ORIGINAL ARTICLE

Evaluation of Cow Manure Effect as Bulking Agent on Concentration of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge Vermicomposting

Mohammad Ali Zazouli[1],
Hosseinali Asgharnia[2],
Jamshid Yazdani Cherati[3],
Hajar Ziaee Hezarjeribi[4],
Abbas Ahmadnezhad[5]

[1] Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Biostatistics, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Parasitology, Faculty of Medicine, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[5] MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received February 28, 2014 ; Accepted May 10, 2015)

Abstract

Background and purpose: Sewage sludge can contain heavy metals. This study aimed at investigating the effect of cow manure as bulking agent on concentration of heavy metals (cadmium, chromium, copper and lead) during municipal sewage sludge vermicomposting and compares that with standard levels.

Materials and methods: In an experimental research, vermicompost was produced by mixing sewage sludge and cow manure using earthworms (*Eisenia Foetida* species). Composting process was conducted in 27 pilots for three months. The heavy metals concentrations were measured by atomic absorption spectroscopy in the vermicomposting process. Then, data was analyzed by descriptive statistics and statistical test of Repeated Measured ANOVA.

Results: In all pilots the heavy metals concentration decreased with increasing vermicomposting time. Reduction in Cd, Cr, Cu and Pb concentration values in the vermicompost produced from mixture of sewage sludge and cow manure was found 50% higher than other pilots. The concentration of heavy metals of in terms of kind of composted material decreased significantly in all pilots ($P<0.05$). Concentration of heavy metals for the number of worms also decreased in all pilots but this decrease was not found to be significant ($P>0.05$). Therefore, a compost produced by a mixture with 50% of sewage sludge and 50% of cow manure; and 40 *Eisenia Foetida* in 1.2 Kg could have a higher quality in terms of heavy metals.

Conclusion: The concentration of heavy metals was lower than the standard levels set by Iranian national (class I and II), WHO and US Environmental Protection Agency. The use of cow dung as a cheap and available bulking agent is recommended in vermicomposting of sewage sludge.

Keywords: Sewage sludge, cow manure, compost, vermicompost, earthworms, *Eisenia foetida*, heavy metals

J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(124): 152-169 (Persian).

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و پنجم شماره ۱۲۴ اردیبهشت سال ۱۳۹۴ (۱۶۹-۱۵۲)

بررسی تأثیر فضولات گاوی به عنوان عامل حجیم کننده بر غلظت فلزات سنگین در طی فرآیند ورمی کمپوست لجن فاضلاب شهری

محمدعلی زززولی[۱]
حسینعلی اصغرنیا[۲]
جمشید یزدانی[۳]
هاجر ضیائی هزار جریبی[۴]
عباس احمدنژاد[۵]

چکیده

سابقه و هدف: لجن فاضلاب‌های شهری ممکن است حاوی فلزات سنگین باشند. لذا هدف از این تحقیق بررسی اثر فضولات گاوی بر غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، کروم، مس و سرب) ورمی‌کمپوست تولیدی از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و مقایسه آن ها با استانداردها می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه از نوع تجربی بوده که ورمی کمپوست با استفاده از مخلوط لجن فاضلاب شهری با فضولات گاوی توسط کرم ایزنیا فوئتیدا تولید شد. در این تحقیق ۲۷ پایلوت به مدت ۳ ماه فرآیند کودسازی انجام شد. غلظت فلزات سنگین بعد از هضم و آماده‌سازی نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی تعیین مقدار شدند. داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی و آزمون‌های آنالیز واریانس (Repeated Measured ANOVA) مورد تفسیر و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه با گذشت زمان ورمی کمپوست در کلیه بسترها کاهش یافته‌است. این کاهش فلزات سنگین در حالت مخلوط لجن فاضلاب شهری با فضولات گاوی با نسبت ۵۰ درصد بیش‌تر بود. نتایج آزمون آماری نشان داد که میزان غلظت فلزات سنگین در بسترها از نظر نوع ماده کمپوست شونده به طور معنی‌داری کاهش یافته‌است ($p<۰/۰۵$). هم‌چنین میزان این فلزات در بسترها از نظر تعداد کرم نیز کاهش یافته، ولی معنی‌دار نبوده است ($p>۰/۰۵$). بنابراین می‌توان با اختلاط لجن فاضلاب با فضولات گاوی با نسبت وزنی ۵۰ درصد و با تعداد ۴۰ عدد کرم ایزینیا فئوتیدا در ۱/۲ کیلوگرم سریع‌تر و بهتر به کود کمپوست با کیفیت بهتری از نظر فلزات سنگین دست یافت.

استنتاج: میزان غلظت فلزات سنگین کمپوست تولیدی کم‌تر از استانداردهای کمپوست درجه یک و دو کشور ایران، استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بوده‌است بنابراین، می‌توان از فضولات گاوی به عنوان عامل حجیم‌کننده ارزان و فراوان برای تولید ورمی کمپوست در مخلوط با لجن فاضلاب شهری به کار گرفت.

واژه های کلیدی: لجن فاضلاب، فضولات گاوی، کمپوست، ورمی کمپوست، کرم خاکی، ایزنیا فئوتیدا، فلزات سنگین

مقدمه

امروزه استفاده از کودهای آلی به علت فواید فراوان آن در کشاورزی و محیط زیست از اهمیت زایدالوصفی برخوردار است. از جمله کودهای ارگانیک می‌توان به کودهای حاصل از فضولات

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی شماره ۱۱- ۹۲ است که توسط معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران تامین شده است.

مولف مسئول: عباس احمدنژاد- ساری: کیلومتر ۱۷ جاده فرح آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: abasahmadnezhad@yahoo.com
۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی،دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، ایران
۳. استادیار، گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. استادیار، گروه انگل شناسی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی،دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۵. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۳/۱۲/۹ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :۱۳۹۳/۱۲/۹ تاریخ تصویب : ۱۳۹۴/۲/۲۰

حیوانی، پسماندهای کشاورزی، زباله‌های خانگی و لجن فاضلاب اشاره کرد(۱). هم چنین به علت محدود بودن منابع سنتی مواد آلی نظیر کودهای حیوانی، استفاده از سایر مواد زائدآلی ازجمله لجن فاضلاب شهری و خانگی نیز برای بهبود حاصل خیزی خاک‌های کشاورزی رو به گسترش است(۲، ۳). اما استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی به خاطر مقادیر بالای فلزات سنگین و آلودگی میکروبی دارای محدودیت زیادی می‌باشد(۴). با توجه به مشکلاتی که در مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به وجود آمده‌است، کاربرد کودهای آلی به‌طور جدی توصیه می‌شود. در خاک های غنی شده با کمپوست، فرسایش کاهش یافته و تراکم خاک کم می‌شود(۵). توانایی برخی از کرم‌های خاکی در مصرف بقایای آلی، هم چون لجن فاضلاب، فضولات حیوانی، بقایای محصولات کشاورزی و زایدات صنعتی کاملاً محقق شده است. طبق تحقیقات انجام شده، یکی از معروف‌ترین کرم‌های کمپوست ساز، گونه ایزنیافئوتیدا است(۶). فرآیند کمپوست با استفاده از کرم‌های خاکی کمپوست کننده، به عنوان یک فن‌آوری آسان و یک فرآیند طبیعت دوست، برای به دست آوردن کود آلی از مواد زائد و تثبیت مواد زائد به ویژه لجن فاضلاب خانگی، شهری و صنایع، مورد توجه قرار گرفته است(۷). کود ورمی کمپوست حاصل از این فرآیند، متشکل از فضولات کرم‌های خاکی، مواد زائد آلی در مراحل مختلف تکامل و هم چنین میکروارگانیسم‌های مربوط به فرآیند کمپوست می‌باشد(۸). وجود مواد معدنی و فلزات سنگین در کمپوست محتمل است(۹، ۱۰). یکی از عوامل مهم و تعیین‌کننده کیفیت کود کمپوست و لجن فاضلاب مقدار و نوع عناصر سنگین آن است(۱۱).

در حال حاضر یکی از چالش‌های مهم و اساسی در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین به سبب عدم تجزیه کامل آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. این گونه فلزات با توجه بهداشت خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، سرطان‌زایی و جهش زایی بر انسان و سایر موجودات زنده، حیات آن‌ها را با خطرات جدی مواجه ساخته است(۱۲). از آن جائی که فلزات سنگین غیر قابل تجزیه بیولوژیکی بوده و می‌توانند در بافت‌های زنده تجمع یابند، بنابراین آن‌ها در سراسر زنجیره غذایی تغلیظ می‌یابند(۱۳). سمیت فلزات سنگین و خطر تجمع بیولوژیکی آن‌ها در زنجیره غذایی، نمایان‌گر یکی از مشکلات زیست محیطی و بهداشتی در جوامع امروزی است(۱۴، ۱۵). مسمومیت با فلزات سنگین باعث آسیب جدی به کلیه‌ها، استخوان و سیستم عصبی در انسان می‌گردد(۱۶). هم‌چنین فلزات سنگین می‌توانند واکنش‌های حساسیتی را افزایش دهند، جهش‌های ژنتیکی ایجاد کنند، با عناصر کمیاب مفید برای بدن در واکنش بیوشیمیایی رقابت کنند و نیز مثل آنتی‌بیوتیک‌ها عمل کنند و هر دو دسته مفید و مضر باکتری‌ها را ازبین می‌برند(۱۷). حضور بسیاری از فلزات سنگین در مقدار کم، برای رشد گیاهان ضروری است، اما در غلظت‌های بالاتر می‌تواند آثار سوئی در رشد آن‌ها داشته‌باشند(۱۸). فلزات سنگین در مقایسه با ترکیبات آلی که در اثر تجزیه بیولوژیکی تغییر می‌کنند، نسبتاً پایدار هستند(۱۹). برعکس آب و هوا، خاک نمی‌تواند از فلزات سنگین تصفیه شود(۲۰). وجود فلزات سنگین در طبیعت باعث بروز مشکلات زیست محیطی می‌گردد(۲۱). مقدار عناصر سنگین در لجن فاضلاب و کود کمپوست حاصل از زباله‌های شهرهای بزرگ و صنعتی بیش‌تر است(۲۲). ممکن است کمپوست تولید شده از فضولات دامی، لجن فاضلاب و پسماند شهری محتوی مقادیر بیش از یک یا چند عنصر فلز سنگین (Ar، Fe، Cu، Mn، Sn، Zn و...) باشد(۲۳). مصرف طولانی‌مدت این نوع کمپوست موجب تجمع عناصر روی، سرب، نیکل و کادمیوم در خاک و گیاه و بروز سمیت در گیاهان می‌گردد(۲۷-۲۴). هم‌چنین افزودن کود دامی از طریق تشکیل کمپلکس با مواد آلی و افزایش کادمیوم و روی

