

## مروری بر فناوری پوسانش کرمی و کاربردهای کرم پوسانه

محمدحسین فاتحی، جلال شایگان\*

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، گروه محیط زیست

پیام‌نگار: shayegan@sharif.edu

### چکیده

در فرایند پوسانش کرمی<sup>۱</sup>، گونه‌های خاصی از کرم خاکی به همراه سایر ریزاندام‌ها عملیات تجزیه و تثبیت انواع مختلفی از پسماندهای آلی را به دو صورت فیزیکی و زیست‌شیمیایی انجام می‌دهند. فرایند فیزیکی شامل هوادهی، اختلاط و خردکردن مواد و فرایند زیست‌شیمیایی متأثر از فعالیت میکروبی و ترشحات آنزیمی درون روده و معده کرم‌هاست (همانند یک زیست راکتور). محصول این روش (کرم پوسانه)<sup>۲</sup> دارای مقدار زیادی مواد هیومیک است که کاربردهای مهمی مانند جذب یون‌های فلزی و هیدروکربن‌های حلقوی سنگین را برای آن به وجود می‌آورد. درصد مواد مغذی و هورمون‌های رشد مورد نیاز جهت استفاده گیاهان در این محصول، چندین برابر خاک معمولی بوده و تاثیر آن بر بهبود رشد گیاهان به اثبات رسیده است. از کرم پوسانه به عنوان یک ماده بهبوددهنده خواص خاک استفاده می‌شود. عدم وجود بو و عوامل بیماری‌زا، ظاهر طبیعی و ساختار فیزیکی مطلوب در کرم پوسانه از دیگر مزایای آن است. در مقایسه با روش‌های رایج پوسانش، کیفیت محصول فناوری پوسانش کرمی بهتر و زمان لازم برای رسیدن به آن کمتر است. از این فرایند می‌توان برای تثبیت لجن تصفیه‌خانه فاضلاب و تبدیل آن به یک ماده بی‌ضرر برای محیط‌زیست استفاده کرد.

**کلمات کلیدی:** پوسانش کرمی، کرم‌های پوسانه‌ساز، کرم پوسانه و کاربردهای آن و پسماندهای آلی

### ۱- مقدمه

بهبوددهنده خاک محسوب می‌شود [۱]. در این فرایند گونه‌های خاصی از کرم خاکی در کنار سایر ریزاندام‌ها طی فرایندهای فیزیکی و زیست‌شیمیایی، عملیات تجزیه و تثبیت مواد آلی را انجام می‌دهند [۲]. استفاده از پوسانش کرمی هم از منظر کاهش پسماندهای آلی و هم از نظر به دست آوردن محصول باارزش و غنی از مواد مغذی قابل توجه است. آنالیز شیمیایی فضولات این کرم‌ها (کرم پوسانه) نشان می‌دهد که منگنز، نیتروژن و پتاسیم در دسترس به ترتیب دو، ۱۵ و هفت برابر خاک معمولی می‌باشند [۳].

مدیریت پسماندهای جامد<sup>۳</sup> یکی از مسایل جدی و مخاطره‌انگیز زندگی شهری است که همواره به عنوان یک چالش بسیار مهم در بسیاری از کشورها مطرح بوده است. فرایند پوسانش کرمی یکی از روش‌های همسو با حفظ محیط‌زیست جهت تبدیل پسماندهای آلی (در واحدهای کوچک تا مقیاس‌های صنعتی) به مواد هوموسی غنی و

