محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحهٔ ۴۰۰-۳۹۱

بررسی غلظت فلزات سنگین در فرآیند ورمی‌کمپوست تولید شده از پوست نرم پسته، لجن فعال فاضلاب شهری و ضایعات کمپوست قارچ

الهام السادات احمدی‌موسوی[۱] و سید احمد عطائی[۲]*

۱. کارشناس‌ارشد مهندسی شیمی، گرایش محیط‌زیست، دانشکدهٔ فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
Elham.a.mousavi@gmail.com

۲. دانشیار مهندسی شیمی، دانشکدهٔ فنی- مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

چکیده

ورمی‌کمپوست در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر زیادی دارد. بالا بودن غلظت فلزات سنگین در این کود و ورودشان به چرخهٔ غذایی، آثار ناخوشایندی بر سلامت جانداران خواهد داشت. لذا ارزیابی غلظت این فلزات در ورمی‌کمپوست ضروری است. در این تحقیق، غلظت فلزات سنگین در ورمی‌کمپوست تولید شده به کمک کرم ایزینیا فتیدا بررسی شد. ۱۲ تیمار در ۳ تکرار با ترکیب‌های مختلف از پوست نرم پسته، ضایعات کمپوست قارچ و لجن فعال فاضلاب شهری تهیه و در انتهای فرآیند غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، غلظت مس در همهٔ تیمارهای نهایی افزایش داشت. بیشترین غلظت مس *ppm* ۲/۳۶ بود، درحالی‌که غلظت نیکل کاهش داشت و بیشترین مقدار آن *ppm* ۰/۰۲۱ بدست آمد. غلظت‌های سرب، روی و کادمیوم نیز در بعضی تیمارها کاهش و در بعضی دیگر افزایش داشتند. بیشترین غلظت این فلزات به ترتیب: ۰/۶۷، ۱۴ و *ppm* ۰/۰۲۴ بودند. نتایج این تحقیق مشخص کرد که غلظت فلزات سنگین در محدودهٔ مجاز قرار دارد و استفاده از این کود در کشاورزی هیچ اثر زیانباری را به دنبال ندارد.

کلیدواژه

پوست نرم پسته، ضایعات کمپوست قارچ، فلزات سنگین، لجن فاضلاب شهری، ورمی‌کمپوست.

۱. سرآغاز

مدیریت ضایعات جامد یکی از مشکلات چالش برانگیز در سراسر جهان است. با افزایش جمعیت و به دنبال آن تولید ضایعات بیشتر این مشکل پیچیده‌تر شده است (Singh et al., 2011). به‌طورکلی چندین گزینه برای از بین بردن ضایعات در دسترس است، مانند دفع کردن در لندفیل، تخلیه در محیط باز و سوزاندن که به علت تولید شیرابه و گازهای سمی، آلودگی آب، خاک و هوا را ایجاد می‌کنند. بنابراین ارائهٔ راهکار مفید زیست‌محیطی برای حل این مشکلات اهمیت زیادی دارد (Yadav & Garg, 2013).

ازطرفی با توجه به روند رو به رشد استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی و آثار زیست محیطی مرتبط با آنها به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، نیاز به راهکاری مناسب برای جایگزینی آنها احساس می‌شود (Fadaee, 2012). تکنولوژی ورمی‌کمپوست با استفاده از کرم‌های خاکی به‌عنوان بیوراکتورهای طبیعی برای بازیافت ضایعات آلی، یک وسیلهٔ سازگار با محیط زیست و به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای بازیافت و مدیریت زباله بیولوژیک شناخته شده است (Padmavathiamma et al., 2008). در طول فرآیند ورمی کمپوست، سرعت تجزیه مواد آلی به

* نویسنده مسئول: Email: Saat44@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