باعث افزایش آلایندگی این عناصر گردید(۲۸). در نتیجه برای استفاده ایمن از کمپوست پارامترهایی در خصوص پتانسیل خطر برای گیاهان و حیوانات باید در نظر گرفته شود. یکی از مهم ترین این پارامترها، حضور فلزات سنگین در کمپوست است(۷، ۲۹، ۳۰). بنابراین، قبل از کاربرد ورمی‌کمپوست در خاک، ارزیابی غلظت این فلزات در ورمی کمپوست ضروری است(۳۱). محققین رشته محیط زیست برای جلوگیری از هر گونه ضرر و زیان و خسارات ناشی از شور شدن یا آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین، شرایط و استانداردهایی را برای حداکثر مقدار مجاز عناصر سنگین و هم‌چنین حداکثر مجاز مصرف کودهای کمپوست و لجن فاضلاب در کشاورزی را تعیین نموده‌اند(۳۲). عدم رعایت استانداردها در تهیه کمپوست و نادیده گرفتن کیفیت آن از نظر میکروارگانیسم های پاتوژن، سموم آلی و معدنی به ویژه فلزات سنگین، موجب کندی در روند رو به رشد صنعت کمپوست و بازنگری در فرآیندهای آن شده‌است(۱۶).

طبق مطالعات انجام شده، همه انواع کمپوست حاصل از زائدات شهری و لجن فاضلاب بیش تر از خاک حاوی فلزات سنگین هستند(۲۰). فلزات سنگینی که نگران عمده ایجاد می‌کنند عبارتند از کادمیوم، نیکل، کروم، جیوه، روی، مس و سرب(۱۹، ۳۳). از نظر مسائل اکولوژیکی، کادمیوم، نیکل، روی، مس و سرب اهمیت بیش‌تری دارند(۳۴). کرم‌های خاکی به خاطر دارا بودن پتانسیل مؤثر در تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین در بافت‌هایشان، به عنوان شاخص اکولوژیکی آلاینده‌های خاک به کار می‌روند(۳۵). تثبیت لجن فاضلاب شهری اصلاح شده با زائدات نیشکر با استفاده ایزینیا فئوتیدا نشان داد که غلظت فلزات Cu، Fe، Mn، Zn و Pb به طور قابل ملاحظه‌ای در طی فرایند کمپوست کاهش یافت(۳۶). تحقیق در مورد تثبیت لجن فاضلاب اولیه در طی ورمی کمپوست مشخص شد که مقدار فلزات سنگین در ورمی کمپوست‌ها بیش‌تر از مخلوط‌های اولیه بود(۳۱). بنابراین از آن جائی که در مورد تغییرات میزان فلزات سنگین در فرآیند تولید ورمی کمپوست اطلاعات ضد و نقیضی وجود داشته و در خصوص این که آیا کرم‌های خاکی قادرند فلزات سنگین را جذب کنند، اطلاعات علمی خاصی وجود ندارد. هم چنین با عنایت به عدم وجود سابقه تحقیقی در زمینه تهیه ورمی کمپوست از سه نوع ماده (مخلوط لجن و فضولات، لجن و فضولات) و پاسخ به بعضی از سئوالات و وجود این ابهام که تأثیر مواد کمپوست شونده و تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا بر کارآیی تولید ورمی کمپوست با کیفیت مطلوب از نظر خصوصیات فلزات سنگین چگونه‌است؟ و از طرفی گسترش روزافزون استفاده از مواد آلی نظیر لجن فاضلاب شهری و فضولات دامی در کشاورزی؛ انجام تحقیق ضروری به نظر می‌رسید. لذا هدف از این مطالعه بررسی تأثیر فضولات گاوی به عنوان عامل حجیم کننده بر غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس و سرب در طی فرآیند ورمی کمپوست لجن فاضلاب شهری؛ مقایسه کیفیت کمپوست تولیدی با استانداردهای ملی ایران، سازمان بهداشت جهانی، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و کشورهای اروپائی می‌باشد.

مواد و روش ها

تهیه لجن و فضولات

این مطالعه از نوع تجربی بوده و در مقیاس پایلوت انجام گردید. لجن خام مورد نیاز از تصفیه خانه فاضلاب شهرک یثرب قائمشهر تهیه و آب‌گیری شد. کرم‌های خاکی ایزنیا فوئتیدا از توده‌های کودهای گاوی نسبتاً کهنه در دامداری های اطراف روستاهای شهرستان نکاء تهیه و جمع‌آوری گردید. فضولات حیوانی به کار رفته در این تحقیق فضولات گاوی بود که این فضولات گاوی مورد نیاز نیز به همراه کرم‌های خاکی ایزنیا فوئتیدا از همان محل‌های اطراف، تهیه و جمع‌آوری گردید. سپس جهت یکنواخت سازی فضولات

گاوی و لجن آب‌گیری شده فاضلاب نیز نسبت ریز کردن اجزاء و به هم زدن مکرر توده‌ها و جداسازی زائدات درشت و آشغال‌ها اقدام گردید. هم‌چنین مواد حجیم‌کننده به کار رفته در این تحقیق خاک اره بود که این خاک اره مورد استفاده نیز از نجاری‌ها جمع آوری و نمونه همگنی از آن تهیه گردیده‌است.

تهیه پایلوت و نسبت اختلاط مواد

نمونه‌هایی کرم خاکی ایزینیا فوئتیدا (به تعداد ۱۲۰۰ عدد) را در داخل بستر محتوی مخلوط کود گاو (محل طبیعی زندگی‌شان) و خاک برگ قرار داده شد. به بستر آن‌ها به تدریج در مقادیر ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۸۵ درصد لجن آبگیری شده فاضلاب اضافه گردیده و به مدت ۲۰ روز به آن‌ها زمان داده شد تا به شرایط جدید عادت نموده و معده آن ها معدنی شود. سپس نسبت به تهیه مخلوط فضولات گاوی و لجن آبگیری شده فاضلاب با نسبت وزنی ۵۰ درصد به ۵۰ درصد اقدام گردید. جهت تنظیم نسبت C/N، مخلوط اولیه محتوی ۱۰۰ درصد لجن آب‌گیری شده و مخلوط اولیه محتوی ۵۰ درصد لجن آب‌گیری شده و ۵۰ درصد فضولات گاوی، به ترتیب با نسبت وزنی ۸۵ به ۱۵ درصد و ۹۲/۵ به ۷/۵ درصد با خاک اره (به عنوان عامل حجم‌دهنده) مخلوط شدند. در مخلوط اولیه محتوی ۱۰۰ درصد فضولات گاوی به دلیل بالا بودن نسبت C/N آن، ضرورتی در خصوص اختلاط آن با خاک اره به عنوان عامل حجیم‌کننده احساس نگردیده‌است. پس از خوگرفتن کرم‌های خاکی ایزنیا فوئتیدا و تنظیم نسبت C/N مخلوط‌ها، در ۲۷ بستر پایلوت (ظرف ۲ کیلوگرمی) برابر جدول شماره ۱، از لجن آب‌گیری شده فاضلاب در مخلوط‌هایی با و بدون استفاده از فضولات گاوی در سه سطح (۰، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد) و هم‌چنین در غیاب و حضور کرم‌های خاکی ایزنیا فوئتیدا در سه سطح ۰، ۲۰ و ۴۰ عدد کرم، به ازای ۱/۲ کیلوگرم مواد اولیه، اقدام به تهیه کمپوست گردید. لازم به ذکر است که جهت ممانعت ازخروج کرم‌ها، روی ظرف‌های مذکور با توری ریز بافت و محکم پوشانده شده و به منظور هوادهی نیز چندین سوراخ کوچک به قطر ۵ میلی‌متری در کف و بدنه و دیواره جانبی این ظرف‌ها ایجاد شد.

