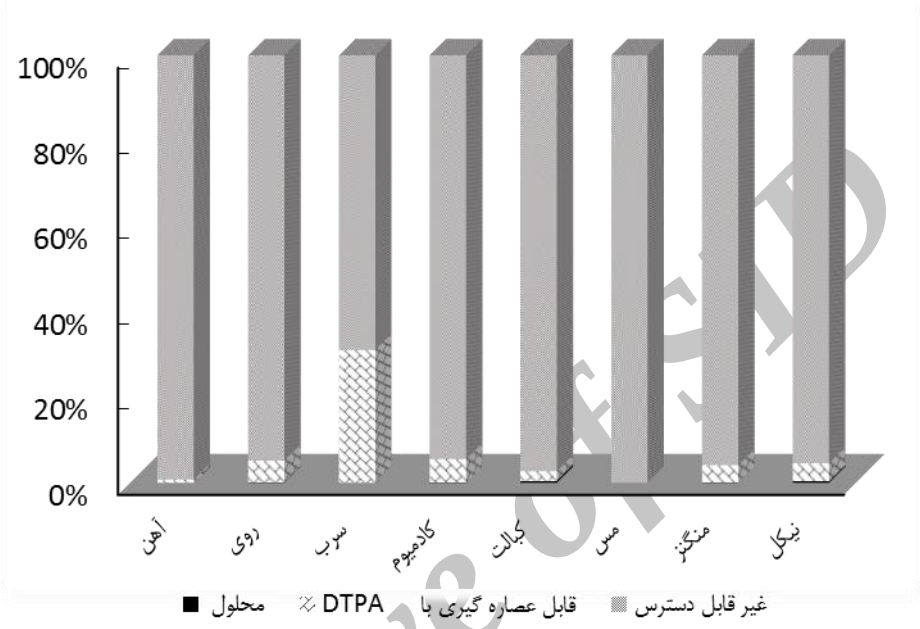
فلز سنگین	قابل‌دسترس		شکل‌های دیگر	کل	استاندارد EPA (۱۷ و ۱۸)	استاندارد EU (۱۶)
	محلول	قابل عصاره گیری				
آهن	۱/۲۳	۲/۴۵	۲۹۳۴۹	۲۹۳۵۲	–	–
روی	۰/۲۵۰	۸۵/۸	۵۴۷۲	۵۵۵۸**	۲۸۰۰	۷۵۰۰
سرب	۰/۰۰۰	۱۸/۸	۳۶/۷	۵۵/۵	۳۰۰	۸۴۰
کادمیوم	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۹/۲۷	۹/۲۷	۳۹	۸۵

Archive of SID

www.SID.ir

کبالت	۰/۰۷۰	۰/۲۴۰	۱۰/۴	۱۰/۷	–	–
مس	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۳۸۰۸	۳۸۰۸**	۱۵۰۰	۴۳۰۰
منگنز	۰/۰۰۰	۱۹/۶	۷۹۴	۸۱۴	–	–
نیکل	۰/۴۴۰	۳/۵۲	۱۱۷	۱۲۱	۴۲۰	۴۲۰

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



شکل ۱- درصد اجزای مختلف فلزات‌سنگین در مجموع هر سه نمونه لجن‌فاضلاب

Figure 1. Percentage of different fractions of heavy metals in the three sewage sludge samples

مشخصات بیولوژیکی لجن‌فاضلاب

از بین ویژگی‌های بیولوژیکی لجن‌فاضلاب، تعداد کل ریز موجودات با دو روش بیش‌ترین تعداد محتمل و شمارش واحدهای تشکیل کلنی و نیز تعداد باکتری‌های کلیفرم شمارش گردیده است (جدول ۷). نتایج نشان داد که تعداد کل ریزجانداران در هر دو روش اندازه‌گیری در لجن‌فاضلاب شهرک غرب بیش‌تر از دو نمونه دیگر می‌باشد؛ و نیز تعداد کل در روش «بیش‌ترین تعداد محتمل»، در لجن شوش پایین‌تر از دو نمونه دیگر است.