کمک کرم‌های خاکی تحت فرآیندی غیر گرمازا افزایش یافته و مواد آلی تثبیت می‌شوند (Pramanik et al., 2007). به این صورت که با عبور مواد آلی از رودهٔ این جاندار، فعالیت‌های میکروبی افزایش می‌یابد که در طی آن بین کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها در رودهٔ کرم، فعل و انفعالاتی رخ می‌دهد (El-Haddad et al., 2014). مواد دفعی از کرم خاکی را ورمی کمپوست می‌گویند که محصولی غنی از مواد مغذی مانند نیترات، ازت، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منیزیم، هورمون رشد و اسیدهای هیومیک است که به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه عمل می‌کنند (Edwards & Arancon, 2004). این کود همگن دارای تخلخل بالا، هوادهی، زهکشی، ظرفیت نگهداری آب و فعالیت‌های میکروبی است و باعث تهویهٔ بسیار عالی خاک می‌شود (Arancon et al., 2003). اما وجود فلزات سنگین و خطر تجمع آن‌ها در زنجیرهٔ غذایی، یک معضل در سلامت موجودات زنده به‌شمار می‌رود (Azizi et al., 2013). فلزات سنگین در طول تخریب زباله‌های آلی دست‌نخورده باقی می‌مانند و باعث ایجاد آثار سوء بر موجودات زنده می‌شوند. قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین ممکن است باعث اختلالات خون و استخوان، صدمه به کلیه و کاهش توان ذهنی و آسیب عصبی شود (Mohee & Soobhany, 2014). فلزات سنگینی مانند مس، کبالت، آهن، منگنز و روی برای عملکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان و حیوانات مورد نیاز است (Swati & Hait, 2017). اما این عناصر در غلظت‌های بالا آثار مخربی بر رشد گیاه دارند. بنابراین، اندازه‌گیری و تنظیم غلظت این عناصر برای گیاهان ضروری است (Nayak & Kalamdhad, 2013). یکی از راه‌های حذف آنها از خاک آلوده، استفاده از بافت موجودات زنده مانند گیاهان (گیاه پالایی) و یا بی‌مهرگان مانند کرم‌های خاکی است (Edwards & Arancon, 2004). به علت تجمع فلزات سنگین در رودهٔ کرم خاکی و یا به‌دلیل تغییر شکل کمپلکس‌های فلزی در این فرآیند، این فلزات سنگین از شکل قابل دسترس به غیر قابل دسترس تغییر می‌کنند و خطر این فلزات در ضایعات کشاورزی از بین می‌رود (Song et al., 2014). در واقع فرآیند ورمی کمپوست را می‌توان به‌عنوان یک روش تصفیه بیولوژیکی در نظر گرفت (Rorat et al., 2016). در این تحقیق، از پوست نرم پسته در تولید ورمی کمپوست استفاده شد. با توجه به گزارش سازمان غذا و کشاورزی (فائو[1])، ایران بزرگترین تولیدکنندهٔ پسته در جهان است. در طول چند سال گذشته، کل محصولات جانبی پستهٔ تولید شده در ایران حدود ۳۱۰ هزار تن افزایش یافته که به مشکلی زیست محیطی تبدیل شده است(Ghasemi et al., 2012). بسیاری ازمحصولات جانبی پسته به‌عنوان ضایعات کشاورزی در نظر گرفته می‌شوند و در بهترین حالت به‌عنوان خوراک دام استفاده می‌شوند و یا در لندفیل‌ها مدفون می‌شوند (Çelik & Demirer, 2015). این روش‌ها معایبی دارند. زیرا ضایعات پسته شامل سطح بالایی از ترکیبات پلی فنولیک هستند و به علت اینکه ترکیبات فنلی باعث چسبیدن پروتئین ها، کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی در دستگاه گوارش جانداران می‌شوند، مصرف زیاد آنها بشدت سمی است (Norouzian & Ghiasi, 2012). با توجه به محتوای آلی و فنلی بالای پسته و همچنین غلظت بالای مواد جامد، مدیریت ضایعات پسته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با این حال روش مناسبی برای مدیریت ضایعات در طول کاشت و برداشت پسته در سراسر جهان وجود ندارد (Çelik & Demirer, 2015). بسیاری از کشاورزان پوست پسته را در باغ‌های پسته دفن می‌کنند که به علت وجود مواد آلی ناپایدار در این ضایعات، به ریشهٔ گیاه آسیب می‌رسد و در نتیجه، توقف رشد درختان پسته را درپی دارد. (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا با توجه به نبود راهکارهای عملی مناسب برای استفاده از پوست نرم پسته، در این تحقیق از فرآیند ورمی کمپوست برای استفادهٔ بهینه و تبدیل آنها به مواد با ارزش استفاده شد و تغییرات غلظت فلزات سنگین هنگام تولید ورمی کمپوست از این ضایعات بررسی شد.

Archive of SID
www.SID.ir

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. آماده‌سازی مواد اولیه

برای انجام این تحقیق، در زمان برداشت پسته در اوایل مهرماه، ضایعات پسته جمع‌آوری شد. سپس این ضایعات روی سطحی به ارتفاع ۱۲-۱۰سانتی‌متر برای خشک کردن، دپو شدند و به منظور جلوگیری از کپک‌زدن به صورت متوالی زیر و رو می‌شدند. بعد از خشک شدن ضایعات پسته، برای خارج‌کردن ترکیبات فنلی موجود در آنها که برای کرم‌های خاکی سمی و خطرناک است، به مدت یک هفته با پودر ذغال به نسبت ۵ به ۱ (پوست نرم پسته به پودر زغال) ترکیب شدند و تحت فرآیند پیش کمپوست قرار گرفتند. برای تنظیم نسبت کربن به نیتروژن از لجن فعال فاضلاب شهری و ضایعات کمپوست قارچ استفاده شد. لجن فعال فاضلاب شهری از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری کرمان و ضایعات کمپوست قارچ از کارگاه‌های تولید قارچ تهیه و به‌منظور حذف املاح مضر، تنظیم pH و کاهش EC، در شش روز و طی شش مرحله شسته شدند. به‌دلیل درشت بودن اندازهٔ ذرات مواد اولیه، ابتدا تحت عملیات خردایش قرار گرفتند و سپس با الک مش چهار سانتی‌متر، سرند شدند. قبل از مشخص کردن ترکیب تیمارها، به‌طور جداگانه از مواد اولیه نمونه‌برداری شد. سپس پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و غلظت فلزات سنگین آنها تعیین شد. در جدول ۱ خواص فیزیکی و شیمیایی و در جدول ۲ غلظت فلزات سنگین موجود در مواد اولیهٔ استفاده شده در این تحقیق بعد از فرآوری ارائه شده است.