جدول شماره ۱ : مشخصات اجزای مخلوط در بسترهای پایلوت ورمی کمپوست

شماره بستر پایلوت*	لجن آبگیری شده (درصد وزنی)	فضولات گاوی (درصد وزنی)	کرم خاکی ایزنیا فوتیدا (تعداد)
۱	۵۰	۵۰	۰
۲	۵۰	۵۰	۰
۳	۵۰	۵۰	۰
۴	۵۰	۵۰	۲۰
۵	۵۰	۵۰	۲۰
۶	۵۰	۵۰	۲۰
۷	۵۰	۵۰	۴۰
۸	۵۰	۵۰	۴۰
۹	۵۰	۵۰	۴۰
۱۰	۱۰۰	۰	۰
۱۱	۱۰۰	۰	۰
۱۲	۱۰۰	۰	۰
۱۳	۱۰۰	۰	۲۰
۱۴	۱۰۰	۰	۲۰
۱۵	۱۰۰	۰	۲۰
۱۶	۱۰۰	۰	۴۰
۱۷	۱۰۰	۰	۴۰
۱۸	۱۰۰	۰	۴۰
۱۹	۰	۱۰۰	۰
۲۰	۰	۱۰۰	۰
۲۱	۰	۱۰۰	۰
۲۲	۰	۱۰۰	۲۰
۲۳	۰	۱۰۰	۲۰
۲۴	۰	۱۰۰	۲۰
۲۵	۰	۱۰۰	۴۰
۲۶	۰	۱۰۰	۴۰
۲۷	۰	۱۰۰	۴۰

* در پایلوت های شماره ۱ الی ۹، هر یک از مخلوط‌های اولیه محتوی ۵۰ درصد لجن آب‌گیری شده و ۵۰ درصد فضولات گاوی با خاک اره با نسبت وزنی ۹۲/۵ به ۷/۵ درصد مخلوط گردیدند.
در پایلوت‌های شماره ۱۰ الی ۱۸، هر یک از مخلوط‌های اولیه محتوی ۱۰۰ درصد لجن آبگیری شده با خاک اره با نسبت وزنی ۸۵ به ۱۵ درصد مخلوط گردیدند.
در پایلوت های شماره ۱۹ الی ۲۷، هر یک از مخلوط‌های اولیه محتوی ۱۰۰ درصد فضولات گاوی به دلیل بالا بودن نسبت C/N آن ها، با خاک اره مخلوط نگردیدند

روش هضم و آنالیز فلزات

مدت زمان پایلوت ۳ ماه بوده و در طی این مدت درجه حرارت، رطوبت و هم‌چنین عمل زیروکردن در حد بهینه کنترل گردید. مقدار فلزات سنگین (کادمیوم،

کروم، مس و سرب) کل نمونه‌های مواد اولیه و کود تولیدی در طی عملیات کمپوست، ۳ مرتبه (در زمان‌های ۰، ۶۰، ۹۰ روز)، بر اساس روش جذب اتمی تعیین مقدار شدند(۳۷). بدین‌صورت که ابتدا ۳ گرم نمونه با استفاده از اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک به همراه پراکسید (مطابق با EPA 3050) هضم نموده و بعد آن را با کاغذ صافی واتمن ۴۱ در درون یک بالن ژوژه ۵۰ میلی لیتری صاف نموده و با آب مقطر به حجم ^{cc}۵۰ رسانیده شد(۳۷). سپس میزان فلزات سنگین مورد نظر در این نمونه‌های صاف شده را به کمک دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (AAS) مدل Perkinelmer Analyst100 دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی مازندران تعیین گردید.

روش تجزیه و تحلیل

برای برآورد حجم نمونه از روش full factorial و نرم‌افزار Design expert 7.00 استفاده گردید. پس از انجام آزمایشات فلزات سنگین (Cd، Cr، Cu و Pb)، ابتدا کلیه اطلاعات در رایانه ثبت و آمار توصیفی داده‌ها جهت متغیرها نیز به صورت انحراف معیار± میانگین، گزارش گردید. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های آماری، به تفکیک متغیرهای نوع ماده کمپوست شونده و زمان و متغیرهای تعداد کرم ایزنیافئوتیدا و زمان، از نرم‌افزار Excel ،Spss ۲۰ و از روش پارامتریک به نام آزمون‌های آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری (Repeated Measured ANOVA)، آزمون مخلی (Mauchly) و آزمون تأثیر تک تک متغیرها و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها (Between-Subjects Effects) و پس آزمون (Post Hoc) مناسب استفاده گردید.

یافته ها

۱) بررسی تأثیر مواد کمپوست شونده

در جدول شماره ۲، بررسی تأثیر مواد کمپوست شونده بر غلظت فلزات سنگین در طی فرآیند ورمی‌کمپوست آمده‌است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، در هر سه نوع ماده کمپوست شونده (مخلوط لجن و فضولات، لجن و فضولات)، میانگین میزان غلظت تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه در طول زمان کاهش یافته‌است. لجن و فضولات، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این فلزات سنگین را در ماده اولیه و محصول نهایی دارا بوده‌اند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فلزات سنگین در ماده اولیه تمامی انواع مواد کمپوست شونده مورد مطالعه به ترتیب مربوط به فلز مس و کادمیوم بوده‌است. میزان غلظت فلز مس و کادمیوم در ماده نهایی لجن و مخلوط لجن و فضولات به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار، اما در ماده نهایی فضولات، میزان غلظت فلز کروم و سرب به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار می‌باشد. در مجموع نیز در میان ۴ نوع فلز سنگین فوق‌الذکر موجود در انواع مواد اولیه مورد بررسی، مس دارای بالاترین و کادمیوم دارای پائین ترین غلظت بوده که به ترتیب در لجن و فضولات وجود داشت. هم‌چنین در محصول نهایی مورد بررسی، مس دارای بالاترین و کادمیوم دارای پائین‌ترین غلظت بوده که به ترتیب در لجن و فضولات وجود داشت. در کل سرب دارای بالاترین و مس دارای پائین‌ترین درصد کاهش تجمعی بوده که به ترتیب مربوط به فضولات و لجن بود.

بر اساس آزمون کرویت مخلی از نظر نوع ماده کمپوست شونده، مشخص گردیده‌است که مقدار سطح معنی‌داری (Sig) میزان غلظت تمامی فلزات سنگین مورد آزمایش در هر سه نوع ماده کمپوست شونده، همگی برابر صفر شده، که این مقادیر کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد. لذا نتایج چند متغیره که دارای توان بیش‌تری هستند، گزارش می‌شود. هم‌چنین نتایج آزمون تأثیر تک تک متغیرها و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها از نظر نوع ماده کمپوست شونده، نشان داده‌است که میان تک تک هر یک از ۴ نوع فلز سنگین با سه زمان مختلف(۰، ۶۰ و ۹۰ روز) اختلاف معنی داری وجود داشته (همگی با

جدول شماره ۲: بررسی تأثیر مواد کمپوست شونده بر غلظت فلزات سنگین (Cd، Cr، Cu و Pb) در طی فرآیند ورمی کمپوست

نام فلز	زمان آزمایش	انحراف معیار ± میانگین			حداکثر مقدار میانگین	حداقل مقدار میانگین	درصد کاهش تجمعی
(واحد برحسب mg/kg)	نوع ماده*	مقدار اولیه	روز ۶۰	روز ۹۰			
	مخلوط لجن و فضولات گاو	۱/۸۶±۰/۰۶	۱/۱۹±۰/۱۰	۰/۷۵±۰/۰۹	۱/۸۶	۰/۷۵	۶۸/۵۹
کادمیوم	لجن	۳/۳۷±۰/۱۳	۲/۱۵±۰/۲۲	۱/۵۱±۰/۰۹	۳/۳۷	۱/۵۱	۱۹/۵۵
	فضولات گاو	۰/۸۶±۰/۰	۰/۵۵±۰/۰۳	۰/۲۹±۰/۰۲	۰/۸۶	۰/۲۹	۶۶/۲۸
	مخلوط لجن و فضولات گاو	۶/۳۸±۰/۰۲	۴/۲۲±۰/۴۷	۲/۳۲±۰/۴۷	۶/۳۸	۲/۳۲	۶۳/۶۴
کروم	لجن	۹/۷۹±۰/۰۴	۵/۸۹±۰/۵۴	۳/۴۷±۰/۲۵	۹/۷۹	۳/۴۷	۶۴/۵۶
	فضولات گاو	۴/۸۹±۰/۰۲	۳/۱۰±۰/۲۸	۱/۱۶±۰/۳۵	۴/۸۹	۱/۱۶	۷۶/۲۸
	مخلوط لجن و فضولات گاو	۲۰/۸۰±۰/۲۲	۱۵/۲۲±۰/۴۵	۱۰/۲۵±۰/۷۹	۲۰/۸۰	۱۰/۲۵	۵۰/۷۲
مس	لجن	۴۴/۴۲±۰/۷۹	۳۸/۰۹±۲/۸۰	۳۰/۵۸±۲/۷۳	۴۴/۴۲	۳۰/۵۸	۳۱/۱۶
	فضولات گاو	۵/۴۱±۰/۰	۳/۲۵±۰/۱۶	۰/۶۱±۰/۱۶	۵/۴۱	۰/۶۱	۸۸/۷۲
	مخلوط لجن و فضولات گاو	۷/۶۳±۰/۱۸	۳/۹۰±۰/۴۷	۱/۴۱±۰/۱۸	۷/۶۳	۱/۴۱	۵۲/۸۱
سرب	لجن	۱۳/۹۱±۰/۲۱	۹/۹۶±۰/۳۹	۴/۷۱±۰/۳۳	۱۳/۹۱	۴/۷۱	۶۶/۱۴
	فضولات گاو	۳/۷۰±۰/۰۳	۱/۱۱±۰/۱۲	۰/۰۵±۰/۱۲	۳/۷۰	۰/۰۵	۹۸/۶۵

* مخلوط لجن و فضولات گاوی: محتوی ۵۰ درصد لجن آبگیری شده و ۵۰ درصد فضولات گاوی (پایلوت های شماره ۱ الی ۹) با خاک اره (به عنوان عامل حجم دهنده) با نسبت وزنی ۹۲/۵ به ۷/۵ درصد مخلوط گردیدند.