جدول ۷- نتایج شمارش تعداد ریزجانداران در لجن‌فاضلاب تصفیه‌خانه‌ها

Table 7. The results microorganism enumeration in the sludge samples of the treatment plants

نمونه لجن	تعداد باکتری (CFU/ml)	تعداد باکتری (Number/ml)	تعداد کلیفرم‌ها(Number/ml)
اکباتان	$۱/۲\times۱۰^{۴}$	$۲/۳\times۱۰^{۷}$	۱۰۰۰۰
شهرک غرب	۳×۱۰^{۴}	$۴/۹\times۱۰^{۷}$	۹۰۰۰
شوش	$۲/۷\times۱۰^{۴}$	$۷/۹\times۱۰^{۵}$	۱۱۰۰۰

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که نمونه‌های لجن‌فاضلاب از لحاظ pH در حدود خنثی می‌باشند که این مورد بر روی انحلال فلزات‌سنگین تأثیرگذار می‌باشد، به این صورت که اغلب فلزات در pH اسیدی حلالیت بیش‌تری دارند و با افزایش pH، میزان حلالیت آن‌ها به‌شدت کاهش پیدا می‌کند و در pH قلیایی به کم‌ترین حد خود می‌رسد (۱۴). از لحاظ قابلیت هدایت الکتریکی نیز، نمونه‌های لجن در حد خیلی پایینی قرار دارند که این مساله حاکی از آن است که مقدار املاح محلول در آن‌ها خیلی پایین است که نتایج اندازه‌گیری شکل محلول فلزات‌سنگین این موضوع را تأیید می‌کند. مقدار عناصر مغذی در نمونه‌های لجن نشان می‌دهد که نمونه‌های لجن موردمطالعه می‌توانند به‌عنوان کود آلی مناسب جهت بهبود وضعیت حاصل خیزی و باروری خاک مورد استفاده قرار گرفته و جایگزینی برای کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی باشند.

علت استفاده از شکل قابل عصاره‌گیری با DTPA، این است که این شکل نشان‌دهنده «شکل قابل‌دسترس برای گیاه» می‌باشد (۱۴). لذا هر چه مقدار این شکل بیش‌تر باشد، خطر آلودگی گیاه و در نتیجه چرخه غذایی انسان با فلزات‌سنگین بیش‌تر خواهد بود؛ به عبارت دیگر مقدار «شکل محلول» و «شکل قابل عصاره‌گیری»، نسبت به مقدار کل فلزات‌سنگین (در صورت استفاده در خاک به‌عنوان کود)، حایز اهمیت بیش تری است.

از بین فلزات موردبررسی، آهن، روی، مس، منگنز، نیکل و کبالت جزو عناصر ضروری برای رشد گیاه و ریزجانداران خاک زی می‌باشند؛ بنابراین وجود این عناصر در لجن‌فاضلاب می‌تواند موجب افزایش حاصل‌خیزی خاک و بهبود تغذیه گیاه شود. در صورتی که مقدار این‌فلزات در لجن‌فاضلاب کم‌تر از حد استاندارد باشد و موجب بروز سمیت برای گیاه و موجودات دیگر نشود، افزودن لجن حاوی این فلزات امری مطلوب خواهد بود. با توجه به این که وضعیت عناصر غذایی کم‌مصرف (شامل فلزات ذکرشده) در اغلب خاک‌های کشور نامناسب بوده و کمبود آن‌ها مشاهده می‌شود، لذا کاربرد لجن‌فاضلاب می‌تواند مقداری از نیاز گیاه به این عناصر غذایی را مرتفع نماید (۱۹).

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که به طور کلی اغلب فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب بیش‌تر به صورت غیرقابل‌دسترس هستند (شکل ۱). در نمونه‌های لجن‌فاضلاب مورد مطالعه کم‌تر از ۱۰٪ از کل مقدار فلزات‌سنگین، به جز سرب، به صورت اشکال قابل‌دسترس برای موجودات زنده (مجموع شکل محلول و شکل قابل عصاره گیری) بود. از بین فلزات مورد مطالعه سرب با داشتن حدود ۳۱٪ شکل قابل‌دسترس، بیش‌ترین مقدار شکل قابل‌دسترس را به خود اختصاص داده است. نتایج مشابه این تحقیق توسط محققان مختلف گزارش شده است (۲۲-۲۰).

با توجه به این‌که آسیب ناشی از حضور فلزات‌سنگین در محیط‌زیست که برای موجودات زنده بروز می‌کند بر اساس شکل قابل‌دسترس فلزات‌سنگین است، لذا به نظر می‌رسد که اگر سرب در مقادیر بالا در داخل لجن‌فاضلاب وجود داشته باشد، احتمالاً باعث بروز خطرات محیط‌زیستی بیش‌تری می‌شود. همچنین روی و کادمیوم نیز مقادیر بالاتری از شکل قابل‌دسترس فلزات‌سنگین را نشان می‌دهند (شکل ۱). با توجه به این‌که کادمیوم و سرب سمی‌ترین فلزات مورد مطالعه در این تحقیق هستند؛ بنابراین به نظر می‌رسد که علت بروز سمیت ناشی از فلزات‌سنگین موجود در لجن‌فاضلاب بیش‌تر به دلیل قابل‌دسترس بودن اشکال سمی عناصر مضری مثل کادمیوم و سرب است (۹).