1. Vermicomposting Process
2. Vermicompost
3. Solid Waste Management

## ۲- کرم‌های پوسانه‌ساز

کرم‌های خاکی از قدیم به عنوان موجودات مفید توسط کشاورزان شناخته شده بودند. آن‌ها گروه بزرگی از موجودات خاکی محسوب می‌شوند که در زنجیره غذایی در جایگاه تجزیه‌کننده‌های ثانویه قرار می‌گیرند [۱]. در میان جانوران ماکروی خاک (با اندازه بزرگتر از ۱۰ میلی‌متر)، کرم‌های حلقوی از اهمیت بیشتری برخوردارند. کرم‌های حلقوی به سه رده<sup>۱</sup> پرتاران<sup>۲</sup>، کم‌تاران<sup>۳</sup> و بی‌تاران<sup>۴</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. تمامی گونه‌های رده پرتاران و بی‌تاران آبی و انگل هستند و تنها برخی از گونه‌های رده کم‌تاران را کرم‌های خاکی تشکیل می‌دهند. حدود ۱۸۰۰ گونه کرم خاکی در سراسر دنیا شناخته شده‌اند [۴]. کرم‌های خاکی نیز از منظر ناحیه فعالیت در خاک به سه دسته سطح‌زی<sup>۵</sup>، نقب‌زن<sup>۶</sup> و عمق‌زی<sup>۷</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. بیشتر کرم‌های مورد استفاده در فرایند پوسانش کرمی، سطح‌زی هستند. کرم‌های این گروه به ندرت خاک را می‌بلعند، طول عمر کوتاه، سرعت رشد و تکثیر بالا و اندازه کوچک تا متوسط دارند [۵]. بنابراین از هزاران گونه کرم خاکی تنها چند نمونه از آنها توانایی استفاده در روش پوسانش کرمی جهت تبدیل پسماندهای آلی به مواد بارز هوموسی را دارند که از مشهورترین آنها می‌توان به مواردی مانند آیزنیا فتادیا<sup>۸</sup>، آیزنیا آندری<sup>۹</sup>، لومبریکوس روبلوس<sup>۱۰</sup>، یودریلوس یوگنیایا<sup>۱۱</sup> و پریونیکیس اسکاواوتوس<sup>۱۲</sup> اشاره کرد [۶ و ۷].

## ۳- مشخصات محصول نهایی (کرم پوسانه)

کرم پوسانه یک محصول همگن با ظاهر مطلوب است. این محصول دارای هورمون‌های رشد گیاهان و آنزیم‌های سطح بالای خاک می‌باشد که می‌تواند باعث بهبود جمعیت میکروبی و نگهداری مواد مغذی برای مدت بیشتر شود. نکته مهم، نداشتن تاثیر منفی این محصول بر محیط است. سنگدان کرم‌های خاکی مانند یک خردکن کلوئیدی است که

1. Order
2. Polychaeta
3. Oligochaeta
4. Achaeta
5. Epigeic
6. Aneciqa
7. Endogeic
8. Eisenia Foetida
9. Eisenia Andrei
10. Lumbricus Rubellus
11. Eudrilus Eugeniae
12. Perionyx Excavatus

خوراک ورودی را به ذرات کمتر از دو میکرومتر تبدیل می‌کند. این افزایش سطح در دسترس، می‌تواند دلیلی برای افزایش موقعیت‌های تبادل کاتیونی و جذب بیشتر مواد مغذی جهت استفاده احتمالی گیاهان باشد [۱].

محصول نهایی حاصل از این فرایند سرشار از مواد مغذی از قبیل نیتروژن، فسفر، منیزیم، روی، کلسیم و همچنین تعداد زیادی از انواع ریزاندام‌هاست [۸]. به دلیل ایجاد و گسترش شرایط هوازای ناشی از عملکرد کرم‌ها، این فرایند و محصول آن بدون بو می‌باشند [۷]. کیفیت محصول به پارامترهایی مانند نوع سوبسترا (پسماند آلی)، هوادهی، رطوبت، pH، دما و گونه کرمی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بستگی دارد [۹].

کرم‌های خاکی در طول فرایند پوسانش کرمی سبب حذف عوامل بیماری‌زا برای انسان می‌شوند. همچنین گونه‌هایی چون سالمونلا و اشریشیاکلی توانایی ادامه حیات در پوسانه کرمی را ندارند. مهم‌ترین دلیل حذف این عوامل، بهبود شرایط هوازای در این فرایند است، زیرا بیشتر میکروب‌های بیماری‌زا برای انسان در گروه میکروب‌های بی‌هوازی قرار دارند [۴].

کرم‌های خاکی آیزنیا فتادیا بعد از دو هفته به طور قابل توجهی، تعداد کالیفرم‌ها را کاهش می‌دهند. بامخلوط کردن کرم پوسانه با بستر حاوی کالیفرم (بدون حضور کرم‌ها) و با گذشت ۶۰ روز، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در تعداد کالیفرم‌ها مشاهده نشده است. این نتیجه سبب تقویت این ایده می‌شود که ریزاندام‌های موجود در روده کرم‌ها، تاثیر اصلی را بر کاهش تعداد کالیفرم‌ها دارند [۱۰]. کاهش ۱۰۰ درصدی کالیفرم در محصول فرایند پوسانش کرمی از طریق مطالعات دیگر نیز به اثبات رسیده است [۱۱ و ۱۲].