* لجن: محتوی ۱۰۰ درصد لجن آبگیری شده (پایلوت های شماره ۱۰ الی ۱۸) با خاک اره (به عنوان عامل حجم دهنده) با نسبت وزنی ۸۵ به ۱۵ درصد مخلوط گردیدند.

فضولات گاوی: محتوی ۱۰۰ درصد فضولات گاوی (پایلوت های شماره ۱۹ الی ۲۷) به دلیل بالا بودن نسبت C/N آن ها، با خاک اره (به عنوان عامل حجم دهنده) مخلوط نگردیدند.

($p<۰/۰۰۱$) و تمام سطوح هر یک از این پارامترها نیز دو به دو با هم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهند (همگی با $p<۰/۰۰۱$). اثر متقابل میان میزان غلظت هر یک از فلزات با نوع ماده معنی‌دار به دست آمده‌است (همگی با $p<۰/۰۰۱$).

۲) بررسی تأثیر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا

در جدول شماره ۳، بررسی تأثیر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا بر غلظت فلزات سنگین در طی فرآیند ورمی‌کمپوست نمایش داده شده‌است. همان طوری که که در این جدول دیده می‌شود، در هر سه سطح از کرم ایزینیا فئوتیدا (۰، ۲۰ و ۴۰ عدد)، میانگین میزان غلظت تمامی فلزات سنگین مورد آزمایش در طول زمان کاهش یافته‌است. بنابراین میزان هر ۴ نوع فلز در محصول نهایی مربوطه بستر محتوی بدون کرم بیش‌ترین مقدار بوده، اما بستر محتوی ۴۰ کرم، کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌است. فلز مس و کادمیوم در ماده اولیه و نهایی تمامی سطوح مختلف کرم (۰، ۲۰ و ۴۰ عدد)، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را دارا بوده‌است. در مجموع نیز در میان ۴ نوع فلز موجود در ماده اولیه سطوح مختلف کرم (۰، ۲۰ و ۴۰ عدد) مورد بررسی، مس دارای بالاترین و کادمیوم دارای پائین ترین غلظت بوده که هر دو در بستر فاقد کرم وجود داشت. هم چنین در ماده نهایی سطوح مختلف کرم (۰، ۲۰ و ۴۰ عدد)، مس دارای بالاترین و کادمیوم دارای پائین‌ترین غلظت بوده که به ترتیب در بستر فاقد کرم و ۴۰ کرم وجود داشت. درکل سرب دارای بالاترین و مس دارای پائین ترین درصد کاهش تجمعی بوده که به ترتیب مربوط به ۴۰ کرم و فاقدکرم بود. با توجه به آزمون کرویت مخلی، مقدار سطح معنیداری (Sig.) میزان غلظت تمامی فلزات سنگین مورد آزمایش در هر سه سطح کرم، به ترتیب برابر صفر، ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۵ شده، که این مقادیر کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد. لذا نتایج چند متغیره که دارای توان بیش‌تری هستند، گزارش می‌شود. هم‌چنین بر اساس آزمون تأثیر تک تک متغیرها و هم چنین اثر متقابل آن ها از نظر تعداد کرم، مشخص گردیده‌است که میان تک تک هر یک از ۴ نوع فلز با سه زمان مختلف (۰، ۶۰ و ۹۰ روز) اختلاف معنی‌داری وجود داشته (همگی با $p<۰/۰۰۱$) و تمام سطوح هر یک از این پارامترها نیز دو به دو با هم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهند (همگی با $p<۰/۰۰۱$). اثر متقابل میان میزان غلظت هر یک از فلزات سنگین با تعداد کرم ایزینیا فئوتیدا معنی‌دار نیست (به ترتیب با $p=۰/۴۳۸$، $p=۰/۲۸۷$، $p=۰/۲۷۴$ و $p=۰/۷۴۵$).

جدول شماره ۳: بررسی تأثیر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا بر غلظت فلزات سنگین در طی فرآیند ورمی کمپوست

نام فلز (واحد برحسب mg/kg)	زمان آزمایش تعداد کرم خاکی	انحراف معیار±میانگین مقدار اولیه	روز ۶۰	روز ۹۰	حداکثر مقدار میانگین	حداقل مقدار میانگین	درصد کاهش تجمعی
	صفر (فاقد)کرم	۱/۹۵±۱/۰۲	۱/۴۱±۰/۷۷	۰/۹۲±۰/۵۶	۱/۹۵	۰/۹۲	۵۲/۸۲
کادمیوم	۲۰ کرم	۲/۱۰±۱/۱۶	۱/۳۲±۰/۷۲	۰/۸۵±۰/۵۴	۲/۱۰	۰/۸۵	۵۹/۵۲
	۴۰ کرم	۲/۰۳±۱/۰۹	۱/۱۵±۰/۵۹	۰/۷۸±۰/۴۹	۲/۰۳	۰/۷۸	۶۱/۵۸
	صفر (فاقد)کرم	۷/۰۳±۲/۲۰	۴/۸۶±۱/۳۳	۲/۷۱±۰/۹۲	۷/۰۳	۲/۷۱	۶۱/۴۵
کروم	۲۰ کرم	۶/۹۸±۲/۱۶	۴/۴۶±۱/۲۴	۲/۳۰±۱/۰۷	۶/۹۸	۲/۳۰	۶۷/۰۵
	۴۰ کرم	۷/۰۲±۲/۱۸	۳/۸۹±۱/۰۸	۱/۹۴±۱/۰۲	۷/۰۲	۱/۹۴	۷۲/۳۶
	صفر (فاقد)کرم	۲۳/۶۴±۱۷/۰۲	۲۰/۲۳±۱۶/۸۵	۱۵/۲۷±۱۴/۶۳	۲۳/۶۴	۱۵/۲۷	۳۵/۴۱
مس	۲۰ کرم	۲۳/۱۳±۱۶/۶۰	۱۸/۸۶±۱۵/۰۴	۱۳/۶۵±۱۳/۰۴	۲۳/۱۳	۱۳/۶۵	۴۰/۹۹
	۴۰ کرم	۲۳/۸۹±۱۷/۴۲	۱۷/۶۹±۱۴/۱۰	۱۲/۵۲±۱۲/۰۷	۲۳/۸۹	۱۲/۵۲	۴۷/۵۹
	صفر (فاقد)کرم	۸/۲۷±۴/۳۹	۵/۳۲±۴/۰۴	۲/۲۷±۲/۲۲	۸/۲۷	۲/۲۷	۷۲/۵۵
سرب	۲۰ کرم	۸/۴۷±۴/۴۳	۵/۰۳±۳/۸۹	۲/۰۶±۲/۰۶	۸/۴۷	۲/۰۶	۷۵/۶۸
	۴۰ کرم	۸/۴۹±۴/۵۴	۴/۶۲±۳/۸۲	۱/۸۵±۱/۹۴	۸/۴۹	۱/۸۵	۷۸/۲۱

بحث

این تحقیق نشان داد که طی فرآیند کمپوست، با ادامه تثبیت مواد، از نظر نوع ماده کمپوست شونده و تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا، مقدار غلظت فلز سنگین شامل کادمیوم، کروم، مس و سرب در کودهای حاصله به میزان زیادی کاهش یافته‌است که این موضوع با نتایج سایر تحقیقات انجام شده در این خصوص مبنی بر کاهش فلزات سنگین، هم خوانی دارد(۷،۱۴،۳۰،۳۵،۳۶،۵۱-۳۸). اما این کاهش نسبت به برخی مقالات مرتبط چشمگیرتر نبوده‌است. در برخی از مطالعات دیگر نیز، عدم تغییر، یا افزایش مقدار فلزات نهایی گزارش شده‌است(۳۱،۵۵-۵۲). یکی از این دلایل اختلاف نتایج و عدم تطابق می‌تواند ناشی از اختلاف روش کار، تفاوت مشخصات نوع بستر (مواد اولیه مورد استفاده)، تفاوت در روش هضم نمونه‌ها، شرایط انجام آزمایش، مدت زمان مطالعه، تعداد، وزن،گونه و یا سایر ویژگی های کرم خاکی و متفاوت بودن نوع و میزان مواد کمپوست شونده و میکروارگانیسم‌های مصرف کننده مواد مورد مطالعه باشد. تثبیت لجن فاضلاب شهری اصلاح شده با پسماند نیشکر توسط کرم ایزینیا فئوتیدا نشان داد که غلظت فلزات Cu، Mn، Fe، Zn و Pb نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت(۳۶). هم‌چنین مطالعه نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بعد از ورمی کمپوست، هیچ اثر زیانباری ندارد. زیرا مقادیر فلزات سنگین آن مطابق با محدوده مجاز می‌باشد(۳۸).

امکان سنجی ورمی کمپوست در تثبیت زیستی لجن ناشی از صنعت تقطیر نشان داد که ورمی کمپوست باعث کاهش قابل توجه کل غلظت فلزات Mn،Fe،Zn و Cu در لجن گردیده و امکان سنجی کرم‌های خاکی جهت کاهش (تخفیف) سمیت فلزی و تسهیل در پروفیل مواد مغذی می‌تواند جهت تبدیل لجن مضر به محصولات مفید بر اساس ورودی کم، مفید باشد(۳۹).