با وجود مقادیر بالای فلزات در لجن‌فاضلاب شوش، مقدار فلزات محلول در آن کم‌تر از دو نمونه دیگر است. بیش‌ترین عناصر قابل عصاره‌گیری و درصد جزء قابل عصاره‌گیری از فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب تهیه شده از تصفیه‌خانه اکباتان مشاهده گردید. بر اساس نتایج حاصل می‌توان اظهار نمود که ترکیبات عناصر موجود در لجن‌فاضلاب تصفیه‌خانه اکباتان احتمالاً از نوع محلول‌تر و به سهولت قابل عصاره‌گیری می‌باشد. این در حالی است که در لجن‌فاضلاب تهیه شده از تصفیه‌خانه شوش با وجود مقادیر بالای فلزات‌سنگین، تنها ۰/۳۲٪ از این مقدار قابل عصاره‌گیری می‌باشد. نتایج مشابهی در مورد شکل محلول بسیار کم فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب توسط محققان دیگر گزارش شده است (۸). نتایج یک پژوهش دیگر نشان داد

Archive of SID

www.SID.ir

که فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب به شکل کمپلکس با مواد آلی و غیر محلول می‌باشند که این امر باعث می‌شود به مقدار بسیار ناچیزی در معرض عصاره‌گیری قرار گیرند. شکل محلول این عناصر، درصد بسیارپایینی از کل محتوی فلزات‌سنگین را در بر می‌گیرد که می‌تواند به دلیل وجود نمک‌های معدنی که حلالیت پایینی دارند و درگیر شدن یون‌های فلزی در توده مواد آلی، به صورت پیوندهای پایدار با حلالیت کم باشد (۲۳).

استانداردهای مقدار فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب برای کاربرد در زمین بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا (۱۶) و سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا (۱۷ و ۱۸) در جدول ۸ ارایه گردیده است. برای عناصر آهن، کبالت و منگنز مقدار استاندارد در لجن‌فاضلاب ارایه نشده است. نتایج نشان می‌دهند که مقدار روی و مس در لجن اکباتان و شوش و مقدار روی در لجن شهرک غرب به طور معنی‌داری بالاتر از استاندارد می‌باشد. یعنی با توجه به این مقایسه می‌توان اظهار داشت که هیچ کدام از سه نمونه لجن تصفیه‌خانه‌ها در گروه لجن با کیفیت عالی قرار نمی‌گیرند؛ زیرا حداقل در مورد فلز روی در هر سه نوع لجن مقادیر بالاتر از استاندارد مشاهده می‌شود.

رحمانی و همکاران در سال ۱۳۹۳ تحقیق مشابهی روی لجن‌فاضلاب اصفهان انجام دادند و مشخص گردید که مقدار فلزات‌سنگین در آن کم‌تر از حد استاندارد بوده است (۲۴). درعین‌حال نتایج نشان داد که مقدار آرسنیک بیش‌تر از حد مجاز آلایندگی می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که کیفیت لجن‌فاضلاب شهری با توجه به منشأ لجن و موقعیت جغرافیایی آن متفاوت است و در صورت انجام پژوهش روی نمونه‌های لجن‌فاضلاب دیگر (شهرهای دیگر)، احتمالاً نتایج متفاوتی حاصل خواهد گردید.

نکته دیگری که در صورت کاربرد لجن‌فاضلاب در زمین‌های کشاورزی باید مدنظر قرار گیرد این است که با افزودن مداوم لجن‌فاضلاب به‌خاک ممکن است تجمع فلزات‌سنگین مشاهده گردد. به عبارت دیگر در صورت استفاده از لجن در زمین‌های کشاورزی ممکن است مشکل سمیت ناشی از فلزات‌سنگین پس از چند سال بروز کند (۲۴). از طرف دیگر استفاده از لجن‌فاضلاب این تصفیه‌خانه‌ها باید با احتیاط صورت گیرد و pH خاک نیز مورد توجه قرار گیرد زیرا انحلال و قابلیت دسترسی فلزات‌سنگین در خاک تا حد زیادی به pH خاک بستگی دارد و اثرات سمی فلزات‌سنگین نه تنها به غلظت این عناصر بستگی دارد بلکه به دسترسی زیستی این عناصر توسط گیاه، که عموماً در حالت محلول (pH اسیدی) بیش‌تر است، نیز بستگی دارد (۲۵ و ۲۶).