البته بایستی دقت داشت که برای تصمیم‌گیری نهایی در خصوص اینکه یک کرم پوسانه می‌تواند به طور کاملاً ایمن مورد استفاده قرار گیرد، بایستی به دو اصل قابل قبول بودن (عدم وجود عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین مضر) و در اختیار داشتن یک رده‌بندی معتبر (مشخص بودن خواص فیزیکی، زیستی و شیمیایی) توجه کرد [۱۳].

## ۴- کاربردهای کرم پوسانه

### ۴-۱ حذف هیدروکربن‌ها و عناصر فلزی سنگین

محتوای هیومیک اسید موجود در کرم پوسانه (به دلیل داشتن

دارد [۱۸ و ۱۷]. حفره‌های ایجاد شده توسط کرم‌های خاکی توانایی جذب بسیاری از آلاینده‌های آلی آبریز را از محیط اطراف خود دارند، بنابراین می‌توانند برای حذف هیدروکربن‌های حلقوی آروماتیک به کار روند. میزان حذف آلاینده‌های حلقوی مانند فنانترن، آنتراسن و بنزوپیرین پس از اختلاط خاک آلوده با کرم پوسانه و در حضور کرم‌های خاکی، به ترتیب، ۹۹، ۹۱ و ۱۶ درصد اندازه‌گیری شد. این نتایج برای نمونه شاهد (بدون اختلاط با کرم پوسانه)، به ترتیب، ۹۵، ۴۲ و ۳ درصد بود. اگرچه استفاده از کرم‌های خاکی در مکان‌های آلوده، یک روش همسو با حفظ محیط‌زیست برای حذف هیدروکربن‌ها از خاک می‌باشد، ولی هزینه تامین مقدار زیادی از این موجودات و فراهم آوردن شرایط مطلوب نگهداری مانند محتوی رطوبت و غذای مناسب از محدودیت‌های این روش است [۱۹].

#### ۴-۲ کاهش نسبت کربن به نیتروژن و تثبیت مواد آلی بستر

دو عنصر کربن و نیتروژن در تجزیه زیستی مواد بسیار موثرند و تنظیم نسبت آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. اگر این نسبت بالا باشد، ریزاندام‌ها برای تامین نیتروژن مورد نیاز خود وارد مرحله خودخوری<sup>۴</sup> شده و پیکر مرده دیگر موجودات را مصرف می‌کنند. انرژی لازم برای تامین نیتروژن به روش مذکور، سبب مصرف کربن می‌شود تا با کاهش این عنصر، حالت تعادل برقرار گردد. در نتیجه سرعت تجزیه مواد آلی در این حالت، کاهش می‌یابد. در نسبت‌های بالاتر از ۴۰، نیتروژن به عامل محدودکننده رشد تبدیل می‌شود و در نسبت بالاتر از ۸۰، تهیه پوسانه به روش رایج (گرمادوست) بسیار سخت خواهد بود. البته توانایی روش پوشانش کرمی در برخورد با بسترهایی که نسبت بالاتری از این پارامتر را دارند، بسیار بهتر ارزیابی شده است [۲۰]. به طور کلی می‌توان با افزودن مواد سلولوزی نظیر بقایای گیاهی سبب افزایش و با استفاده از موادی مانند کود حیوانی و یا لجن سبب کاهش این نسبت شد. کود گاوی را می‌توان به عنوان بهترین ماده بستری برای فرایند پوشانش کرمی در نظر گرفت [۹].

نسبت کربن به نیتروژن کمتر از ۲۰ برای محصول پوسانه نهایی قابل قبول است ولی اگر به کمتر از ۱۵ برسد، بسیار مطلوب است. از نقطه نظر کاربرد پوسانه در کشاورزی، در نسبت‌های بالاتر کربن به نیتروژن، احتمال عدم انتقال نیتروژن به خاک (به صورت موقت) وجود دارد و

گروه‌هایی با بار منفی<sup>۱</sup> می‌تواند به عنوان یک جاذب بسیار خوب برای جداسازی انواع یون‌های فلزی مورد استفاده قرار گیرد. این ماده به دلیل ظرفیت بالای جذب به عنوان یک گزینه مطرح در کنار جاذب‌های تجاری محسوب می‌گردد [۱۴].