علیدادی وهمکاران و شاه‌منصوری و همکاران(۴۰،۵۶) گزارش نمودند که لجن آب‌گیری شده دارای غلظت بالای فلزات سنگین می‌باشد و در طی عملیات کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی پائین‌تر از حد استاندارد EPA در مورد فلزات سنگین موجود در کمپوست قرار داشت. در پژوهشی که توسط یوسفی و همکاران در مورد ورمی‌کمپوست لجن تصفیه‌خانه فاضلاب و زباله خانگی انجام شد مشخص شد که بعضی از فلزات و املاح در بدن کرم خاکی جذب و یا به صورت بیولوژیکی تجمع پیدا می‌کنند(۴۳). Renner و همکاران نیز گزارش کردند که غلظت عناصر سنگین به استثنای روی در ورمی کمپوست‌ها کم‌تر از استاندارد توصیه شده EPA بود(۵۷). مطالعه تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین به وسیله کرم‌های خاکی ایرانی (ایزنیا فئوتیدا) در طی فرآیند ورمی کمپوست لجن فاضلاب نشان داد که بیش‌ترین سطح تجمع بیولوژیکی غلظت فلزات سنگین کروم، نیکل و کادمیوم در طی ۱۴ روز اول فرآیند صورت گرفته‌است(۳۵). در مطالعه‌ای که توسط شاه منصوری و

همکاران در خصوص تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین در بدن کرم‌های خاکی ایرانی و کالیفرنیایی در طی فرآیند ورمی کمپوست لجن فاضلاب صورت گرفت، مشخص گردید غلظت فلزات سنگین کروم و کادمیوم با گذشت زمان در ورمی کمپوست حاصله کاهش و در بدن کرم‌های خاکی افزایش یافته‌است. هم چنین مطابق با این تحقیق کرم‌های خاکی کالیفرنیایی از نظر تجمع بیولوژیکی بهتر از کرم‌های خاکی ایرانی بودند(۴۵). در مطالعه‌ای که توسط Aleagha و همکاران در مطالعه تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین به وسیله کرم‌های خاکی ایرانی (ایزنیا فئوتیدا) در طی فرآیند ورمی کمپوست لجن فاضلاب، انجام شده‌است، ثابت نمودند غلظت فلزات سنگین (کادمیوم و نیکل) در کرم‌های خاکی در طی فرآیند ورمی کمپوست، دلیلی روشنی بر قابلیت کرم‌های خاکی در تجمع بیولوژیکی این گونه آلاینده‌هاست. هم چنین این بررسی تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین کادمیوم و کروم در بدن کرم‌های خاکی نشان داد که رابطه بین مقدار این فلزات تجمع یافته در کرم و زمان، یک رابطه خطی می‌باشد(۴۶). Singh و همکارن بعد از مطالعه ورمی کمپوست لجن فاضلاب، دریافتند که کرم‌های خاکی کالیفرنیایی به خاطر خصوصیات فیزیولوژیکی و متابولیکی شان می‌توانند غلظت بالایی از فلزات سنگین را به شکل غیر سمی در بدن خود تجمع نمایند(۵۸). Begum و همکارن دریافتند که ظرف مدت زمان ۶۰ روز، عملیات ورمی کمپوست لجن فاضلاب با استفاده از کرم‌های خاکی کالیفرنیایی، حدود ۶۹/۹ درصد از فلز سنگین کروم در مقایسه با مقدار اولیه آن، حذف شده است(۱۴).

عزیزی و همکارن ثابت نمودند که ورمی کمپوست لجن فاضلاب در مخلوط با کمپوست قارچ، بعد از مدت زمان ۱۰ هفته از آغاز فرآیند، غلظت فلزات سنگین کروم و کادمیوم در مقایسه با لجن فاضلاب به میزان ۹۰ الی ۹۸ درصد کاهش یافته است(۴۷). Contreras-Ramos و همکاران تأیید نمودند مقادیر فلزات لجن تثبیت شده در ۶۰ روز، پائین تر از حد مجاز استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بود(۵۹).

لیکن مطالعه‌ای Renuka Gupta بر روی تثبیت لجن فاضلاب اولیه در طی ورمی کمپوست انجام گرفت، مشخص شد که مقدار فلزات سنگین در ورمی کمپوست‌ها بیش‌تر از مخلوط‌های اولیه بود(۳۱). از طرف دیگر، می‌توان گفت هنگام فرآیند تولید ورمی کمپوست، به علت کاهش حجم و وزن مواد در بستر در نتیجه تجزیه مواد آلی، غلظت فلزات سنگین افزایش می‌یابد(۵۲). در مطالعه‌ای که به بررسی غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست تولید شده از لجن صنایع کاغذسازی و کارخانه‌های تصفیه فاضلاب پرداخت، افزایش در غلظت این فلزات در کود نهایی تولیدشده گزارش شد(۵۳). در مطالعه‌ای دیگر افزایش غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست نهایی را به علت فرآیند تثبیت‌سازی مواد آلی بیان کردند(۵۴). در بررسی بازیافت لجن صنایع کشاورزی از طریق فرآیند تولید ورمی‌کمپوست، افزایش در غلظت K، Ca، Mg، Fe و Zn گزارش شد(۶۰). البته در برخی مقالات ارائه شده است که فرآیند تولید ورمی کمپوست، از طریق تولید ترکیبات هیومیکی و باندشدن این ترکیبات به فلزات سنگین، قابلیت دسترسی این فلزات را کاهش می‌دهد(۶۱).

Dominguez و همکاران(۶۲) نیز بیان کرده‌اند با وجودی که در نتیجه تثبیت کربن طی فرآیند معدنی شدن در فرآیند تولید ورمی کمپوست، مقدار کل فلزات سنگین (حدود ۲۵-۳۰ درصد) افزایش می‌یابد، مقدار قابل دسترس آن ها (حدود ۳۵-۵۵ درصد) کاهش خواهد یافت. در مقایسه کمپوست و ورمی کمپوست، افزایش غلظت در Cr، Pb، Zn و Cd و کاهش غلظت در Cu، Ni، K، Na، Ca و Cl مشاهده و بیان شد که غلظت تمام فلزات ذکرشده (جز Zn) در ورمی کمپوست کم تر از کمپوست است(۶۳). به طور کلی تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام شده در این

بررسی نشان می‌دهد که از نظر نوع ماده کمپوست شونده، تفاوت معنی داری بین میزان غلظت هر یک از فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb وجود داشته (p<۰/۰۵) و این اختلاف و یا کاهش میزان غلظت فلزات سنگین فوق الذکر، در ماده مخلوط لجن و فضولات گاو(۱) و خصوصاً در ماده لجن(۲) بیش‌تر بوده است که این کاهش همانا بیانگر نقش و کاربرد مواد حجیم‌کننده نظیر فضولات گاوی و به ویژه خاک اره در حذف فلزات سنگین از طریق عمل رقیق‌سازی می‌باشد که این موضوع کاهش و مجاز بودن غلظت عناصر سنگین در ورمی کمپوست‌های تولید شده با استفاده از انواع مختلف مواد حجم دهنده در نتایج گزارش‌های متعددی تأیید شده‌است(۶۷-۶۴). در آزمایشی که توسط Gondek و Filipek-Mazur (۶۵) انجام شد، عملکرد چغندر بعد از مصرف ورمی کمپوست‌های حاصل از اختلاط ۲۰ درصد کاه گندم و برگ درختان با لجن فاضلاب بررسی شد و تفاوتی بین این دو نوع ورمی کمپوست دیده نگردید و با وجود این که غلظت کروم در لجن فاضلاب بیش از حد استاندارد بود، تجمع این عنصر در گیاهان دیده نشد. Manios و Stentiford (۶۷) گزارش کردند که غلظت روی در ورمی‌کمپوست حاصل از نسبت ۱:۱ اختلاط لجن فاضلاب به برگ زیتون (حجمی/ حجمی) بیش‌تر از نسبت ۱:۲ بود، در حالی که در نسبت ۱:۲ غلظت سرب بیش‌تر بود ولی غلظت نیکل در هر دو تیمار یکسان بود. با وجود افزایش غلظت کل عناصر سنگین در لجن فاضلاب در طول فرآیند تولید کمپوست، مقدار شکل قابل جذب این عناصر کاهش می‌یابد. کاهش قابلیت استفاده عناصر سنگین در طول فرآیند کمپوست به دلیل تولید کمپلکس با مواد هوموسی است(۶۸). بر اساس یافته‌های Stover و همکاران(۶۹) کم‌تر از ۱۷ درصد روی، سرب و کادمیوم در لجن و تقریباً ۲۲ درصد نیکل به شکل‌های جذب سطحی شده و تبادلی وجود دارد که به راحتی برای گیاهان قابل استفاده می‌باشد. سایر شکل‌های محلول، تبادلی و جذب سطحی شده در بیایند تا برای گیاهان قابل استفاده شوند. Sommers(۷۰) نشان داد که شکل‌های غالب فلزات سنگین در لجن فاضلاب در مناطق مختلف متفاوت است و در نتیجه رفتار فلزات بعد از اضافه شدن به خاک در منابع مختلف لجن نیز متغیر است. هم چنین براساس این مطالعه انجام شده مشخص گردیده است که روند کاهش میزان غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در کلیه بسترها هم از نظر نوع ماده کمپوست شونده و هم از نظر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا مشاهده شده‌است که این مؤید آن است که فعالیت کرم های خاکی و میکروارگانیسم‌ها در توده کمپوست منجر به تجزیه مواد آلی شده و آن ها را به مواد معدنی تبدیل می‌کند که در طی این فرآیند تثبیت مواد آلی نیز مقادیری فلزات سنگین نظیر Cd، Cr، Cu و Pb در بدن کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها جذب و تجمع بیولوژیکی می‌یابد. در نتیجه غلظت این نوع فلز سنگین در توده نهایی کمپوست به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

