

تهیه ورمی کمپوست از پسماند خانگی با استفاده از کرم خاکی ایزنیافوتیدا^۱

محمدعلی عبدلی^۱

محبوبه هادی پور^{۲*}

hadipour.m@gmail.com

مهدی جلیلی قاضی زاده^۳

حسین علی اصغر نیا^۴

تاریخ پذیرش: ۸۸/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۰۴/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: وجود درصد بالای مواد فسادپذیر در ترکیب پسماند تولیدی در ایران از یک طرف و عدم وجود زمین‌های مناسب برای دفن بهداشتی پسماند (به‌خصوص در مناطق شمالی کشور) از سوی دیگر و همچنین مشکلات مربوط به جمع‌آوری، حمل و نقل و دفع پسماندها باعث شده است که استفاده از روش ورمی کمپوست به عنوان یک راه‌کار موثر برای دفع مواد زائد آلی مد نظر قرار گیرد.

روش بررسی: در این تحقیق جهت تهیه ورمی کمپوست از پسماند خانگی، پایلوتی از جنس چوب، در سه طبقه و در ابعاد ۴۵، ۲۵ و ۶۵ سانتی‌متر طراحی شد. سپس ۵۰۰ کرم خاکی از نوع ایزنیافوتیدا به‌صورت دستی جمع‌آوری گردید و در بستر ایجاد شده در پایلوت قرار گرفت. بارگذاری پسماند خانگی در این پایلوت، به‌صورت هفتگی انجام شد. پس از گذشت ۶۰ روز از شروع عملیات، نمونه‌گیری از کمپوست تولیدی انجام شد و آزمایش‌های لازم بر روی آن صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که در صورت کنترل درجه حرارت در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و کنترل رطوبت بین ۶۰ تا ۷۵ درصد و همچنین هوادهی مناسب به توده پسماند، می‌توان شرایط محیطی مناسبی برای فعالیت کرم‌های خاکی ایزنیافوتیدا مهیا نمود و به تبع آن پسماندهای آلی را به کمپوست با کیفیت مناسب تبدیل کرد. نسبت C به N که اصلی‌ترین فاکتور در متناسب‌سازی مواد است در ورمی کمپوست تولیدی ۱۴/۵۳ اندازه‌گیری شد.

بحث و نتیجه‌گیری: این روش علاوه بر مدیریت بهینه پسماندهای خانگی، در تکثیر کرم‌های خاکی که به‌عنوان منبع غذایی برای دام، طیور و آبزیان استفاده می‌شود، کارایی بالایی دارد.

واژه‌های کلیدی: ورمی کمپوست، کرم خاکی، ایزنیافوتیدا، پسماند خانگی.

ژه‌های کلیدی: ورمی کمپوست، کرم‌خاکی، ایزنیافوتیدا، پسماند خانگی.

۱- استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- * (مسئول مکاتبات): دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشت، تهران، ایران..

۴- استاد دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه پزشکی، بابل، ایران.

Vermicomposting of Domestic Waste Using Eisenia Foetida Earthworm

Mohammad Ali Abduli¹

Mabubeh Hadipour²

hadipour.m@gmail.com

Mehdi Jalili Ghazizade³

Hossein Ali Asgharnia⁴

Abstract

Background: The high percentage of putrescible materials in generated waste in Iran, in one hand, and lack of proper lands for sanitary landfilling of waste (specially in the northern parts of the country), in the other hand, along with problems of collection, transportation and disposal of waste all make it necessary to think about vermicompost method as an efficient technique for disposal of organic waste.

Method: The present study aims to investigate the degradation of domestic waste using specific earthworm 'Eisenia foetida'. For this purpose, a wooden pilot including three floors was designed. Length, width and height of the pilot were 45, 25 and 65 cm respectively. Then 500 earthworms were collected manually and put on created media in the pilot. The domestic waste was added every week to the pilot, and after 60 days the compost was taken out. Finally, the important parameters in the produced compost were analyzed in the laboratory.