جدول ۱. خواص فیزیکی وشیمیایی مواد اولیه

مواد اولیه	ماده آلی کل (٪)	کربن آلی کل (٪)	نیتروژن کل (٪)	هدایت الکتریکی (ms/cm)	اسیدیته	C/N
پوست نرم پسته	۹۰/۳	۵۲/۳۵	۲	۲/۷	۶/۲	۲۶/۱۷
لجن فاضلاب شهری	۶۶/۵۴	۳۸/۶	۲/۸۲	۰/۸۱	۷/۵۳	۱۳/۶۹
ضایعات کمپوست قارچ	۳۶/۷۲	۲۱/۳	۱/۲۱	۱/۹۹۵	۷/۷	۱۷/۶

جدول ۲. غلظت فلزات سنگین موجود در مواد اولیه

مواد اولیه	مس (ppm)	کادمیوم (ppm)	روی (ppm)	نیکل (ppm)	سرب (ppm)
پوست نرم پسته	۰/۲۵	۰	۰/۶۳	۰	۰
لجن فاضلاب شهری	۱/۷۴	۰/۰۱۲	۱۵	۰/۰۵۳	۰/۵۳
ضایعات کمپوست قارچ	۰/۳۱	۰/۰۲۶	۸/۱	۰	۰/۲

۲. ۲. آماده‌سازی تیمارها و تلقیح کرم‌های خاکی

در این تحقیق سبدهای پلاستیکی به ابعاد ۲۳ × ۳۰ × ۴۲ سانتی‌متر، وزن ۵۰۰ گرم و حجم ۰/۰۲۹ مترمکعب به‌عنوان واحدهای آزمایش استفاده شدند. پس از فرآوری و آماده سازی مواد اولیه، میزان ۲/۵ کیلوگرم از مواد اولیه براساس وزن خشک که شامل درصدهای مختلفی از پوست نرم پسته، لجن فاضلاب شهری و ضایعات کمپوست قارچ بود در ۱۲ بستر ریخته شد و با ۳ بار تکرار تحت فرآیند ورمی کمپوست قرار گرفتند. در جدول۳ ترکیب درصد مواد اولیهٔ استفاده شده در بسترها نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳. ترکیب درصد مواد اولیهٔ استفاده شده در بسترها

تیمارها	پوست نرم پسته(٪)	لجن فاضلاب شهری(٪)	ضایعات کمپوست قارچ(٪)
A	۱۰۰	۰	۰
B	۰	۱۰۰	۰
C	۰	۰	۱۰۰
D	۴۰	۳۰	۳۰
E	۶۰	۲۰	۲۰
F	۸۰	۱۰	۱۰
G	۴۰	۰	۶۰
H	۴۰	۶۰	۰
I	۶۰	۰	۴۰
J	۶۰	۴۰	۰
K	۸۰	۰	۲۰
L	۸۰	۲۰	۰

پس از آماده‌سازی تیمارهای مختلف و تنظیم دما در محدودهٔ ۲۷-۲۰درجه سانتی‌گراد و رطوبت کافی، میزان ۱۲۰ نخ کرم بالغ ایزینیا فتیدا که کمربند تناسلی‌شان تشکیل شده بود به هر تیمار اضافه شد. این کرم‌ها از کارگاه تولید ورمی کمپوست واقع در اختیار آباد کرمان تهیه شدند. عملکرد کرم‌ها در هر تیمار به مدت ۷۰ روز بررسی شد. به‌منظور کنترل شرایط محیطی مناسب برای فعالیت کرم‌های خاکی، میزان درجهٔ حرارت و رطوبت بسترها هر روز کنترل و در صورت نیاز، به بسترها آب اضافه شد.

۳. روش‌های تجزیه‌ای

۳. ۱. آماده‌سازی نمونه برای انجام آزمایش‌ها

پس از اتمام فرآیند ورمی کمپوست، عملیات جداسازی کرم‌های خاکی از بستر به صورت دستی انجام شد. سپس به‌منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در کود تولید شده در انتهای فرآیند، نمونه‌های همگنی از هر تیمار تهیه شد و بعد از خشک و آسیاب کردن، آزمایش شدند.

۳. ۲. سنجش فلزات سنگین

یک گرم از نمونهٔ کود تولید شده در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به نمونه اضافه شد و به مدت چند دقیقه روی هیتر قرار گرفت و توسط همزن کاملاً مخلوط شد تا خاکستر موجود در اسید به‌طور کامل حل شود. پس از هضم کامل به‌وسیلهٔ کاغذ صافی، درون بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری صاف و به حجم ۵۰ میلی‌لیتری رسانده شد. مقدار فلزات سنگین نمونه‌های آماده شده شامل مس، کادمیوم، روی، نیکل و سرب توسط دستگاه جذب اتمی[۲] اندازه‌گیری شد. (سلیمی و همکاران، ۱۳۹۴)

۳. ۳. تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری داده‌های به‌دست آمده توسط نرم افزار Minitab نسخهٔ ۱۷ انجام گرفت و مقایسهٔ میانگین داده‌ها با آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way (ANOVA و آزمون فیشر انجام شد.