با توجه به تجزیه و تحلیل‌های آماری از نظر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا، بین میزان غلظت هر یک از فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb تفاوت وجود داشته اما هرچند این کاهش نسبت به برخی مقالات مشابه چشمگیرتر نبوده و این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد (p>۰/۰۵)، ولی این اختلاف و یا کاهش میزان غلظت فلزات سنگین فوق‌الذکر، به‌خاطر حضور و فعالیت کرم‌های خاکی در بسترهای محتوی کرم ایزنیا فئوتیدا ازجمله در بسترهای حاوی تعداد ۴۰ کرم(۳) بیش‌تر و با گذشت زمان نیز به دلیل افزایش فعالیت و ازدیاد جمعیت کرم‌ها، ملموس تر بوده‌است که این کاهش، همانا دال بر اثر جذب و یا تجمع بیولوژیکی فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در بدن این گونه از کرم‌های خاکی است که این موضوع در نتایج برخی مطالعات دیگران، ثابت شده‌است(۷۱،۵۳،۴۹-۵۱،۳۸). در بررسی بازیافت لجن فاضلاب و تولید ورمی کمپوست از آن، افزایش غلظت عناصر مغذی ماکرو شامل K، Ca، Na و

Fe و کاهش غلظت فلزات سنگین شامل Cu، Mn، Pb و Zn مشاهده و کاهش غلظت فلزات سنگین به علت تجمع این فلزات در بدن کرم‌های خاکی گزارش شد(۳۸). Sharma و همکاران در بررسی قابلیت کرم‌های خاکی جهت مدیریت مواد زائد و در کاربردهای دیگر، کاهش غلظت فلزات سنگین به علت جذب فلزات در مواد بستر از طریق کرم‌های خاکی و تجمع آن در بافت‌هایشان عنوان نموده‌اند(۴۹). کاهش غلظت Cr، Ni، Cr و Pb در تبدیل لجن شهری به ورمی کمپوست به علت تجمع در بافت‌های کرم‌های خاکی گزارش شد(۵۰). در بررسی توانایی کرم‌های خاکی در تجزیه زیستی لجن صنایع کاغذسازی اعلام کردند که قابلیت دسترسی فلزات سنگین در ورمی کمپوست نسبت به مواد اولیه کاهش یافته‌است(۵۳). کرم‌های خاکی مقدار زیادی خاک را فرو می‌برند و از طریق بلع در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند. هم‌چنین، از پوست بدنشان نیز می‌توانند این فلزات را جذب کنند(۷۱). ظاهراً دستگاه گوارش کرم‌های خاکی گونه ایزنیا فئوتیدا، قادر است یون‌های فلزات سنگین را از توده‌های پیچیده مابین این یون‌ها و مواد هیومیک در پس ماند هم‌چنان که آن‌ها مورد تجزیه و فساد قرار می‌گیرد، جدا نماید. سپس فرآیند مختلف آنزیم محور به نظر می‌رسد که منجر به جذب اغلب یون‌های فلزی به وسیله کرم‌ها می‌گردد، به‌طوری که آن‌ها به جای این که دوباره به عنوان مواد دفعی به کود وارد گردند، در بافت‌های ارگانیسم محصور می‌شوند. جداسازی کرم‌های مرده از کود، یک فرآیند نسبتاً صریحی است که اجازه داده می‌شود تا فلز سنگین از پس ماندهای آلی حذف شوند. هم‌چنین در حین انجام عملیات و کنترل فاکتورهای مؤثر بر فرآیند ورمی‌کمپوست ازجمله رطوبت و در اثر فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیکی، مقادیری شیرابه نیز تولید می‌گردد که می‌تواند حاوی عوامل بیولوژیکی و مواد شیمیایی مختلف از جمله عناصر فلزات سنگین باشد. در نتیجه مقادیری از این فلزات سنگین در اثر انحلال و شست و شو به همراه شیرابه از منافذ تعبیه شده در کف و جداره تیمارها به بیرون از بسترها هدایت می‌گردد. بنابراین کاهش میزان غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در کل تیمارها، را هم از نظر نوع ماده کمپوست شونده و هم از نظر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا می‌توان به نشت شیرابه در طی فرآیند تولید کمپوست‌سازی نیز نسبت داد که این موضوع در نتایج برخی مطالعات سایرین، تصریح شده‌است(۵۱،۴۸). Kaushik و همکاران، کاهش غلظت فلزات سنگین را هنگام تولید ورمی‌کمپوست از ضایعات صنایع نساجی و کود گاوی در اثر نشت شیرابه گزارش نموده‌اند(۴۸). در تولید ورمی‌کمپوست از عدسک آبی و کود گاوی، کاهش در غلظت فلزات سنگین شامل Fe، Cu، Cd، Cr و Zn نسبت به مواد اولیه مشاهده شد و علت آن را نشت شیرابه و تجمع فلزات سنگین در بدن کرم‌های خاکی گزارش کردند(۵۱).

به طور کلی با بررسی مطالعات مختلف انجام شده در این زمینه، می‌توان این چنین نتیجه‌گیری کلی حاصل نمود که تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین طی فرآیند تولید ورمی‌کمپوست، معمولاً از ۲ مکانیسم افزایش و یا کاهش تبعیت می‌کند. به عبارت دیگر تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین در برخی مراجع به صورت افزایشی و در برخی مراجع دیگر نیز به صورت کاهشی گزارش شده‌است. بنابراین در مورد تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین در تحقیقات صورت گرفته تاکنون، اظهارات متناقضی وجود داشته و همان‌طوری که قبلاً نیز بدان اشاره گردید، یکی از دلایل این تفاوت‌های عمده و اختلافات اصلی در این‌خصوص می‌تواند ناشی از تفاوت در روش کار از جمله اختلاف در ویژگی‌های کرم‌های خاکی و متفاوت بودن نوع و میزان مواد کمپوست شونده و میکرو ارگانیسم‌های مصرف کننده مواد مورد مطالعه و ... باشد. مکانیسم‌های افزایش غلظت فلزات سنگین طی فرآیند تولید ورمی‌کمپوست در مطالعات مختلف، از یک روش

پیروی می‌کند که آن می‌تواند شامل کاهش حجم و وزن مواد و معدنی شدن مواد آلی باشد. اما در مجموع مکانیسم‌های کاهش غلظت فلزات سنگین طی فرآیند تولید ورمی کمپوست در مطالعات مختلف، از سه روش پیروی می‌کند که می‌تواند شامل ۱- جذب فلزات سنگین از طریق کرم‌های خاکی گونه ایزنیا فئوتیدا و تجمع آن ها در بافت‌های بدن‌هایشان ۲- نشت شیرابه و در نتیجه خروج مقادیری از این فلزات به همراه آن از منافذ تعبیه شده در کف و بدنه پایلوت‌ها ۳- افزودن موادی نظیر خاک اره و فضولات گاوی به عوامل حجیم کننده جهت تنظیم نسبت کربن به ازت پایلوت‌ها باشد. بنابراین این تحقیق نیز مکانسیم کاهش غلظت فلزات سنگین در مطالعات قبلی انجام شده را تأیید نموده و از جمله روش‌های مؤثر در کاهش مقدار فلزات سنگین در این مطالعه را می‌توان به علت نشت شیرابه، افزودن مواد حجیم‌کننده نظیر خاک اره و فضولات گاوی و استفاده از کرم‌های خاکی گونه ایزنیا فئوتیدا در تولید کمپوست، دانست. در جدول شماره ۴، مقایسه نتایج به دست آمده از کلیه کودهای تولیدی از نظر فلزات سنگین با استانداردهای مرتبط با کمپوست نشان داده شده‌است. با توجه به جدول شماره ۴، نتایج حاصله نشان می دهند که میزان غلظت هر یک از فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در کلیه کمپوست تولیدی هم از نظر نوع ماده کمپوست شونده و هم از نظر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا، کم تر از حداکثر مجاز استاندارد کمپوست درجه یک و دو مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران(۷۲)، استاندارد کمپوست کلاس A و B مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران(۷۳)، استانداردهای سازمان جهانی بهداشت(۵) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا(۵) بوده‌است. بنابراین کاربرد این کودهای حاصله از نظر این فلزات سنگین جهت مصارف کشاورزی محدودیتی ندارد. هم‌چنین در مقایسه با استانداردهای کشورهای اروپائی(۷۴)، به جز در ورمی کمپوست حاصل از لجن فاضلاب که مقادیر کادمیوم کمی بیش از استاندارد کشورهای دانمارک، آلمان و ایتالیا بوده‌است (به ترتیب با ۰/۰۵، ۰/۳۵ و ۰/۳۵ اختلاف)، سایر محصولات تولیدی از نظر فلزات سنگین با استانداردهای کشورهای اروپائی مطابقت داشت. با مقایسه میزان غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در مخلوط اولیه و کود نهایی از نظر نوع ماده کمپوست

جدول شماره ۴: مقایسه نتایج به دست آمده از کودهای تولیدی از نظر فلزات سنگین با استانداردهای مرتبط با کمپوست