Results: The result shows that providing proper situations like temperature range of 20-30 °C and moisture range of 60-75% and also appropriate aeration can lead to creation of a suitable place for the growth of earthworms and consequently conversion of organic wastes to rich compost. The ratio of C/N in the produced vermicompost was 14.53 (range of C/N is 10-20).

Conclusion: One of the other advantages of this method is that it can also be used for increasing the earthworms as a food resource for domesticated animals and aquatic creatures.

Keywords: Vermicompost, Earthworm, Eisenia foetida, Domestic waste.

1- Professor, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- MSc Student, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Assistant Professor, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

4- Professor, Faculty of Paramedical, Babol Medical University, Iran.

مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت، گسترش شهرنشینی و ورود صنایع مختلف به چرخه زندگی، موجب افزایش تولید پسماند در چنددهه اخیر شده و لذا نحوه مدیریت مناسب این پسماندها همواره یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های جوامع بشری می‌باشد. در حال حاضر در ایران روزانه حدود ۵۰۰۰۰ تن پسماند تولید شده که ۶۰ تا ۷۰ درصد آن را پسماندهای آلی تشکیل می‌دهد. تولید روزافزون پسماندهای آلی و دفن غیراصولی آن، علاوه بر آن که موجب شیوع عوامل بیماری‌زا نظیر مگس، پشه، سوسک و سایر حیوانات موزی می‌شود، آلودگی‌های محیط‌زیستی فراوانی از جمله بوهای نامطبوع و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک را نیز به دنبال دارد (۲ و ۱). بنابراین روش دفع پسماندهای آلی به‌عنوان یک موضوع مهم در حفظ محیط زیست همواره مورد توجه می‌باشد (۳).

علی‌رغم آن که در حال حاضر انواع روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای دفع مواد زاید آلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این روش‌ها اغلب زمان بر بوده و هزینه زیادی نیز در بر دارد (۴). بنابراین استفاده از فن‌آوری‌های مقرون به صرفه که در زمان کوتاهی بتواند دفع پسماندهای آلی را انجام دهد و از همه مهم‌تر با شرایط ایران سازگار باشد، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد. علی‌رغم آن که استفاده از روش متداول کمپوست برای تجزیه در محل پسماندهای آلی با شرایط ایران سازگار است اما این روش دارای معایبی است. مدت زمان طولانی فرآیند، نیاز به هوادهی متناوب به توده پسماند، کمبود مواد مغذی نظیر نیتروژن و تولید محصول ناهمگن از جمله مهم‌ترین ایرادات روش متداول تبدیل پسماندهای آلی به کمپوست می‌باشد (۵).

ورمی کمپوست روشی است که در آن مواد آلی پسماند توسط فعالیت کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌ها به مواد مغذی بی‌بو و هوموس مانند تبدیل می‌شود (۶). همان‌گونه که در فرآیند بیولوژیکی، میکروب‌ها نقش اصلی را در تجزیه مواد آلی ایفا می‌کنند، در روش ورمی کمپوست، کرم‌های خاکی وظیفه تثبیت مواد آلی را به عهده دارند (۷ و ۸). در واقع در روش ورمی کمپوست، کرم‌های خاکی به‌عنوان یک مخلوط‌کننده مکانیکی عمل کرده و با ریز کردن اجزای آلی پسماند، شرایط تجزیه بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را ارتقا بخشیده و علاوه بر آن، با کاهش نسبت C به N و افزایش مساحت سطحی قابل استفاده برای میکروارگانیسم‌ها، پسماندها را برای فعالیتهای میکروبی و تجزیه آتی آماده می‌کند (۹). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که روش ورمی کمپوست یک فن‌آوری در دسترس، سریع و مقرون به صرفه در مدیریت پسماندهای آلی می‌باشد (۱۴-۱۰). ضمن آن که محصول به‌دست آمده در فرآیند ورمی کمپوست دارای مواد مغذی بیش‌تری بوده و جذب آن توسط گیاهان ساده‌تر انجام می‌شود (۲).