جدول ۸- استانداردهای فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب برای کاربرد در زمین

Table 8- Sewage sludge heavy metal content standards for land application

استاندارد	روی	سرب	کادمیوم	مس	نیکل
غلظت در لجن با کیفیت عالی EPA (ppm)*	۲۸۰۰	۳۰۰	۳۹	۱۵۰۰	۴۲۰
حد نهایی در لجن EU (ppm)*	۷۵۰۰	۸۴۰	۸۵	۴۳۰۰	۴۲۰
حد سالانه آلاینده EPA(کیلوگرم بر هکتار بر سال)*	۱۴۰	۱۵	۱/۹	۷۵	۲۱
حد استاندارد برای خاک (ppm)*	۱۵۰-۳۰۰	۵۰-۳۰۰	۱-۳	۵۰-۱۴۰	۳۰-۷۵

*(۱۶-۱۸)

از آن‌جا که وجود تعداد زیادی ریزجانداران در لجن‌فاضلاب ممکن است باعث بر هم خوردن تعادل اکولوژیکی خاک شود (۲۷)؛ لذا می‌بایست این معیار پیش از به کار بردن لجن‌فاضلاب در خاک، مورد توجه قرار گیرد. تفاوت میان اندازه‌گیری‌های این دو روش بیان‌گر تفاوت میان تعداد کل ریزجانداران (اعم از زنده یا غیرزنده) و تعداد کل ریزجانداران زنده و قابل تکثیر می‌باشد. (روش «بیش‌ترین تعداد محتمل» بر پایه کدورت سنجی می‌باشد ولی روش «اندازه‌گیری واحدهای تشکیل کلنی» بر

Archive of SID

www.SID.ir

مبنای سلول‌های زنده میکروبی است که توانایی تشکیل کلنی را داشته باشند).

اگر تعداد ریزجانداران در لجن‌فاضلاب بیش از جمعیت باکتری‌های خاک باشد، افزودن لجن‌فاضلاب به خاک باعث ورود شمار زیادی از ریزجانداران غیربومی به خاک می‌شود که بر هم خوردن تعادل اکولوژیکی و زنجیره غذایی خاک را در پی دارد (۲۷).

مقایسه تعداد کلی‌فرم‌ها در داخل نمونه‌های لجن‌فاضلاب با استاندارد EPA (۲۸) نشان می‌دهد که هر سه نمونه لجن‌فاضلاب از لحاظ کیفیت در گروه B قرار می‌گیرند و کاربرد آن‌ها با محدودیت‌هایی همراه است. طبق این استاندارد اگر تعداد کلی‌فرم‌ها کم‌تر از ۱۰۰۰ عدد باشد لجن دارای کیفیت A و اگر تعداد کلیفرم بین ۱۰۰۰ تا ۲ ,۰۰۰ ,۰۰۰ عدد باشد کیفیت B و در نهایت در صورت وجود تعداد کلیفرم بیش از این مقدار لجن دارای کیفیت C بوده و در مزارع کشاورزی غیرقابل استفاده خواهد بود (۲۸).

نتیجه‌گیری کلی

در نهایت می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود به دلیل وجود مقادیر بالایی از فلزات‌سنگین به ویژه فلزات روی و مس، هیچ کدام از نمونه‌های لجن تصفیه‌خانه‌های اکباتان، شهرک غرب و شوش کیفیت لازم برای کاربرد بدون محدودیت در زمین‌های کشاورزی را ندارند و در صورت الزام به کاربرد آن‌ها باید دستورالعمل‌های مربوطه مد نظر قرار گیرد. در عین حال مقدار عناصر مغذی در نمونه‌های لجن در حد بالایی بود که نشان از پتانسیل لجن‌فاضلاب برای کاربرد در کشاورزی دارد. بنابراین در صورت حذف یا کاهش فلزات‌سنگین در لجن‌فاضلاب می‌توان استفاده از آن در کشاورزی را توصیه نمود. از طرف دیگر تعداد کلی‌فرم‌ها در نمونه‌های لجن‌فاضلاب نیز بیش‌تر از حد استاندارد بوده و کاربرد آن در کشاورزی مستلزم رعایت محدودیت‌های مورد اشاره در استاندارد می‌باشد. لذا امید است در سال‌های آتی به این مشکل محیط‌زیستی، توجه بیش‌تری گردد و با به‌کارگیری فناوری‌های جدید در «زیست پالایی» لجن‌فاضلاب، بتوان آن را از نظر فلزات‌سنگین اصلاح و پالایش کرد و از این طریق بتوان یک منبع ماده آلی با هزینه کم به دست آورد؛ این منبع ماده آلی، می‌تواند راه‌گشای بسیاری از مشکلات خاک‌های بیابانی و فقیر از مواد آلی در ایران باشد.