عنوان	نام عنصر (mg/kg)		کادمیوم	کروم	مس	سرب
استانداردهای کمپوست	سازمان بهداشت جهانی (WHO)		۱۵-۴۰	–	۹۰-۲۶۰	۲۰۰-۴۰۰
	سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (U.S EPA)		–	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰
	اتریش		۴	۱۵۰	۴۰۰	۵۰۰
	سوئیس		۳	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
	دانمارک		۱/۲	–	–	۱۲۰
	فرانسه		۸	–	–	۸۰۰
	آلمان		۱/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰
	ایتالیا		۱/۵	۱۰۰	۳۰۰	۱۴۰
	هلند		۲	۲۰۰	۳۰۰	۲۰۰
	اسپانیا		۴۰	۷۵۰	۱۷۵۰	۱۲۰۰
	کانادا		۳	۲۱۰	۱۰۰	۱۵۰
	بلژیک	کاربرد کشاورزی	۵	۱۵۰	۱۰۰	۶۰۰
		کاربرد باغبانی	۵	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
	مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران	کلاس A	۵	۱۰۰	۳۰۰	۱۵۰
		کلاس B	۱۰	۲۰۰	۶۰۰	۳۰۰
	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران	درجه یک	بیشینه ۵	بیشینه ۱۰۰	بیشینه ۳۰۰	بیشینه ۱۵۰
		درجه دو	بیشینه ۱۰	بیشینه ۲۰۰	بیشینه ۶۰۰	بیشینه ۳۰۰
نتایج بدست آمده در این بررسی	مخلوط لجن و فضولات گاو		۰/۷۵±۰/۰۹	۲/۳۲±۰/۴۷	۱۰/۲۵±۰/۷۹	۱/۴۱±۰/۱۸
	ورمی کمپوست حاصل از انواع مواد کمپوست شونده	لجن	۱/۵۱±۰/۰۹	۳/۴۷±۰/۲۵	۳۰/۵۸±۲/۷۳	۴/۷۱±۰/۳۳
		فضولات گاو	۰/۲۹±۰/۰۲	۱/۱۶±۰/۳۵	۰/۶۱±۰/۱۶	۰/۰۵±۰/۱۲
	ورمی کمپوست حاصل از تعداد مختلف کرم ایزنیا فئوتیدا	صفر (فاقد) کرم	۰/۹۲±۰/۵۶	۲/۷۱±۰/۹۲	۱۵/۲۷±۱۴/۶۳	۲/۲۷±۲/۲۲
		۲۰ کرم	۰/۸۵±۰/۵۴	۲/۳۰±۱/۰۷	۱۳/۶۵±۱۳/۰۴	۲/۰۶±۲/۰۶
		۴۰ کرم	۰/۷۸±۰/۴۹	۱/۹۴±۱/۰۲	۱۲/۵۲±۱۲/۰۷	۱/۸۵±۱/۹۴

شونده با یکدیگر مشخص گردیده‌است که میزان این فلزات سنگین در ماده فضولات(۳) کم‌ترین و در ماده لجن(۲) بیش‌ترین مقدار بوده‌است. با عنایت به این که غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در مخلوط اولیه و کود حاصل از ماده مخلوط لجن فاضلاب و فضولات گاوی(۱) کم‌تر از مخلوط اولیه و کود حاصل از ماده لجن فاضلاب(۲) می‌باشد. لذا می‌توان استنتاج نمود که با اختلاط لجن فاضلاب با فضولات گاو با نسبت وزنی ۵۰ به ۵۰ درصد، می‌توان کود کمپوست با کیفیت بهتری از نظر پارامتر فلزات سنگین به وجود آورد. بنابراین فضولات گاوی نه تنها دارای اثر مثبت بر روی بهبود کیفیت کمپوست تولیدی از لجن فاضلاب از نظر مناسب بودن نسبت کربن به ازت می‌باشد، بلکه به دلیل رقیق‌سازی غلظت فلزات سنگین موجود در لجن فاضلاب، از نقطه نظر کاهش غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb نیز دارای نقش مؤثری می‌باشد. از این رو استفاده از فضولات گاوی که به عنوان یک ماده حجیم‌کننده ارزان قیمت و دردسترس نیز محسوب می‌شود در فرآیند تولید کود کمپوست لجن فاضلاب توصیه می‌شود. با مقایسه میزان غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در کود نهایی از نظر تعداد کرم ایزنیا فئوتیدا با یکدیگر مشخص گردیده‌است که میزان این فلزات سنگین در تعداد ۴۰ کرم(۳) کم‌ترین و در تعداد ۰ کرم(۱) بیش‌ترین مقدار بوده‌است.

لذا می‌توان گفت که محصول نهایی کمپوست حاصل از بستر محتوی کرم خاکی نسبت به محصول نهایی حاصل از بستر محتوی فاقد کرم خاکی (شاهد) از کیفیت بهتری از لحاظ میزان غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb برخوردار بوده و در این میان نیز روش ورمی‌کمپوست با تعداد ۴۰ کرم(۳) از نظر تولید کود مرغوب بهتر از روش ورمی‌کمپوست با تعداد ۲۰ کرم(۲) عمل نموده‌است. بنابراین می‌توان استنتاج نمود که با به کار گیری کرم ایزینیا فئوتیدا با تعداد ۴۰ عدد سریع تر و بهتر می‌توان به کود کمپوست با کیفیت بهتری از نظر پارامتر فلزات سنگین دست یافت. بنابراین تعداد کرم خاکی گونه ایزینیا فئوتیدا دارای اثر مثبت بر روی بهبود کیفیت کمپوست تولیدی از انواع مواد مختلف (مخلوط لجن و فضولات، لجن و فضولات)، از نقطه نظر کاهش فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb داشته و از این رو استفاده از کرم خاکی گونه ایزینیا فئوتیدا که به وفور در کود حیوانی یافت شود در فرآیند تولید کود کمپوست لجن فاضلاب توصیه می‌شود. نظر به این که مقدار فلزات سنگین Cd، Cr، Cu و Pb در محصولات تولیدی در محدوده مجاز می‌باشد، اما جهت حصول اطمینان از کاربرد این گونه کودها، پیشنهاد می‌گردد میزان تغییرات سایر فلزات سنگین نظیر ارسنیک، روی، جیوه و... خصوصاً در کمپوست تولیدی لجن مورد بررسی قرار گیرد. هم چنین از آن جائی که یکی دیگر از نگرانی عمده استفاده از این کودها، وجود عوامل میکروبی و تخم انگل‌های بیماری زا می‌باشد، قبل از کاربرد این محصولات تولیدی در کشاورزی، بایستی به منظور حفظ بهداشت محیط و سلامت عمومی، عوامل پاتوژنیک موجود در آن ها نیز اندازه‌گیری شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران که حمایت مالی تحقیق طی طرح شماره ۹۲-۱۱ را بر عهده داشتند تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Iranipour S, Salehi M, Akbari R, Bagherzadeh F. Using of green compost in increasing of agricultural products. Agriculture & Natural Resources Eng J 2007; 4(15): 40-46 (Persian).

2. Jeyabal A, Kuppuswamy G. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility. Europ J Agronomy 2001; 15(3): 153-170.
3. Tim Haug R. Compost engineering; principles and practice: Technomic Publishing CO, Inc; 1980.
4. Suthar S, Singh S. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (Perionyx excavatus and Perionyx sansibaricus). Int J Environ Sci Tech 2008; 5(1): 99-106.
5. Zazouli MA, Maryam B, Esmail G, Mahdi G. Principles of compost production technology. 2009.
6. Inbar Y, Hadar Y, Chen Y. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. J Environ Qualit 1993; 22(4): 857-863.
7. Yousefi Z, Amouei A, Asgharnia H, Nemati A, Vaezzadeh M. Paper: Compost production from household solid wastes by earthworms. J Babol Univ Med Sci (JBUMS) 2012; 14(suppl 1): 30-35.
8. Dickerson E W. Vermicomposting, Guide H-164. College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State University. 2001.
9. Sposito G, Lund L, Chang A. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Scie Soci Am J 1982; 46(2): 260-264.
10. Change A, Warneke J, Page A, Lund L. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-tre-ated soils. J Environ Qual 1984; 13(1): 87-91.
11. Pescod MB. Wastewater treatment and use in agriculture. 1992.
12. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC press; 2011.
13. Maleki A, Mahvi AH, Zazouli MA, Izanloo H, Barati AH. Aqueous Cadmium Removal by Adsorption on Barley Hull and Barley Hull Ash. Asian Journal of Chemistry 2011; 23(3): 1373-1376.
14. Begum A, Krishna H. Management of Municipal sewage sludge by vermicomposting technique. International Journal of Chem Tech Research 2010; 2(3): 1521-1252.
15. Jamaludin AA, Mahmood NZ. Effects of Vermicomposting Duration to Macronutrient Elements and Heavy Metals Concentrations in Vermicompost. Sains Malaysiana 2010; 39(5): 711-715.
16. Sauerbeck DR. Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. Water, Air, and Soil Pollution 1991; 57(1): 227-237.
17. Saha S, Pradhan K, Sharma S, Alappat BJ. Compost production from Municipal Solid Waste (MSW) employing bioinoculants. Int J Environ Waste Management 2008; 2(6): 572-583.
18. Whittle A, Dyson A. The fate of heavy metals in green waste composting. The Environmentalist 2002; 22: 13-21.
19. Zain SM, Basri H, Suja F, Jaafar O. Land application technique for the treatment and disposal of sewage sludge. Water Sci Technol 2002; 46(9): 303-308.
20. Merian E, Clarkson TW. Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance: VCH, Michigan University; 1991.
21. Bazrafshan E, Mahvi AH, Zazouli MA. Removal of Zinc and Copper from Aqueous