هرچند گونه‌های مختلف کرم خاکی نظیر *Eisenia foetida*، *Perionyx*، *Eisenia*، *Eudrilus*، *Eugenia*، *P.*، *Sansibaricus*، *excavatus*

Andrei برای تولید محصول نهایی در فرآیند ورمی کمپوست مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸، ۱۱، ۱۲، ۱۵). اما کرم خاکی ایزنیافوتیدا به‌عنوان کرمی مناسب برای انجام تست‌های آزمایشگاهی ورمی کمپوست همواره مورد توجه بوده است (۲). علت تمایل بیش‌تر به استفاده از این گونه کرم خاکی در فرآیند ورمی کمپوست، قدرت تحمل بالا و سازگاری آن با تغییرات محیطی نظیر pH، مقدار رطوبت، دما و غیره نسبت به سایر گونه‌ها می‌باشد (۱۶). بعد از بررسی مطالعات مختلف و همچنین به‌دلیل دسترسی به کرم خاکی ایزنیافوتیدا، این نوع کرم برای انجام آزمایش‌های ورمی کمپوست انتخاب شده است.

نکته مهم دیگر، استفاده از روش ورمی کمپوست به منظور تقویت عنصر موظف کاهش از مبدأ می‌باشد. استفاده از روش ورمی کمپوست صرف‌نظر از رهایی از مشکلات مربوط به جمع‌آوری، حمل و نقل و دفع پسماندها و هزینه‌های مربوطه دارای منافع اقتصادی بوده و راه را برای یک بازیافت اصولی از مبدأ تولید هموار می‌نماید. لذا از آن‌جاکه کاهش در مبدأ به‌عنوان اولین عنصر موظف در سیستم مدیریت مواد زاید جامد شهری از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، در این تحقیق استفاده از کرم‌های خاکی ایزنیافوتیدا در تبدیل پسماندهای (خانگی) به کود آلی (کمپوست) مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی

طراحی، ساخت و راه‌اندازی پایلوت

در این تحقیق به منظور تهیه ورمی کمپوست از زباله خانگی (زباله آشپزخانه) پایلوتی از جنس چوب و در سه طبقه طراحی شده است (شکل ۱). طبقه بالایی که محل قرارگیری پسماند می‌باشد کاملاً جدا از دو قسمت دیگر بوده و درب آن به‌صورت لولایی از بالا باز می‌شود. طبقه وسط که محل قرارگیری بستر کرم‌ها بوده و به‌صورت کشویی از قسمت جلو و عرض پایلوت بیرون می‌آید و طبقه پایین نیز که محل جمع‌آوری شیرابه احتمالی است، مانند طبقه وسط به‌صورت کشویی و از جلو باز می‌شود. کف طبقه بالا و وسط از ورق‌های سوراخ‌داری تشکیل شده که این امکان را فراهم می‌کند که سه طبقه مذکور با هم ارتباط داشته باشند، به نحوی که کرم‌ها بتوانند از طریق این سوراخ‌ها از بسترشان بالا آمده و از پسماند ریخته شده در طبقه بالایی تغذیه کرده و دوباره به بسترشان برای استراحت و دفع این مواد (که همان ورمی کمپوست مورد نظر است) برگردند. از طرفی در کف طبقه وسط نیز یک ورق سوراخ‌دار تعبیه شده تا شیرابه‌ای که ممکن است در اثر رطوبت بستر تولید شود، توسط این کف زهکشی شده و به طبقه پایین که دارای سینی است جریان یافته و بعد از جمع شدن در سینی تخلیه گردد. طول و عرض و ارتفاع پایلوت به ترتیب ۴۵ و ۲۵ و ۶۵ سانتی‌متر است که ارتفاع طبقه بالایی ۱۵ سانتی‌متر، طبقه وسط ۴۲ سانتی‌متر و طبقه پایینی ۸ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۱- نمای بسته و باز پایلوت طراحی شده

Figure 1- Schematic of designed pilot (open and close)

بسته شده تا از اتلاف درجه حرارت و همچنین از تجمع حشرات یا انتشار بو جلوگیری شود. فرکانس ورود پسماند به داخل پایلوت هفتگی بوده است.