Archive of SID

www.SID.ir

۴. نتایج و بحث

جدول ۴ که مربوط به نتایج تجزیهٔ واریانس پارامترهای اندازه گیری شده است نشان داد که غلظت مس در تیمارهای نهایی دارای اختلاف غیرمعنی‌داری بود. غلظت‌های کادمیوم، روی و سرب در تیمارهای نهایی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بودند. غلظت نیکل در تیمارهای نهایی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بود.

در جدول ۵ نیز مقایسهٔ میانگین غلظت فلزات سنگین در انتهای فرآیند ورمی کمپوست آورده شده است.

جدول۴. تجزیهٔ واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در انتهای فرآیند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین		مربعات		
		مس	کادمیوم	روی	نیکل	سرب
تیمار	۱۱	۰/۹۱۵۱^{ns}	۰/۰۰۰۱۴**	۲۷/۰۶**	۰/۰۰۰۰۷*	۰/۱۳۷۲۷**
خطا	۱۲	۰/۶۱۰۶	۰	۰/۲۲۹۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۱۵۴۳
ضریب تغییرات	–	۷۵/۶۱	۱۰۷/۴۷	۴۸/۱۲	۳۸۶/۱۹	۱۳۶/۸۸

** در سطح یک درصد معنی‌دار * در سطح پنج درصد معنی‌دار ns: غیر معنادار

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین غلظت فلزات سنگین در انتهای فرآیند ورمی کمپوست

تیمار	مس(ppm)	کادمیوم(ppm)	روی(ppm)	نیکل(ppm)	سرب(ppm)
A	۰/۴۳^{e}	۰^{g}	۱/۲۶^{k}	۰^{b}	۰^{f}
B	۱/۸۷^{ab}	۰/۰۰۱^{g}	۱۴^{a}	۰/۰۲۱^{a}	۰/۶۷^{a}
C	۰/۳۷۷^{f}	۰^{g}	۹/۱^{d}	۰^{b}	۰^{f}
D	۱/۵۲^{bc}	۰/۰۱۹^{b}	۹/۴^{d}	۰^{b}	۰/۱۲^{d}
E	۱/۲^{cd}	۰^{g}	۷/۷^{e}	۰^{b}	۰^{f}
F	۰/۸۸۷^{de}	۰/۰۱۵^{c}	۴/۶۵^{i}	۰^{b}	۰^{f}
G	۰/۶۱۷^{e}	۰/۰۱۱^{d}	۶/۸۵^{f}	۰^{b}	۰/۱۸^{c}
H	۲/۳۶^{a}	۰^{g}	۱۲/۴۵^{b}	۰^{b}	۰/۶۵^{a}
I	۰/۶۲۴^{e}	۰/۰۱۵^{c}	۵/۷۵^{g}	۰^{b}	۰^{f}
J	۲/۰۱^{ab}	۰/۰۰۴^{f}	۹/۹۵^{c}	۰^{b}	۰/۴۸^{b}
K	۰/۵^{e}	۰/۰۰۷^{e}	۳/۶۶^{j}	۰^{b}	۰^{f}
L	۱/۲۲۶^{cd}	۰/۰۲۴^{a}	۵/۳۶^{h}	۰^{b}	۰^{f}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Archive of SID
www.SID.ir

در این تحقیق غلظت نیکل در تیمارهای نهایی کاهش داشت. با توجه به جدول ۵، بیشترین غلظت نیکل در انتهای فرآیند با ۰/۰۲۱ ppm مربوط به تیمار B و بقیهٔ تیمارها فاقد نیکل نهایی بودند. این تحقیق نشان داد که علت کاهش میزان غلظت نیکل در بسترهای نهایی، فعالیت کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها در تودهٔ ورمی کمپوست است که منجر به تجزیهٔ مواد آلی می‌شود. طی فرآیند تثبیت مواد آلی، نیکل در بدن کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها جذب و تجمع می‌یابد. در نتیجه، غلظت این نوع فلز سنگین در تودهٔ نهایی ورمی کمپوست کاهش می‌یابد. دستگاه گوارش کرم‌های ایزینیا فتیدا قادر است که پیوند بین یون‌های فلزات سنگین را با ترکیبات هیومیک جدا کند. سپس با ترشح آنزیم‌های مختلف در رودهٔ کرم، اغلب یون‌های فلزی جذب و در بافت‌های کرم محصور می‌شوند. با جداسازی کرم‌های مرده از کود، اجازه داده می‌شود تا فلزات سنگین از پس ماندهای آلی حذف شوند. همچنین به علت کنترل رطوبت در حین انجام فرآیند ورمی کمپوست و فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیکی، مقداری شیرابه تولیدمی‌شود که می‌تواند حاوی عناصر فلزات سنگین باشد. در نتیجه مقداری از فلزات سنگین در اثر شست‌وشو به همراه شیرابه از منافذ بسترها خارج می‌شوند و کاهش فلزات سنگین را به همراه دارند. سینگ گزارش داد که غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست با افزایش زمان فرآیند کمپوست، کاهش می‌یابد (Singh et al., 2011). همچنین با تشکیل کمپلکس‌های آلی به‌طور قابل توجهی دسترسی فلزات سنگین موجود در ورمی کمپوست حاصل از لجن فاضلاب به جز آهن و منگنز، کاهش می‌یابد (Hait & Tare, 2012). Lim و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند موادی مانند خاکستر بادی و سنگ فسفات می توانند به‌عنوان یک افزودنی برای کاهش فلزات سنگین استفاده شوند. البته برخی محققان بیان کردند با تشکیل کمپلکس بین ترکیبات هیومیکی و فلزات سنگین، قابلیت دسترسی این فلزات کاهش می‌یابد. در تحقیقی پیرامون مقایسهٔ فلزات سنگین در کمپوست و ورمی کمپوست از ضایعات آلی گزارش شد که خطر فلزات سنگین با انباشته شدنشان در بدن کرم خاکی، بیشتر از کمپوست کاهش می‌یابد(Mohee &Soobhany, 2014).