Solutions by Electrocoagulation Technology Using Iron Electrodes. Asian Journal of Chemistry 2011; 23(12): 5506-5510.
22. Dalzell HW. Soil management: compost production and use in tropical and subtropical environments. Food & Agriculture Org (FAO); 1987.
23. Alloway BJ, Jackson AP. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. Sci Total Environ 1991; 100: 151-176.
24. Mulchi C, Adamu C, Chaney R, Bell P. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended coastal plain soils-I. Comparison of extractants 1. Commun Soil Sci Plant Anal 1991; 22(9-10): 919-941.
25. Giusquiani P, Concezzi L, Businelli M, Macchioni A. Fate of pig sludge liquid fraction in calcareous soil: agricultural and environmental implications. Journal of Environmental quality (JEQ) 1998; 27(2): 364-371.
26. Mohanna C, Nys Y. Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens. Br Poult Sci 1999; 40(1): 108-114.
27. Tufft LS, Nockels CF. The effects of stress, Escherichia coli, dietary ethylenediaminetetraacetic acid, and their interaction on tissue trace elements in chicks. Poult Sci 1991; 70(12): 2439-2449.
28. Almås ÅR, McBride MB, Singh BR. Solubility and lability of cadmium and zinc in two soils treated with organic matter. Soil Science 2000; 165(3): 250-259.
29. Smith SR. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environ Int 2009; 35(1): 142-156.
30. Asgharzadeh F, Ghaneian MT, Amouei A, Barari R. Evaluation of Cadmium, Lead and Zinc Content of Compost Produced in Babol Composting Plant. Iran J Health Scie 2014; 2(1): 62-67.
31. Gupta R, Garg VK. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. J Hazard Mater 2008; 153(3): 1023-1030.
32. Davies DB, Eagle DJ, Finney JB. Soil management: Farming Press Books; United kingdom: Farming Press; 1993.
33. Wong JW, Li K, Fang M, Su DC. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong. Environ Int 2001; 27(5): 373-380.
34. Garg V, Chand S, Chhillar A, Yadav A. Growth and reproduction of Eisenia foetida in various animal wastes during vermicomposting. Appl Ecol Environ Res 2005; 3(2): 51-59.
35. Aleagha M, Pedram M, Omrani G. Bioaccumulation of Heavy Metals by Iranian Earthworm (Eisenia fetida) in the Process of Vermicomposting. American-Eurasian J Agric Environ Sci 2011; 5(1): 480-484.
36. Suthar S. Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic Eisenia fetida (Oligochaeta). J Hazard Mate 2009; 163(1): 199-206.
37. Behera PK. Soil and Solid Waste Analysis: A Laboratory Manual. Saujanya Books Delhe 2006; 1: 1-125.
38. Khwairakpam M, Bhargava R. Vermitechnology for sewage sludge recycling. J Hazard Mater 2009; 161(2): 948-954.
39. Suthar S, Singh S. Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry. Science of the Total Environment. 2008; 394(2): 237-243.
40. Shahmansouri M, Pourmoghadas H, Parvaresh A, Alidadi H. Heavy metals

bioaccumulation by Iranian and Australian earthworms (Eisenia fetida) in the sewage sludge vermicomposting. Iran J Environ Health Sci Engin 2005; 2(1): 28-32.

41. Yousefi Z, Zazouli M, Asgharnia H, Azizi M, Hedayati S. Survey of compost production from domestic solid wastes by aerobic method and earthworm and effect of loading alternation. 6th national congress of environmental health, Mazandaran, Iran; 2003 (Persian).
42. Amouei A, Asgharnia HA, Khodadi A. Study of compost quality from rural solid wastes (Babol, Iran). J Mazandaran Univ Med Sci 2010; 19(74): 55-61.
43. Yousefi Z, Khosravi TPE. Survey and Comparison of Vermicompost from sludge of wastewater treatment and domestic solids waste. Proceedings of the eleventh national conference on environmental health, Zahedan University of Medical Sciences: Iran. 2008: 125-133 (Persian).
44. Asgharnia H, Omrani G, Mahmodi M, Karimi G. Study of compost production from yard solid wastes by Earthworm Eisenia feotida. Proceedings of the fourth national conference on environmental health, Yazd University of Medical Sciences: Iran. 2001: 1-16 (Persian).
45. Shahmansouri MR, Pourmoghadas H, Parvaresh AR, Alidadi H. Heavy Metals Bioaccumulation by Iranian and Australian Earthworms (Eisenia fetida) in the Sewage Sludge Vermicomposting. IRanian J Env Health Sci Eng 2005; 2(1): 28-32.
46. Aleagha M, Pedram M, Omrani G. Bioaccumulation of Heavy Metals by Iranian Earthworm {Eisenia fetida) in the Process of Vermicomposting. American-Eurasian J Agric Environ Sci 2009; 5(4): 480-484.
47. Azizi AB, Lim MP, Noor ZM, Abdullah N. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising Lumbricus rubellus. Ecotoxicol Environ Saf 2013; 3(3): 13-20.
48. Kaushik P, Garg VK. Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm Eiseniafoetida. Bioresour Technol 2003; 90(3): 311-316.
49. Sharma S, Pradhan K, Satya S, Vasudevan P. Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses-A Review. J Am Sci 2005; 1(1): 4-16.
50. Srivastava R, Kumar D, Gupta SK. Bioremediation of municipal sludge by vermitechnology and toxicity assessmentby Allium cepa. Bioresour Technol 2005; 96(17): 1867-1871.
51. Gupta R, Mutiyar PK, Rawat NK, Saini MS, Garg VK. Development of a water hyacinth based vermireactor using an epigeic earthworm Eiseniafoetida. Bioresour Technol 2007; 98(13): 2605-2610.
52. Deolalikar AV, Mitra A, Bhattacharyee S, Chakraborty S. Effect of vermicomposting process on metal content of paper mill solidwaste. J Environ Sci Eng 2005; 47(2): 81-84.
53. Elvira C, Sampedro L, Benítez E, Nogales R. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with Eiseniaandrei: A pilot-scale study. Bioresource Technology 1998; 63(3): 205-211.
54. Hartenstein R, Hartenstein F. Physicochemical Changes Effected in Activated Sludge by the Earthworm Eiseniafoetida. J Environ Quality 1981; 10(3): 377-381.
55. Maboeta MS, Rensburg LV. Vermicomposting of industrially produced woodchips and sewage sludge utilizing Eisenia fetida.

Ecotoxicology and Environmental Safety 2003; 56(2): 265-270.

56. Alidadi H, Parvaresh A, Pourmoghadas H. Survey of heavy metal values in aerobic compost and vermicompost from dewatered sludge of wastewater treatment south of Isfahan and compared it to the standard values. Proceedings of the seventh national conference on environmental health, Shahrekord University of Medical Sciences: Iran. 2004: 28-30 (Persian).
57. Renner R. Sewage sludge pros & cons. Environ Sci Technol 2000; 34(19): 430A-435A.
58. Singh J, Kalamdhad AS. Reduction of Heavy Metals during Composting- A Review. International Journal of Environmental Protection 2012; 2(9): 36-43.
59. Contreras-Ramos SM, Escamilla-Silva EM, Dendooven L. Vermicomposting of biosolids with cow manure and wheat straw. Biol Fertil Soils 2005; 41: 190-108.
60. Suthar S. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. Ecological Engineering 2010; 36(8): 1028-1036.
61. Kostecka J, Kaniuczak J. Vermicomposting of duckweed (Lemna minor L.) biomass by Eiseniafetida (SAV.) earthworm. J Elementol 2008; 13(4): 571-579.
62. Dominguez J, Edwards CA, Subler S. A comparison of vermicomposting and composting. Biocycle 1997; 38: 57-59.
63. Frederickson J, Howell G, Hobson AM. Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. European Journal of Soil Biology 2007; 43(suppl 1): S320-S326.
64. Gondek K, Filipek-Mazur B, Koncewicz-Baran M. Content of heavy metals in maize cultivated in soil amended with sewage sludge and its mixtures with peat. Int Agrophys 2010; 24(1): 35-42.
65. Gondek K, Filipek-Mazur B. Agricultural usability of sewage sludge and vermicompost of tannery origin. Elect J Polish Agric Univ: Environ Develop 2001; 4(2): 1-2.
66. Vigueros LC, Camperos ER. Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for Mexico. Water Sci Technol 2002; 46(10): 153-158.
67. Manios T, Stentiford EI. Heavy metals fractionation during the thermophilic phase of sewage sludge composting in aerated static piles. Journal of Environmental Science and Health Part A 2006; 41(7): 1235-1244.
68. Paré T, Dinel H, Schnitzer M. Extractability of trace metals during co-composting of biosolids and municipal solid wastes. Biol Fertil Soils 1999; 29(1): 31-37.
69. Stover R, Sommers L, Silviera D. Evaluation of metals in wastewater sludge. Journal (Water Pollution Control Federation) 1976; 48(9): 2165-2175.
70. Sommers L. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. Journal of Environmental Quality (JEQ) 1977; 6(2): 225-232.
71. Morgan A, Sturzenbaum S, Winters C, Kille P. Cellular and Molecular aspects of metal sequestration and toxicity in earthworms. Invertebrate Reproduction & Development 1999; 36: 17-24.
72. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Vermicompost-Physical and chemical Specifications. The national standard Iran. Institute of Standards and Industrial Research of Iran Published 2011; 13724(1): 1-12.
73. Ministry of Agriculture Jihad. The research, education and promoting agriculture

Organization. Institute of Soil and Water of Iran. 1999.

74. Nhidheadarian D, Parvaresh A. The importance of compost standards in the compost industry. Proceedings of the Ninth national conference on environmental health, Isfahan University of Medical Sciences: Iran. 2006: 1-18 (Persian).