اندازه گیری پارامترهای مهم

درجه حرارت و رطوبت دو پارامتر تاثیرگذار در عملکرد روش ورمی کمپوست می باشند. به همین منظور درجه حرارت و رطوبت در پایلوت به صورت متناوب کنترل شده است. برای کنترل درجه حرارت ابتدا یک ترمومتر جیوه ای ۳۰ سانتی متری به یک چوب صاف ۵۰ سانتی متری مدرج چسبانده شده است به گونه ای که نوک ترمومتر آزاد بوده تا بتواند با تماس مناسب با توده، درجه حرارت را به خوبی نشان دهد. سپس این مجموعه را از شکافی که در بدنه پایلوت ایجاد شده، وارد کرده تا در موقع عملیات عمق های موردنظر مشخص شوند. سنجش درجه حرارت همه روزه در ساعت ۹ صبح و در عمق ۴۰ سانتی متری انجام شده است.

سنجش رطوبت نیز با روش خشک کردن نمونه در دستگاه اتوکلاو (درجه حرارت ۱۰۳ درجه سانتی گراد و مدت زمان دو ساعت) انجام شده است. با توجه به این که عملکرد مناسب کرم های ایزنیافوتیدا در رطوبت بین ۶۰ تا ۷۵ درصد رخ می دهد، در طی عملیات در صورت خشک بودن توده مقداری آب روی توده پاشیده شده و در صورت خیس بودن مواد درون حوضچه، اختلاط مواد انجام شده است.

با توجه به این که مطالعات انجام شده نشان می دهد که بعد از گذشت ۵۰ تا ۷۰ روز از عملیات ورمی کمپوست، کود حاصله دارای کیفیت مناسب می باشد، پس از گذشت ۶۰ روز از شروع عملیات از کود به دست آمده نمونه برداری شده و در آزمایشگاه خاک، آزمایش های لازم بر روی آن انجام گرفته است. آزمایش های مربوط به درصد مواد آلی، درصد خاکستر، pH، EC، کربن آلی، کربن کل، پتاسیم، سدیم، فسفر، ازت و فلزات سنگین (آهن، منگنز، سرب و کادمیوم) با استفاده از روش های ارایه شده در کتاب "روش های استاندارد" انجام شده است (۱۷).

یافته ها

پس از بارگیری پایلوت و شروع عملیات به منظور اجرای دقیق عملیات سه پارامتر مهم درجه حرارت، رطوبت و هوادهی کنترل شدند. شکل ۲ نتایج سنجش درجه حرارت را نسبت به زمان در طول دوره تهیه کمپوست نشان

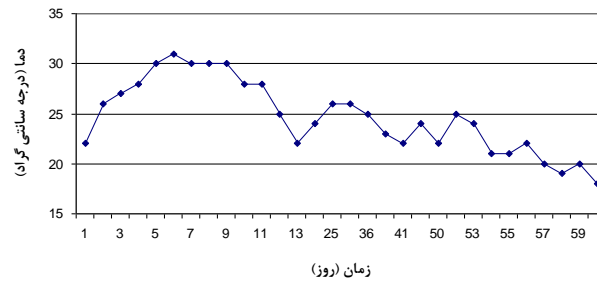
یکی از مهم ترین موارد در طراحی پایلوت ورمی کمپوست، آماده سازی بستر کرم های خاکی می باشد. برای ایجاد بستری مناسب جهت رشد و فعالیت کرم های خاکی، ابتدا ۳ تا ۴ سانتی متر سنگ و آجر شکسته روی صفحه سوراخ دار طبقه میانی قرار داده شده است. روی سنگ ها لایه ای به ضخامت ۶ تا ۷ سانتی متر شن اضافه شده تا زه کشی شیرابه تولیدی به راحتی صورت گیرد. بر روی لایه زه کش، حدود ۱۵ سانتی متر خاک لوم با بافت متوسط قرار داده شده که این لایه محل قرارگیری کرم های خاکی می باشد. بر روی این لایه مقداری کود گاوی به ضخامت ۳ تا ۴ سانتی متر پخش نموده و روی آن با لایه ای از خاک اره به ضخامت ۸ سانتی متر پوشانده شده است. در انتها مقداری خاک نرم روی خاک اره ریخته شده و به این لایه ها به طور متناوب و به حد کافی آب اضافه می شود تا رطوبت لازم همواره حفظ گردد.