در این تحقیق غلظت مس در انتهای فرآیند در همه تیمارها افزایش داشت. براساس جدول ۵، بیشترین غلظت مس در انتهای فرآیند با میزان ۲/۳۶ ppm مربوط به تیمار H بود که با تیمار B و تیمار J اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار مس نیز با ۰/۳۷۷ ppm مربوط به تیمار C بود که با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست، به غلظت آن‌ها در مواد اولیه در بستر وابسته است. افزایش غلظت مس در ورمی کمپوست نهایی به علت کاهش حجم و وزن مواد اولیه و معدنی شدن مواد آلی توسط کرم‌های خاکی است. به‌طور کلی مکانیسم افزایش غلظت فلزات سنگین طی فرآیند تولید ورمی کمپوست، کاهش مقدار مواد اولیه در اثر تجزیه مواد آلی است. این موضوع در نتایج برخی دیگر از محققین نیز ثابت شده است. Vig و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست را ناشی از کاهش وزن و حجم نهایی ضایعات آلی دانستند. همچنین براساس تحقیقات Nayak و Kalamdhad (۲۰۱۳)، افزایش محتوای فلزات سنگین می‌تواند به‌علت از دست دادن وزن اولیه در اثر تجزیهٔ مواد آلی و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در فرآیند ورمی کمپوست باشد. در بررسی‌هایی که پیرامون تغییرات فلزات سنگین در طول فرآیند ورمی کمپوست از کود حیوانی و ضایعات قارچ انجام گرفت، غلظت سرب، مس و روی در تیمار کود خوکی و ضایعات قارچ افزایش داشت (Song et al., 2014). در تحقیقی دیگر نیز در تولید ورمی کمپوست از لجن فاضلاب شهری و ضایعات کمپوست قارچ، افزایش غلظت فلزات سنگین گزارش شد (Bakar et al., 2011). در بررسی اثر ورمی کمپوست بر روی فلزات سنگین (روی، سرب، کرم، و مس) در کود گاوی و خوکی با استفاده از

Archive of SID
www.SID.ir

استخراج متوالی روش تسیر[3] مشخص شد که غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست نهایی بیشتر از مقادیر اولیه‌شان در کودگاوی و خوکی بود (Lv et al., 2016). در مطالعات Yadav و Garg (۲۰۱۳) محتویات فلزات آهن، مس، سرب و روی در ورمی کمپوست تولید شده از مخلوط زباله خام بالاتر از سطح اولیه بود. در تحقیقی پیرامون تأثیر خاکستر و سنگ فسفات در ثبات فلزات سنگین در طول فرآیند ورمی کمپوست از لجن فاضلاب، افزایش ۰/۲۵ تا ۱۱/۵۷ برابری در غلظت فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، سرب، مس و روی) در انتهای فرآیند گزارش شد که علت آن را معدنی‌سازی و دفع غیرتجمعی فلزات سنگین توسط کرم‌های خاکی دانستند (Wang et al., 2013).