اگرچه در طی فرایند پوسانش کرمی، مقدار کلی فلزات سنگین در محصول افزایش می‌یابد، ولی مقدار قابل دسترسی این فلزات برای موجودات زنده تا حدود زیادی کاهش خواهد یافت (از محیط خارج و وارد بافت‌های بدن و مدفوع کرم‌ها می‌شود). حتی این موضوع سبب می‌شود که در برخی از شرایط محیطی، و به دلیل فقدان یک مکانیسم موثر (از نظر شیمیایی، زیستی و یا فیزیکی) برای حذف این مواد، تجمع زیستی<sup>۲</sup> در بدن کرم‌های خاکی تحقق یابد. میزان مرگ و میر و تولیدمثل این موجودات می‌تواند به عنوان یک شاخص مورد اطمینان برای تعیین میزان آلاینده بودن خاک به کار رود. این روش، علی‌رغم صحت بالا برای تعیین آلاینده‌های خاکی، بسیار وقت‌گیر است [۱].

برای بررسی تاثیر مواد سمی، پارامترهایی مانند تغییرات وزن و نرخ تولیدمثل موفق (تاثیر همزمان میزان تولید پيله، درصد تبدیل موفق هر پيله به نوزاد و تعداد نوزاد متولد شده از هر پيله) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. زیرا مواد سمی لزوماً تولید پيله را تهدید نمی‌کنند ولی می‌توانند سبب صدمه به سلول‌های اسپرم، کاهش باروری و مشکلات دوران جنینی شوند [۱۵].

محتوای هیومیک و فالویک موجود در کرم پوسانه، ظرفیت بالایی جهت واکنش با یون‌های فلزی و مواد آلی و معدنی دارند که منجر به تشکیل کمپلکس‌های پیچیده، محلول و نامحلول با پایداری‌های متفاوت می‌شوند. فلزهای چندظرفیتی، توانایی تشکیل کمپلکس‌های قوی با مواد هیومیک را دارند. عواملی چون درجه اکسیداسیون فلز، عدد کوئوردیناسیون و تاثیر محیط اطراف بر اتم مرکزی بر پایداری کمپلکس تشکیل شده، تاثیرگذار هستند. نتایج مطالعات بر توانایی کرم پوسانه برای حذف یون‌هایی مانند سرب، نیکل و کرم، بسیار بالا (در حدود ۹۵ درصد) و برای فلزی چون وانادیم در حد متوسط (۵۰ درصد) دلالت دارد. عواملی مانند pH، مقدار کرم پوسانه مصرفی و مدت اختلاط، بر بازدهی حذف، تاثیرگذار می‌باشند [۱۶].

تحقیقات انجام گرفته بر روی خاک‌های آلوده، نشان می‌دهد که کرم پوسانه توانایی کاهش تعداد زیادی از ترکیبات حلقوی آروماتیک<sup>۳</sup> را

1. Carboxylic Acids, Phenolic and Alcoholic Hydroxyls
2. Bioconcentration
3. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)

4. Endogenous Phase

باعث افزایش فعالیت آنزیم نیتروژناز می‌شود که تاثیر آن بر بهبود کیفیت تولید برخی میوه‌ها مانند موز اثبات شده است [۱]. فعالیت آنزیم دهیدروژناز<sup>۲</sup> به عنوان معرف میزان فعالیت کل میکروبی در خاک و دیگر سیستم‌های زیستی شناخته شده است. در تحقیقی که نقش کرم‌های خاکی بر تثبیت لجن، مورد بررسی قرار گرفته است، با اندازه‌گیری این پارامتر، مشخص شد که فعالیت میکروبی با گذشت زمان، افزایش، ولی در انتهای دوره شش ماهه آزمایش، کاهش می‌یابد [۲۲].

#### ۳-۴ تصفیه و تثبیت لجن

مطالعات مختلفی بر روی پتانسیل استفاده از کرم‌های خاکی جهت تثبیت و تصفیه لجن صنعتی و شهری انجام گرفته است که نشان می‌دهند فرایند پوسانش کرمی، توانایی کافی جهت تبدیل لجن به مواد بارز را دارد و می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین مناسب برای روش‌های رایج مانند دفن در خاکچال و سوزاندن در زباله‌سوز به کار رود [۲۲ و ۱۲]. در سال‌های اخیر، تمایل به استفاده از فناوری پوسانش کرمی به عنوان یک روش موثر و کم‌هزینه جهت مدیریت پسماندهای آلی، همانند لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های صنایع کاغذ و لبنیات، روبه‌رشد است [۲۳ و ۸].