منابع

1. Babel, S., del Mundo Dacera, D., 2006. Heavy metal removal from contaminated sludge for land application: a review. Waste Management. Vol. 26(9), pp. 988-1004.
2. Metcalf, E., Tchobanoglous, G., 2003. Wastewater engineering: treatment disposal reuse: McGraw-Hill; Boston. USA. 384 p.
3. Smith, SR., 1996. Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment: CAB International.
4. Wong, JW., Xiang, L., Gu, XY., Zhou, LX., 2004. Bioleaching of heavy metals from anaerobically digested sewage sludge using FeS2 as an energy source. Chemosphere. Vol. 55(1), pp. 101-7.
5. EPA832. 2000. Biosolids technology fact sheet: land application of bioslids. Available from, <http://www.epa.gov>.
6. Epstein, EL., Taylor, JM., Chancy, RL., 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. Journal of Environmental Quality. Vol. 5(4), pp. 422-6.
7. Bhangoo, MS., Day, KS., Sudanagunta, VR., Petrucci, VE., 1988. Application of poultry manure influences Thompson seedless grape production and soil properties. Hort. Science (USA).
8. Wong, JW., Selvam, A., 2006. Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime. Chemosphere. Vol. 63(6), pp. 980-6.
9. Dutta, S., 2002. Environmental Treatment Technologies for Hazardous and Medical

Archive of SID

www.SID.ir

Wastes: Remedial Scope and Efficacy: McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited.

10. Clesceri, LS., Eaton, AD., Greenberg, AE., 1988. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: American Public Health Association.
11. Walkley, A., Black, IA., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science. 1934. Vol. 37(1), pp. 29-38.
12. Kjeldahl, J., 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. Z. Anal. Chem. Vol. 22(1), pp. 366-82.
13. Olsen, SR., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Of Agric. Cric. 939.
14. Lindsay, WL., Norvell, WA., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil science society of America journal. Vol. 42(3), pp. 421-8.
15. Alef, K., Nannipieri, P., 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry: Academic Press.
16. European Council Directive 86/278/EEC. 2005. Sewage Sludge Metal Level Standards.
17. USEPA. 1993. The Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, Title 40 of the Code of Federal Regulations, Part 503.
18. USEPA. 1996. Soil Screening Guidance, EPA Tech. Background Document No. 9355.4-23.
19. Kharrazi, S.M., Younesi, H., Abedini Torghabe, J. 2014. The Application of Active Sewage Sludge on the Vermicomposting of Agricultural Waste. Journal of Water and Wastewater. Vol. 25 (5), 76-85. (In Persian)
20. Ali, S.M., 1994. Chemical and biological heavy metal dissolution process for sewage sludge. Master's Thesis. Asian institute of technology. Pathumthani, Thailand.
21. Oake, RJ., Booker, CS., Davis, RD., 1985. Fractionation of heavy metals in sewage sludges. Water Science and Technology. Vol. 17(4-5), pp. 587-98.
22. Stover, RC., Sommers, LE., Silviera, DJ., 1976. Evaluation of metals in wastewater sludge. Journal (Water Pollution Control Federation) Vol 1, pp. 2165-75.
23. Ratanachoo, K., 1995. Biological heavy metal removal from sewage sludge. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand.
24. Rahmani, H.R., Moayeri, M., Mazaheri Kouhestani, Z., Khodabakhsh, N., Sharifi, H. 2014. The investigationof some quality properties and heavy metal concentration in dried sewage sludge of Isfahan Shahinshahr wastewater treatment plant. Journal of Environmental Science and Technology. 16 (2): 55-65. (In Persian)
25. Alloway, B.J., 1995. Heavy Metals in Soils (2nd ed.) Blackie Academic & Professional. Glasgow, UK.
26. Smith, SR., 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass. Environmental Pollution, Vol. 85(3), pp. 321-7.
27. Scheltinga, HM., 1987. Sludge in agriculture: the European approach. Water Science and Technology. Vol. 19(8) pp. 9-18.
28. USEPA. 1999. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA 625/R-92-013.

Archive of SID

www.SID.ir