غلظت کادمیوم، روی و سرب در انتهای فرآیند ورمی کمپوست در بعضی تیمارها کاهش و در بعضی دیگر افزایش داشت. براساس جدول ۵، بیشترین مقدار کادمیوم در انتهای فرآیند با ppm ۰/۰۲۴ مربوط به تیمار L بود و کمترین مقدار کادمیوم نیز با ppm ۰ مربوط به تیمارهای A، E و H می‌شد. بیشترین مقدار سرب در انتهای فرآیند باppm ۰/۶۷مربوط به تیمار B و تیمار H با ppm ۰/۶۵ بود. در تیمارهای A، C، E، F، I، K و L هیچ غلظتی از سرب مشاهده نشد. غلظت روی نیز در تیمارهای مختلف، متفاوت بود. بیشترین مقدار روی در انتهای فرآیند با ppm ۱۴ مربوط به تیمار B بود که با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین مقدار روی نیز با ppm ۱/۲۶ مربوط به تیمارهای A بود. محتوای فلزات سنگین در بستر اولیه، تجزیهٔ ماده آلی، میزان جذب سطحی و فعالیت میکروبی بر غلظت فلزات سنگین در بستر نهایی تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی کاهش غلظت فلزات سنگین طی فرآیند ورمی کمپوست می‌تواند به علت برداشته شدن پیوندهای این فلزات از طریق جذب در روده و پوست کرم خاکی و یا نشت شیرابه و خروج مقادیری از این فلزات از بستر باشد و همچنین علت افزایش غلظت فلزات سنگین را می‌توان فرآیند تثبیت سازی مواد آلی دانست. محققان دیگر نیز تغییرات غلظت فلزات سنگین را گاهی به صورت افزایشی و گاهی به صورت کاهشی گزارش داده‌اند. Azarmi و همکارانش (۲۰۰۸) pH خاک را مهم‌ترین عامل کنترل‌کنندهٔ عنصر روی دانستند، که با افزایش آن، میزان روی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی دسترسی فلزات سنگین با افزایش pH به‌دلیل تشکیل کمپلکس‌های قوی با هیدروکسیدها و کربنات‌ها کاهش می‌یابد (Vafa et al., 2016). در بررسی حذف فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، سرب، مس و روی) از لجن فاضلاب شهری اصلاح شده با ضایعات کمپوست قارچ مشخص شد که غلظت کروم، کادمیوم و سرب در انتهای آزمایش بسیار کمتر ولی غلظت سرب و روی بیشتر از غلظت اولیه‌شان بود (Azizi et al., 2013). Gupta و Garg (۲۰۰۸) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین مثل آهن، مس، روی و کروم افزایش داشت درحالی‌که تغییر غلظت سرب از هیچ الگوی منظم پیروی نمی‌کرد. Malińska و همکاران (۲۰۱۶) نیز اذعان داشتند که افزایش غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست می‌تواند به‌علت افزایش فعالیت کرم‌های خاکی در تجزیهٔ مواد آلی باشد و از سوی دیگر، کرم‌های خاکی با انباشتن فلزات سنگین در بافت های خود باعث کاهش غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست نهایی می‌شوند. Hervas و همکاران (۱۹۸۹) در تولید ورمی کمپوست از لجن فاضلاب و ضایعات شهری بیان کرد، ورمی کمپوست تولید شده حدود ۴۰ برابر کادمیوم و ۳۰ برابر کروم کمتری نسبت به لجن فاضلاب داشت. Sharma و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی توانایی کرم‌های خاکی در مدیریت مواد زائد بیان کردند که اگر چه به‌علت معدنی شدن کربن در طول فرآیند، مقدار این عنصر کاهش می‌یابد اما غلظت کل فلزات سنگین بین ۲۵ تا ۳۰٪ افزایش و مقدار دسترسی آن‌ها ۳۵ تا ۵۵٪ کاهش داشت. Suthar (۲۰۰۹) بیان کرد که غلظت فلزات در ورمی کمپوست نهایی به شدت وابسته به عواملی مثل pH، غلظت کلسیم، مواد آلی، ظرفیت تبادل

Archive of SID
www.SID.ir

کـــاتیون و غیـــره اســـت. Pattnaik و Reddy (۲۰۱۱) در مقایسهٔ تجمع فلزات سنگین در بدن سه گونه کـرم خـاکی ایزینیا فتیدا، پریونیکس اگزاواتوس[۴] و ادریلـوس اژنیـا[۵] بـه این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات در بافـت کـرم خـاکی گونه ادریلوس اژنیا بیشتر از دو گونهٔ دیگر بود.

با توجه به ضرایب همبسـتگی کـه در جـدول ۶ نشـان داده شده است، غلظت مـس بـا روی و سـرب همبسـتگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و با غلظت کادمیوم و نیکل به‌ترتیـب همبسـتگی منفـی و مثبـت غیـر معنـی‌داری داشـت. غلظـت کـادمیوم بـا روی و نیکـل همبستگی منفی غیرمعنی‌دار و بـا سـرب همبسـتگی منفـی معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. غلظت روی با نیکل همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و با سرب همبستگی مثبـت و معنـی‌داری در سـطح احتمـال یـک درصـد داشـت و غلظـت نیکـل بـا سـرب همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصـد داشت.

جدول ۷ غلظت استاندارد فلـزات سـنگین موجـود در ورمی کمپوست در ایران را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق مشخص کرد که کود تولید شده از لحاظ فلزات سنگین در محدودهٔ استاندارد ایران قرار دارد.