لجن تصفیه فاضلاب کارخانه تولید نیشکر، منبعی سرشار از مواد مغذی، مواد آلی، پروتئین، ریزاندام‌ها و آنزیم‌هاست و می‌تواند به عنوان یک کود آلی مغذی به کار رود ولی باتوجه به بوی نامطبوع، هزینه‌های حمل و نقل و نگرانی در رابطه با پوسته کردن زمین، کشاورزان تمایلی به استفاده مستقیم از این ماده را ندارند. روش‌های رایج پوسانش برای این لجن حدود شش ماه طول می‌کشد، بوی نامطبوع آن را به طور کامل برطرف نمی‌کند، مواد مغذی آن را کاهش و تراکم آن را افزایش می‌دهد. در همین راستا استفاده از کرم‌های آیزنیا فتادیا به همراه کود گاوی برای تثبیت این نوع لجن مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج، همانند مطالعات قبلی، افزایش نیتروژن و فسفر و کاهش نسبت کربن به نیتروژن را نشان داده‌اند [۲۴].

سمیت لجن خالص بی‌هوازی و تازه حاصل از عملیات تصفیه فاضلاب شهری، سبب مرگ و میر کرم‌ها می‌شود. زمانی در حدود ۱۰ هفته برای از بین رفتن سمیت بستر مشاهده شده است. در مواردی که این

به همین منظور پیشنهاد شده است که در این زمان، موقتاً از کودهای نیتروژن دار استفاده گردد. ریزاندام‌های موجود در روده کرم‌های خاکی از مخاط ترشح شده توسط جداره داخلی، به عنوان یک منبع انرژی استفاده می‌کنند و سبب تثبیت مقداری از نیتروژن هوا برای متابولیسم کرم‌ها و همچنین منبعی جهت رشد گیاهان می‌شوند. این مساله سبب افزایش میزان نیتروژن محصول نیز می‌شود [۱].

مقدار کربن آلی در فرایند پوسانش کرمی نسبت به پوسانش معمولی، کاهش بیشتری دارد. این کاهش در ابتدای عملیات سریع‌تر و در بازه‌های انتهایی با سرعت کمتری صورت می‌گیرد [۷]. با استفاده از پسماندهای کارخانه‌های قندوشکر در فرایند پوسانش کرمی، پس از گذشت ۴۰ روز نسبت کربن به نیتروژن تا حدود ۱۰ کاهش یافت. در طول فرایند پوسانش، انواع مختلف کربن (همانند آریل، آلکیل و کربوکسیل) به صورت یکنواخت مورد تجزیه قرار گرفتند [۲۱].

#### ۳-۴ افزایش فعالیت میکروبی و آنزیمی

اگرچه میکروب‌ها مسئولیت اصلی در تجزیه زیست‌شیمیایی پسماندهای آلی را برعهده دارند، ولی باید توجه داشت که کرم‌ها به عنوان یک عامل محرک مهم در این فرایند ایفای نقش می‌کنند. کرم‌ها به طور غیرمستقیم و با تغییر خواص شیمیایی سوبسترا، تکثیر و تشکیل کولونی‌های میکروبی را بهبود می‌بخشند و در نتیجه نرخ تبدیل به مواد معدنی<sup>۱</sup> در بستر را افزایش می‌دهند. سیال موجود در بدن و ماده مخاطی ترشح شده از کرم‌ها، حاوی مقادیر زیادی مواد آلی، آمونیوم و اوره است. این ترکیب، سبب رشد جمعیت میکروبی و بهبود فعالیت آن‌ها می‌شود [۷].

جمعیت و فعالیت باکتری‌ها بعد از گذشتن از روده کرم‌ها، افزایش می‌یابد. در واقع مخاط ترشح شده از روده کرم‌ها، به صورت گزینشی، گونه‌های خاصی از میکروب‌ها را تحریک می‌کند. ریزاندام‌های موجود در روده کرم‌ها و همچنین کرم پوسانه، توانایی هضم محدوده گسترده‌تری از مواد آلی و پلی ساکاریدها شامل سلولوز، شکر، نشاسته و برخی از اسیدها را دارند [۸].