جمع آوری کرم های خاکی

از آن جاکه کرم های خاکی در فصول گرم سال به سختی قابل دسترس می باشند و به دلیل گرم شدن سطح خاک به اعماق زمین فرو می روند، لذا در مهرماه سال ۱۳۸۷ با توجه به بارندگی هوا و ایجاد رطوبت لایه های سطحی خاک، کرم های خاکی ایزنیافوتیدا از سطح چندین روستا و مناطق مختلف شهرستان بابل جمع آوری شده اند. به طور کلی کرم های خاکی در خاک های مناسب که دارای گیاه، مواد آلی و رطوبت فراوان باشند یافت می شوند. علاوه بر آن کرم های خاکی ایزنیافوتیدا در محل هایی که فضولات گاو تلقینار می شود، به صورت انبوه وجود دارند. در این تحقیق کرم های خاکی از محل نگهداری موقت فضولات گاو در محوطه خانه های مسکونی در چند روستای شهرستان بابل، جمع آوری شده است. روش جمع آوری کرم ها دستی بوده و با زیر و رو کردن خاک توسط بیل و با توجه به کلید شناسایی کرم های خاکی، در حدود ۵۰۰ عدد کرم خاکی بالغ ایزنیافوتیدا جمع آوری شده و به محل استقرار پایلوت جهت تولید کمپوست منتقل شده است. جهت انتقال کرم های خاکی از محیط طبیعی به محل تحقیق، کرم های جمع آوری شده داخل پلاستیک معمولی حاوی فضولات دامی همان منطقه ریخته شده و در اسرع وقت به آزمایشگاه منتقل شده است. پس از انتقال کرم ها به آزمایشگاه، ۲۰ روز به کرم ها غذا داده نشده است تا معده آن ها معدنی گردد. در این مرحله پس از آن که مواد فسادپذیر موجود در پسماندهای خانگی (آشپزخانه) از سایر پسماندها جداسازی شد، این پسماندها وارد پایلوت گردیده و درب پایلوت

این محدوده نگه داشته شود.

می‌دهد. با توجه به این که دمای مناسب برای فعالیت مطلوب کرم‌های خاکی ایزنیافوتئیدا بین ۲۰ تا ۳۰ درجه می‌باشد، سعی شده است دمای پایلوت در

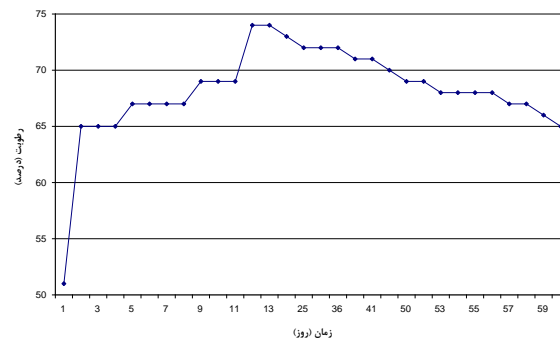


شکل ۲ - تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان در طی عملیات تهیه کمپوست

Figure 2-Time variations of temperature during composting process

مناسب کرم‌های ایزنیافوتئیدا در رطوبت بین ۶۰ تا ۷۵ درصد رخ می‌دهد، بلافاصله با دادن آب به توده پسماند، رطوبت به حد ۶۵ درصد افزایش یافته و در طول عملیات در محدوده مورد نظر کنترل شده است.