جدول ۶. همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در انتهای فرآیند

	مس	کادمیوم	روی	نیکل
کادمیوم	$-۰/۱۰۴^{ns}$			
روی	$۰/۵۹۲^{**}$	$-۰/۲۵۵^{ns}$		
نیکل	$۰/۱۳۹^{ns}$	$-۰/۲۲۰^{ns}$	$۰/۴۶۲^{*}$	
سرب	$۰/۵۲۶^{**}$	$-۰/۴۰۶^{*}$	$۰/۶۲۲^{**}$	$۰/۵۲۷^{**}$

** در سطح یک درصد معنی‌دار * در سطح پنج درصد معنی‌دار ns: غیر معنی‌دار

جدول۷. غلظت استاندارد فلزات سنگین موجود در ورمی کمپوست در ایران

مس (mg/kg)	کادمیوم(mg/kg)	روی (mg/kg)	نیکل (mg/kg)	سرب (mg/kg)
۳۰۰	۵	۱۴۰۰	۱۰۰	۱۵۰

(خرازی و همکاران،۱۳۹۳)

۵. نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از ورمی کمپوست برای مـدیریت ضـایعات آلی بـه سـرعت در حـال افـزایش اسـت و فرآینـد ورمـی کمپوست به‌عنوان یک روش برای حـذف زبالـه‌هـای آلـی به‌طور گسترده در سراسر جهان اسـتفاده مـی‌شـود. ورمـی کمپوست با تبدیل مواد مغذی معدنی به شـکلی کـه بـرای گیاه قابل استفاده باشد رشد و بـاروری گیاهـان را بـه‌طـور معنی‌داری افزایش می‌دهد. در این تحقیق کـاهش غلظـت فلزات سنگین به‌علت نشت شیرابه و جذب فلزات در مـواد بستر از طریق کرم‌های خاکی و تجمع آن در بافت‌های‌شـان گـزارش شـده اسـت و بـر طبـق گـزارش‌هـای Golan و همکارانش (۲۰۱۷) ذخیـره‌سـازی فلـزات سـنگین توسـط کرم‌هـای خـاکی بـه عوامـل مختلفـی ماننـد ویژگـی‌هـای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی این موجودات بستگی دارد.

Archive of SID
www.SID.ir

از طرف دیگر، می‌توان گفت هنگام فرآیند تولید ورمی کمپوست، به‌علت کاهش حجم و وزن مواد در بستر و تجزیهٔ مواد آلی، غلظت فلزات سنگین افزایش می‌یابد. Yadav و Garg (۲۰۱۱) یاداو و گارگ میزان فلزات سنگین در ورمی کمپوست را وابسته به میزان این فلزات در ضایعات اولیه دانستند. با انجام این تحقیق هم آثار سوء و آلودگی ناشی از دفع و دپوی ضایعات آلی کاهش یافت و هم با هضم آنها یک کود ارگانیک و سرشار از مواد مغذی برای رشد گیاهان تولید شد. در نهایت، با مقایسهٔ غلظت‌های به‌دست آمده در این تحقیق با استانداردهای ایران، مشخص شد غلظت فلزات سنگین در محدودهٔ مجاز قرار دارد و می‌توان از این کود به‌عنوان کود ترکیبی بیولوژیک در بهبود باروری خاک و افزایش کمیّت و کیفیت محصولات کشاورزی استفاده کرد.

یادداشت‌ها

1. food and agriculture organization
2. atomic absorption
3. tessier
4. perionyx excavates
5. eudrilus eugeniae

منابع

خرازی، س. م.، یونسی، ح. ا.، و عابدینی طرقبه، ج.۱۳۹۳. تغییرات فلزات سنگین طی فرآیند تولید ورمی کمپوست از پسماندهای آلی، محیط‌شناسی، ۴۰(۱): ۱۹۹-۲۱۰.

سلیمی، ا.، عطائی، س. ا.، و رحیمی، ا. ۱۳۹۴. تولید ورمی کمپوست با استفاده از لجن فعال فاضلاب کارخانهٔ شیر و لجن فعال فاضلاب شهری، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، رشته مهندسی شیمی-گرایش محیط زیست، دانشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

جلیلی، م.، مختاری، م.، ابراهیمی، ع. ا.، و بقری، ف. ۱۳۹۵. بررسی و مقایسهٔ فرایند کمپوست‌سازی راکتوری ضایعات پسته در مخلوط با تیمارهای مختلف، سلامت و محیط‌زیست، ۹(۳): ۴۲-۴۱۱.

Arancon, N., Edwards, C., Bierman, P., Metzger, J., Lee, S. and Welch, C. 2003. Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries· Pedobiologia. 47: 731–735.

Azarmi, R., Giglou, M. and Taleshmikail, R. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato field. African Journal of Biotechnology. 7: 2397–2401.

Azizi, A.B., Lim, M. P. M., Noor, Z. M. and Abdullah, N. 2013. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising Lumbricus rubellus. Ecotoxicology and Environmental Safety. 90: 13–20.

Bakar, A.A., Mahmood,N. Z., Da Silva, J. A. T., Abdullah, N. and Jamaludin, A. A. 2011.Vermicomposting of sewage sludge by Lumbricus rubellus using spent mushroom compost as feed material: Effect on concentration of heavy metals. Biotechnology and Bioprocess Engineering. 16: 1036–1043.

Çelik, İ. and Demirer, G.N. 2015. Biogas production from pistachio (Pistacia vera L.) processing waste. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 4: 767–772.

Edwards, C.A. and Arancon, N.Q. 2004. the Use of Earthworms in Organic Waste Managements. the Science of Vermiculture, Soil Ecology Laboratory, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA., 1–25.

El-Haddad, M.E., Zayed, M. S., El-Sayed, G. A. M., Hassanein, M. K. & Abd El-Satar, A. M. 2014.

Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. Annals of Agricultural Sciences. 59: 243–251.

Fadaee, R. 2012. A review on earthworm Esienia fetida and its applications. Annals of Biological Research. 3: 2500–2506.

Ghasemi, S., Naserian, A. A., Valizadeh, R., Tahmasebi, A. M., Vakili, A. R., Behgar, M. and Ghovvati, S. 2012. Inclusion of pistachio hulls as a replacement for alfalfa hay in the diet of sheep causes a shift in the rumen cellulolytic bacterial population. Small Ruminant Research. 104: 94–98.

Golan, M., Caceres, R., Rorat, A., Weisser, P. and Malin, K. 2017. Bioresource Technology Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge – The effect of biochar on the activity of Eisenia fetida and the obtained vermicompost. 225: 206–214.

Archive of SID
www.SID.ir

Gupta, R. and Garg, V.K. 2008. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. Journal of Hazardous Materials. 153: 1023–1030.

Hait, S. and Tare, V. 2012. Ecotoxicology and Environmental Safety Transformation and availability of nutrients and heavy metals during integrated composting – vermicomposting of sewage sludges. Ecotoxicology and Environmental Safety. 79: 214–224.

Hervas, L., Mazuelos, C., Senesl I, N. and Saiz-jimenez, C. 1989. Chemical and physico-chemical characterization of vermicompost and their humic acid fractions. the Science of the Total Environment. 81/82:543-550.

Lim, S.L., Lee, L.H. and Wu, T.Y. 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation : recent overview , greenhouse gases emissions and economic analysis. Journal of Cleaner Production. 111: 262–278.

Lv, B., Xing, M. and Yang, J. 2016. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. Bioresource Technology. 209: 397–401.

Malińska, K., Zabochnicka-Świątek, M., Cáceres, R. and Marfà, O. 2016. The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of Eisenia fetida during laboratory vermicomposting. Ecological Engineering. 90: 35–41.

Mohee, R. and Soobhany, N., 2014. Comparison of heavy metals content in compost against vermicompost of organic solid waste: Past and present. Resources, Conservation and Recycling. 92: 206–213.

Nayak, A.K. & Kalamdhad, A.S. 2013. Effects of various C/N ratio during vermicomposting of sewage sludge using Eisenia fetida. Environmental science and tecnology. 6: pp.63–78.

Norouzian, M.A., Ghiasi, S.E. 2012. Carcass performance and meat mineral content in Balouchi lamb fed pistachio by-products. Meat Science. 92: pp.157–159.

Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., Kumari, U.R. 2008. An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. Bioresource Technology. 99: pp.1672–1681.

Pattnaik, S., Reddy, M. V. 2011. Heavy metals remediation from urban wastes using three species of earthworm (Eudrilus eugeniae, Eisenia fetida and Perionyx excavatus). Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 3: pp.345–356.

Pramanik, P., Ghosh, G. K., Ghosal, P. K., Banik, P. 2007. Changes in organic - C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants.Bioresource Technology. 98: pp.2485–2494.

Rorat, A., Wloka, D., Grobelak, A., Grosser, A., Sosnecka, A., Milczarek, M., Jelonek, P., Vandenbulcke F. 2016. Vermiremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in sewage sludge composting process. J. Environ. Manage. 187: pp. 347–353.

Sharma, S., Katnoria, J., Vig, A. 2005. Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses – A Review. The American Journal of Science. 1: pp.4–16.

Singh, R.P., Embrandiri, A., Ibrahim, M. H., Esa, N. 2011. Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option. Resources, Conservation and Recycling. 55: pp.423–434.

Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, C., Jiao, J., Hu, F. 2014. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. Waste Management. 34: pp.1977–1983.

Suthar, S. 2009. Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic Eisenia fetida (Oligochaeta). Journal of Hazardous Materials. 163: pp.199–206.

Swati, A., Hait, S. 2017. Fate and Bioavailability of Heavy Metals during Vermicomposting of Various Organic Wastes − A Review. Process Safety and Environmental Protection. Institution of Chemical Engineers. 109: pp. 30–45.

Vafa, H.J., Raiesi, F., Hosseinpur, A. 2016. Sewage sludge application strongly modifies earthworm impact on microbial and biochemical attributes in a semi-arid calcareous soil from Iran. Applied Soil Ecology. 100: pp.45–56.

Vig, A.P., Singh, J., Wani, S. H., Singh Dhaliwal, S. 2011. Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm Eisenia fetida (Savigny). Bioresource Technology.102: pp.7941–7945.

Wang, L., Zhang, Y., Lian, J., Chao, J., Gao, Y., Yang, F., Zhang, L. 2013. Impact of fly ash and phosphatic rock on metal stabilization and bioavailability during sewage sludge vermicomposting. Bioresource Technology. 136: pp. 281–287.

Yadav, A., Garg, V.K. 2011. Recycling of organic wastes by employing Eisenia fetida. Bioresource Technology. 102: pp.2874–2880.

Yadav, A., Garg, V.K. 2013. Nutrient Recycling from Industrial Solid Wastes and Weeds by Vermiprocessing Using Earthworms. Pedosphere. 23: pp.668–677.

Archive of SID

www.SID.ir