فعالیت آنزیم پروکسیداز که از عملکرد بی‌مهرگانی مانند کرم خاکی تولید می‌شود، سبب پلیمریزاسیون ترکیبات آروماتیک شده و افزایش مواد هیومیک را به دنبال دارد. علاوه بر این، استفاده از کرم پوسانه

2. Dehydrogenase

1. Mineralization

لجن با کاغذ (جامدات خشک ۱۵ درصد) مخلوط شود، به دلیل بهبود شرایط هوازی، این میزان به هشت هفته کاهش می‌یابد. کرم آیزنیا فتادیا توانایی کاهش ۲۵ درصدی مواد جامد فرار لجن بی‌هوازی و ۱۷ درصدی مخلوط لجن با کاغذ را از خود نشان داده است [۲۵].

#### ۴-۴ مقایسه با روش پوسانش معمولی

روش پوسانش به طور کلی منطبق‌ترین روش با محیط‌زیست جهت مدیریت پسماندهای جامد است و از همین رو گسترش آن، امری ضروری محسوب می‌شود. اگرچه در این مطالعه مروری، مزایایی در رابطه با روش پوسانش کرمی مطرح شده است ولی نبایستی این موضوع را ضعف روش‌های رایج پوسانش دانست. از طرف دیگر ایجاد شرایط مناسب در روش پوسانش کرمی مشکل‌تر است و خود این موضوع شاید مهم‌ترین ضعف این روش در مقیاس‌های بزرگ باشد. به طور کلی، مدت لازم برای رسیدن به انتهای عملیات (رسیدن به یک محصول تیره و با ساختار پودری یکنواخت) برای فرایند پوسانش کرمی در حدود نصف همین زمان برای پوسانش معمولی است و این در صورتی است که بازدهی کلی تبدیل، کاهش چشمگیری پیدا نمی‌کند. pH کرم پوسانه در ناحیه خنثی و متمایل به قلیایی هست، در حالی که این پارامتر برای پوسانه معمولی در محدودهٔ اسیدی است. مقادیر فسفر و پتاسیم موجود در کرم پوسانه نیز به مراتب بیشتر از پوسانهٔ معمولی است. استفاده از خوراک مشخص که شامل مواد غنی است به همراه تجزیه آن در طی گذشتن از روده، خرد شدن زیستی در سنگدان، مخلوط شدن با آنزیم‌ها از دلایل احتمالی افزایش پتاسیم به حساب می‌آید. در مورد فلزات نادرمانند منگنز، روی و مس، افزایش غلظت در کرم پوسانه نسبت به پوسانه معمولی مشاهده شده است [۱].

در فرایند پوسانش، تجزیه مواد آلی به وسیله ریزاندام‌ها و تحت شرایط کنترل شده، سرعت می‌گیرد و در پوسانش کرمی این سرعت به دلیل وجود کرم‌ها در کنار سایر ریزاندام‌ها، بهبود می‌یابد. این هر دو فرایند، تاثیر بسزایی در فعال کردن جمعیت میکروبی دارند، اما بازدهی پوسانش کرمی جهت تولید گونه‌های متنوع‌تر و عملکرد بهتر باکتری‌ها بالاتر است [۲۶].

فرایند پوسانش کرمی، در مقایسه با پوسانش معمولی در اغلب موارد، حجم بیشتری از مواد را کاهش داده و سبب تقلیل اثر مواد سمی بر

رشد گیاهان<sup>۱</sup> می‌شود [۷]. حضور کرم‌های خاکی سبب تولید اسید هیومیک می‌شود که فرایند تجزیه مواد آلی را بهبود می‌بخشد. نکته قابل توجه انجام این فرایند در محدوده دمایی میانه‌دوست است و برخلاف فرایند پوسانش معمولی، نیازی به دستیابی به دمای بالا (گرمادوست) برای از بین بردن عوامل بیماری‌زا نیست [۹].

فرایند پوسانش کرمی یکی از روش‌های جدید برای تثبیت مواد آلی است که در مقایسه با روش‌های معمول، در عین حال که سرعت تجزیه مواد را افزایش می‌دهد، میزان مواد مغذی را از بین نمی‌برد. به همین منظور این روش می‌تواند برای بهزیستی خاک، ایده آل باشد [۲۷، ۲۲ و ۱۷].