همچنین رطوبت به‌عنوان یک پارامتر مهم در طول عملیات پایش شده و نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدای بارگیری رطوبت مواد اولیه ۵۱ درصد بوده است. با توجه به این‌که عملکرد



شکل ۳ - تغییرات رطوبت نسبت به زمان در طی عملیات تهیه کمپوست

Figure 3- Time variations of humidity during composting process

جدول ۱- کیفیت ورمی کمپوست تولید شده از نظر عناصر غذایی،

فلزات سنگین و سایر پارامترها

Table 1- Quality of produced vermicompost in respect of nutrients, heavy metals and other parameters

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
pH	۸/۷	C:N	۱۴/۵۳
مواد آلی (%)	۵۸/۵	سدیم کل (%)	۰/۰۹
خاکستر (%)	۴۱/۵	پتاسیم کل (%)	۰/۸۳
کل کربن (%)	۲۹/۳	EC (μs/cm)	۱۲۶۰
کربن آلی (%)	۲۰/۳۴	آهن (mg/kg)	۳۱۴۰
رطوبت (%)	۷۵	منگنز (mg/kg)	۴۳۴
فسفر کل (%)	۰/۴۳	کادمیوم (mg/kg)	۶/۷
ازت کل (%)	۲/۰۱۶	سرب (mg/kg)	۱۵۸

همچنین در این پایلوت عمل هوادهی از طریق دالان‌هایی که کرم‌های خاکی حفر می‌کردند به‌صورت طبیعی انجام می‌گرفت و از طریق این دالان‌ها هوا وارد توده کمپوست می‌شد. ضمن این‌که در بعضی مواقع جهت کنترل درجه حرارت، مواد به آرامی زیر و رو گردیده که در خلال این عمل هوادهی نیز انجام شده است.

با گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش، از کمپوست تولیدی توسط کرم‌های خاکی، نمونه‌برداری شده و کیفیت محصول نهایی از نظر میزان عناصر غذایی و فلزات سنگین تعیین گردیده است که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

بحث و نتیجه گیری

برای بررسی عملکرد روش مورد استفاده، نتایج حاصل از کیفیت ورمی کمپوست تولیدی با اعداد ارایه شده توسط سازمان بهداشت جهانی^۱ مقایسه شده است (جداول ۲ و ۳).

جدول ۲- مقایسه کیفیت ورمی کمپوست تولیدی با ارقام ارایه شده

توسط سازمان بهداشت جهانی (درصد)

Table 2- Quality of produced vermicompost in comparison to WHO guideline (%)

محصول ورمی کمپوست	ارقام (WHO)	پارامترها	
۵۸/۵	۳۰-۱۰	مواد آلی	۲۰-۳۰
۴۱/۵	۷۰-۳۰	خاکستر	
۲/۰۱۶	۱/۸-۰/۱	ازت کل	
۱/۴۳	۱/۷-۰/۱	فسفر کل	
۰/۸۳	۲/۳-۰/۱	پتاسیم کل	
۸/۷	۹-۶	pH	

جدول ۳- مقایسه غلظت فلزات سنگین در ورمی کمپوست تولیدی با

ارقام ارایه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (mg/kg)

Table 3- Heavy metals concentration in produced vermicompost in comparison to WHO guideline (mg/kg)

ورمی کمپوست تولیدی	ارقام (WHO)	عناصر
۳۱۴۰	۱۵۰۰۰-۸۰۰۰	آهن (mg/kg)
۴۳۴	۱۳۰۰-۳۰۰	منگنز (mg/kg)
۱۵۸	۴۰۰-۲۰۰	سرب (mg/kg)
۶/۷	۴۰-۱۵	کادمیوم (mg/kg)

با توجه به مقایسه انجام شده در جداول ۲ و ۳ می توان گفت که پارامترهایی نظیر میزان درصد فسفر کل، پتاسیم کل و خاکستر در ورمی کمپوست تولیدی دقیقاً در محدوده پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی قرار دارد که این موضوع نشان دهنده کیفیت مناسب ورمی کمپوست به دست آمده می باشد. از طرفی مقدار مواد آلی موجود در ورمی کمپوست طبق پیشنهاد WHO باید در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد باشد که این مقدار در ورمی کمپوست حاصله ۵۸/۵ درصد می باشد. دلیل اصلی تفاوت این دو مقدار ناشی از درصد بالای مواد آلی موجود در پسماندی است که در عملیات ورمی کمپوست بکار رفته است. چرا که آن چه سازمان بهداشت جهانی برای مقدار مواد آلی در ورمی کمپوست توصیه کرده برای پسماندهای شهری می باشد، در حالی که در این تحقیق با تاکید بر تقویت عنصر موظف کاهش در مبداء، از پسماندهای خانگی با مقدار

بار آلی بالا استفاده شده است که این مساله بالا بودن میزان مواد آلی در محصول نهایی را توجیه می کند.