#### ۵- وضعیت فناوری پوسانش کرمی در کشور

صرف‌نظر از شرایط دما و رطوبت بهینه جهت زندگی و عملکرد کرم‌های پوسانه‌ساز، در اکثر نقاط کشور استعداد استفاده از این کرم‌ها جهت تبدیل و تثبیت پسماندهای آلی و غذایی به مواد باارزش و بی‌ضرر برای محیط‌زیست وجود دارد. نکته مهم استفاده از این موجودات در منازل و واحدهای اداری است که می‌تواند نقش موثری را در بازیافت زباله‌های تر در مبدأ ایفا کند. اگرچه در بسیاری از کشورها، داشتن یک محفظه نگهداری کرم به موضوعی عادی تبدیل شده است، متأسفانه هنوز اطلاعات اکثر افراد در ایران در رابطه با این موضوع، اندک است. در این میان، نقش سازمان‌های مرتبط مانند مدیریت پسماند شهرداری و سازمان حفاظت محیط‌زیست در گسترش فرهنگ استفاده از این موجودات مفید بسیار مهم است. در بخش خصوصی نیز در حال حاضر به جز چند شرکت که اکثراً در تهران، شیراز و مشهد مستقر هستند، فعالیت گسترده‌ای در راستای تولید کرم پوسانه و پرورش کرم صورت نمی‌گیرد. قیمت هر کیلوگرم کرم پوسانه‌ساز در ایران در حدود ۵۰ هزار تومان و هر کیلوگرم محصول کرم پوسانه در حدود ۵۰۰ تومان است که در مقایسه با قیمت بازار جهانی (صرف‌نظر از هزینه حمل و نقل)، تقریباً یکسان است.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر روش پوسانش کرمی به عنوان یک فرایند منطبق با محیط‌زیست و یک گزینهٔ موثر جهت مدیریت پسماندهای جامد در کنار روش‌های رایجی چون سوزاندن در زباله‌سوز و دفن در خاکچال

1. Phytotoxicity

- earthworm *Eudrilus eugeniae* Kinberg", *Ecological Engineering*, 32, 206–214, (2008).
- [8] Yasir, M., Z. Aslam, S.W. Kim, S.W. Lee, C.K. Jeon and Y.R. Chung, "Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity", *Bioresource Technology*, 100, 4396–4403, (2009).
- [9] Pramanik, P., G.K. Ghosh, P.K. Ghosal and P. Banik, "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, 2485–2494, (2007).
- [10] Monroy, F., M. Aira, J. Domínguez, "Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry", *Science of the Total Environment*, 407, 5411–5416, (2009).
- [11] Mainoo, N.O.K., S. Barrington, J.K. Whalen and L. Sampedro, "Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to Accra, Ghana", *Bioresource Technology*, 100, 5872–5875, (2009).
- [12] Khwairakpam, M., R. Bhargava, "Vermitechnology for sewage sludge recycling, *Journal of Hazardous Materials*", 161, 948–954, (2009).
- [13] Campitelli, P., S. Ceppi, "Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 90, 64–71, (2008).
- [14] Bianchin, J.N., E. Martendal, R. Mior, V.N. Alves, C.S.T. Araújo, N.M. Melo Coelho and E. Carasek, "Development of a flow system for the determination of cadmium in fuel alcohol using vermicompost as biosorbent and flame atomic absorption spectrometry", *Talanta*, 78, 333–336, (2009).
- [15] Maleri, R., S.A. Reinecke, J. Mesjasz-Przybyłowicz and A.J. Reinecke, "Growth and Reproduction of Earthworms in Ultramafic Soils", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 363–370, (2007).
- [16] Urdaneta, C., L.M. Marcó Parra, S. Matute, M.A. Garaboto, H. Barros and C. Vázquez, "Evaluation of vermicompost as bioadsorbent substrate of Pb, Ni, V and Cr for wastewaters remediation using Total Reflection X-ray Fluorescence", *Spectrochimica Acta*, 63, 1455–1460 (2008).
- [17] Ivarez-Bernal, D.A., E.L. Garcí'a-Dí'az, S.M. Contreras-Ramos and L. Dendooven, "Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil added with manure or vermicompost", *Chemosphere*, 65, 1642–1651, (2006).
- [18] Gennaro, P.D., B. Moreno, E. Annoni, S. García-Rodríguez, G. Bestetti and E. Benitez, "Dynamic changes in bacterial community structure and in naphthalene dioxygenase expression in vermicompost-amended PAH-contaminated soils", *Journal of Hazardous Materials*, Article in press, (2009).
- مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این روش در منازل و واحدهای کوچک می‌تواند میزان زباله تحویلی به سامانه مدیریت شهری را کاهش دهد. در کنار این مزیت مهم، مطالعات مختلفی نیز در مورد کاربردهای محصول این روش (کرم پوسانه) صورت گرفته است که در نوع خود بسیار جالب توجه است.
- استفاده از آن به عنوان یک جاذب طبیعی برای حذف فلزات و هیدروکربن‌های سنگین، مؤثر در افزایش حاصلخیزی خاک، دارا بودن نسبت بهینه کربن به نیتروژن، تامین‌کننده عناصر مغذی و هورمون‌های رشد جهت استفاده گیاهان، بهبوددهنده فعالیت آنزیمی و میکروبی خاک و عامل تثبیت‌کننده لجن تصفیه‌خانه فاضلاب، از جمله کاربردهای مهم کرم پوسانه محسوب می‌گردد.

#### ۷- تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران کشور (INSF) که با حمایت مالی از این طرح موجبات اجرای آن را فراهم آوردند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

#### مراجع

- [1] Padmavathiamma, P.K., L.Y. Li and U.R. Kumari, "An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement", *Bioresource Technology*, 99, 1672–1681, (2008).
- [2] Gennaro, P.D., B. Moreno, E. Annoni, S. García-Rodríguez, G. Bestetti and E. Benitez, "Dynamic changes in bacterial community structure and in naphthalene dioxygenase expression in vermicompost-amended PAH-contaminated soils", *Journal of Hazardous Materials*, Article in press, (2009).
- [3] Mukesh Doble and Anil Kumar, "Biotreatment of Industrial Effluents", Elsevier Ltd, (2005).
- [۴] عبدلی، محمدعلی و محمدرضا روشنی، «ورمی کمپوست (طراحی، ساخت و اجرا)»، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، (۱۳۸۶).
- [۵] علیخانی، حسینعلی و غلامرضا ثواقبی، «تولید ورمی کمپوست برای کشاورزی پایدار»، انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، (۱۳۸۵).
- [6] Edwards, C.A., "Earthworm ecology", 2<sup>nd</sup> edition, CRC press, (2004).
- [7] Suthar, S., "Bioconversion of post harvest crop residues and cattle shed manure into value-added products using

- [19] Contreras-Ramos, S.M., D.A. Ivarez-Bernal and L. Dendooven, "Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (*Eisenia fetida*)", *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 1954–1959, (2008).
- [20] Fatehi, Mohamad.H and J. Shayegan, *Vermicomposting of Organic Solid Waste with the E. Fetida in Different Bedding Materials*, The 2010 International Conference on Chemical Engineering and Applications, Singapore, Feb. 26-28, 2010, (2010).
- [21] Sen, B., T.S. Chandra, "Chemolytic and solid-state spectroscopic evaluation of organic matter transformation during vermicomposting of sugar industry wastes". *Bioresource Technology*, 98, 1680–1683, (2007).
- [22] Kaushik, P., V.K. Garg, "Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia foetida*", *Bioresource Technology*, 90, 311–316, (2003).
- [23] Elvira, C., L. Sampedro, J. Dominguez and S. Mato, "Vermicomposting of wastewater sludge from paper-pulp industry with nitrogen rich materials". *Soil Biology Biochemical*, 29, 759–762, (1997).
- [24] Sangwan, P., C.P. Kaushik and V.K. Garg, "Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients", *Bioresource Technology*, 99, 8699–8704, (2008).
- [۲۵] عبدلی، محمدعلی، علی اکبر عظیمی، قاسمعلی عمرانی، ایرج اله دادی و محمدرضا روشنی. «اثرات جامدات خشک و مواد حجم زا بر تثبیت لجن فاضلاب شهری با کرم خاکی آیزنیا فتیدا». مجله آب و فاضلاب، سال ۲۰، شماره ۲، (۱۳۸۸).
- [26] Vivas, A., B. Moreno, S. Garcia-Rodriguez and E. Benitez, "Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste", *Bioresource Technology*, 100, 1319–1326, (2009).
- [27] Matos, G.D., M.A.Z. Arruda, "Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents", *Process Biochemistry*, 39, 81-88 (2003).