نسبت C به N یکی دیگر از پارامترهای مهم در ورمی کمپوست و شاید اصلی ترین فاکتور در متناسب سازی مواد است که مقدار آن در ورمی کمپوست تولیدی ۱۴/۵۳ می باشد. از آن جاکه این نسبت در ورمی کمپوست می بایست در محدوده ۱۰ تا ۲۰ و به طور متوسط ۱۵ باشد (۱۸)، می توان استنباط نمود که از لحاظ پارامتر نسبت C به N، ورمی کمپوست تولید شده در این تحقیق از کیفیت بسیار خوبی برخوردار می باشد. در مورد فلزات سنگین با توجه به جدول ۳ به جز منگنز که در محدوده پیشنهادی WHO قرار دارد بقیه پارامترها از قبیل آهن، سرب و کادمیوم از مقادیر پیشنهادی WHO کم تر هستند که این مساله ناشی از آن است که ارقام پذیرفته شده توسط WHO بر مبنای استفاده از پسماندهای شهری می باشد که به دلیل وجود فلزات سنگین مختلف در این پسماندها و احتمال اختلاط آن با زباله های صنعتی، درصد فلزات در کمپوست تهیه شده از این گونه زباله ها تا این حد پذیرفته شده است (۱۹). در این تحقیق چون مواد اولیه بیش تر مواد زاید خانگی و پسماندهای آشپزخانه بوده اند، بنابراین غلظت فلزات سنگین موجود در محصول کمپوست پایین تر از حد استاندارد می باشد.

ورمی کمپوست تولیدی از لحاظ خواص فیزیکی دارای رنگ قهوه ای بوده و ظاهر آن شبیه به پودر گرانوله قهوه می باشد. این کمپوست بوی خاصی ندارد و تقریباً بوی خاک می دهد. اندازه ذرات ورمی کمپوست تهیه شده حدوداً کم تر از هشت میلی متر بوده که جزء کمپوست با دانه بندی ریز محسوب می شود. همچنین شمارش تعداد کرم های خاکی در انتهای عملیات نشان می دهد که تعداد کرم های بالغ ایزنیا فوئتیدا از ۵۰۰ عدد در ابتدای آزمایش به ۱۰۰۰ عدد در انتهای عملیات افزایش یافته است. از آن جاکه تکثیر کرم ها در عملیات ورمی کمپوست به عنوان یکی از مزایای این روش مطرح است، لذا افزایش صد درصدی تعداد کرم ها در طول ۶۰ روز در این تحقیق، بیان گر وجود شرایط محیطی مناسب در پایلوت بوده و عملکرد این روش را تایید می کند. در نهایت کرم های تولید شده را می توان جهت مصرف دام، طیور و آبزیان به عنوان منبع غذایی سرشار از پروتئین استفاده نمود.

بنابراین به طور کلی می توان گفت که استفاده از روش ورمی کمپوست برای تثبیت مواد زاید آلی یکی از موثرترین راه کارهای دفع پسماندهای خانگی می باشد. از آن جاکه حدود ۷۰ درصد از ترکیب پسماند تولیدی در کشور را پسماندهای آلی تشکیل می دهد، لذا اجرای طرح های صحیح و اصولی تبدیل پسماندهای آلی به کمپوست خانگی علاوه بر رهایی از مشکلات مربوط به جمع آوری، حمل و نقل و دفع پسماند، می تواند به عنوان یک منبع مهم تولید کود برای رشد گیاهان مد نظر قرار گیرد. مطالعات نشان می دهد که در صورت طراحی مناسب پایلوت و کنترل درجه حرارت در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد، کنترل میزان رطوبت بین ۶۰ تا ۷۵ درصد و ایجاد هوادهی مناسب، می توان شرایط محیطی مناسب برای فعالیت کرم های خاکی ایزنیافوئتیدا و به تبع آن تبدیل پسماندهای آلی به کود گیاهی را فراهم نمود. با توجه به این که کرم های خاکی ایزنیافوئتیدا در اکثر مناطق کشور (به-

- Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, second ed., CRC Press, pp. 401-424.
- 10- Suthar, S., 2006. "Potential utilization of guargum industrial waste in vermicompost production", *Bioresource Technology*, 97, pp. 2474-2477.
- 11- Suthar, S., 2007. "Nutrient changes and biodynamics of epigeic earthworm *Perionyx excavatus* (Perrier) during recycling of some agriculture wastes. *Bioresource Technology*, 98, pp. 1608-1614.
- 12- Suthar, S., 2008. "Bioconversion of post harvest crop residues and cattle shedmanure into value-added products using earthworms *Eudrilus eugeniae* Kinberg", *Ecol. Eng.*, 32, pp. 206-214.
- 13- Suthar, S. & Singh, S., 2008. "Comparison of some novel polyculture and traditional monoculture vermicomposting reactors to decompose organicwastes", *Ecol. Eng.*, 33, pp. 210-219.
- 14- Taylor, M., Clarke, W.P. & Greenfield, P.F., 2003. "The treatment of domestic wastewater using small-scale vermi compost filter beds", *Ecol. Eng.*, 21, pp. 197-203.
- 15- Gupta, R. & Garg, V.K., 2008. "Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting", *Journal of Hazardous Materials*, 153, pp. 1023-1030.
- ۱۶- عبدلی، محمدعلی و روشنی، محمدرضا، "ورمی کمپوست (طراحی، ساخت و اجرا)"، ۱۳۸۶، انتشارات دانشگاه تهران.
- 17- Standard methods for examination of water and wastewater, 1995. AWWA.
- ۱۸- عمرانی، قاسم‌علی، "مدیریت مواد زاید جامد"، ۱۳۷۳، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، جلد اول.
- 19- Suess, M.J., 1985. "Solid waste management selected topics", World Health Organization.
- خصوص مناطق شمالی) در دسترس بوده و از طرفی میزان مواد زاید آلی در پسماند خانگی قابل توجه است، لذا می‌توان روش تولید کمپوست با استفاده از کرم خاکی یاد شده را در منازل استفاده نمود که این امر با آموزش‌های وسیع از طریق رسانه‌های گروهی و تصویری می‌تواند در جامعه تحقق یابد.
- منابع
- 1- Edwards, C.A. & Batey, J.E., 1992. "The use of earthworm in environmental management", *Soil Biol. Biochem.*, 24, pp. 1683-1689.
- 2- Suthar, S., 2009. "Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia foetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate", *Ecological Engineering*, 35, pp. 914-920.
- 3- Senapati, B.K. & Julka, J.M., 1993. "Selection of suitable vermicomposting species under Indian conditions", In: *Earthworm Resources and Vermiculture*, Zoological Survey of India, Calcutta, pp. 113-115.
- 4- Garg, P., Gupta, A. & Satya, S., 2006. "Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study", *Bioresource Technology*, 97, pp. 391-395.
- 5- Nair, J., Sekiozoic, V. & Anda, M., 2006. "Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste", *Bioresource Technology*, 97, pp. 2091-2095.
- 6- Suthar, S., 2009. "Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (*Oligochaeta*)", *J. of Hazardous Materials*, 163, pp. 199-206.
- 7- Aira, M., Monroy, F., Dominguez, J. & Mato, S., 2002. "How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure", *Eur. J. Soil Biol.*, 38, pp. 7-10.
- 8- Suthar, S., 2007. "Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials", *Bioresource Technology*, 97, pp. 2474-2477.
- 9- Dominguez, J., 2004. "State-of-the art and new perspectives on vermicomposting research", In: