

کرم خاکی، کرم پالایی و سایر فناوری‌ها

مهدی ضرابی*؛ سیده نازیلا جعفری فرجام^۱، اشرف السادات حاتمیان زارمی^۱

چکیده

عمر تکاملی کرم‌های خاکی به ۶۰۰ میلیون سال پیش برمی‌گردد. داروین اولین مطالعات را روی این جانوران که بی‌مهرگان غالب خاک بوده و ۶۰ تا ۸۰٪ توده زیستی خاک را تشکیل می‌دهند، انجام داد. تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با بلع مداوم آن ساده‌ترین کار شناخته شده این جانوران است. اما امروزه فناوری‌های پیچیده‌ای از کرم‌های خاکی کشف شده است. تولید محصولات فناورانه‌ای چون داروهای حساس، مواد آرایشی و بهداشتی طبیعی، پروتئین پایه خوراک حیوانات، کودهای بیو ارگانیک (ورمی‌کمپوست) و مواد حشره‌کش از این جمله‌اند. همچنین از این جانوران برای فرآوری پسماندهای فسادپذیر (آلی)، حذف انواع مواد آلاینده خطرناک خاک نظیر فلزات سنگین، آلاینده‌های نفتی و آفت‌کش‌ها و تصفیه آب با فناوری کرم‌پالایی استفاده می‌شود. این مقاله به بررسی این فناوری‌ها پرداخته است.

واژگان کلیدی: کرم خاکی، کرم پالایی، زیست دارو، ورمی‌کمپوست، آرایشی بهداشتی.

*عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن ۰۹۳۰۴۲۰۸۶، نمابر ۰۸۸۴۹۷۳۳۴، آدرس الکترونیکی mzarabi@ut.ac.ir

^۱ گروه مهندسی علوم زیستی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

مقدمه

بسیاری از مردم کرم‌های خاکی را موجوداتی صرفاً لزج، زشت، نابینا، ناشنوا و ناخوشایند می‌شناسند که استفاده‌ای جز طعمه ماهی ندارند. کرم‌های خاکی اساس حیات خاکند به طوری که ۶۰ تا ۸۰ درصد توده زیستی آن را تشکیل می‌دهند. آنها مواد سر راه خود را در حین حرکت می‌بلعند و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را متأثر می‌کنند [۱،۲]. شناخت بشر از این جانوران برای سالیان دراز پیرامون ارزش آنها در تقویت خاک و رشد بهتر گیاهان بوده است؛ اما امروزه نگاه محققین تغییر زیادی پیدا کرده به طوری که پژوهش‌های مختلف تولید محصولات فناورانه و انجام خدمات فناورانه را در حوزه صنعت و محیط‌زیست امکان‌پذیر نموده است. از جمله این محصولات می‌توان به کود پایه بیوارگانیک^۱ یا ورمی‌کمپوست، محصولات دارویی، آرایشی بهداشتی، غذای حیوان و انسان، آفت‌کش‌های طبیعی و آنتی‌باکتری‌ها اشاره کرد [۳،۴]. خدمات مبتنی بر فناوری‌های پیچیده‌ای نظیر فرآوری زباله‌های تر، تصفیه فاضلاب و پالایش آلاینده‌های شیمیایی خاک و آب با استفاده از کرم‌های خاکی نیز کاربرد وسیع یافته است به طوری که دانشی با عنوان کرم پالایی (Vermiremediation) شکل گرفته است [۵].

پیشینه موضوع

ارسطو (۳۸۴-۳۲۲ قبل از میلاد) اولین کسی بود که به نقش کرم خاکی در تغییر و تبدیل خاک توجه نمود و آن‌ها را "روده‌های زمین" نامید. "کلئوپاترا"^۲ فرعون مصر باستان (۳۰-۶۹ قبل از میلاد) با مقدس شمردن کرم خاکی و وضع قوانین در مورد آن بر ارزش این موجودات تأکید کرد [۶]. چارلز داروین (۱۸۸۲-۱۸۰۹) تجربیات چهل و چهار ساله خود روی کرم‌های خاکی را در آخرین کتابش با عنوان "تشکیل خاک کشاورزی از طریق فعالیت کرم خاکی با مشاهده عادات آنها"^۳ بیان نمود. داروین جزو اولین کسانی بود که به

اهمیت کرم خاکی پی برد و با دید علمی به تحقیق در موردشان پرداخت [۲]. اما اولین گزارش علمی به دوران پس از جنگ جهانی دوم و استفاده از کرم خاکی به منظور تولید ورمی‌کمپوست بازمی‌گردد. در دهه ۱۹۷۰ به علت مشکلات زیست‌محیطی توجه به پدیده کرم خاکی در کاهش دفع زباله و بهبود خاک در ایالات متحده، بریتانیا، فرانسه و ژاپن آغاز شد [۷]. استفاده از کرم‌های خاکی برای تصفیه فاضلاب با روش هوازی اولین بار در سال ۱۹۹۸ در شیلی ثبت اختراع شد [۸]. کاربرد کرم‌های خاکی در زیست پالایی با حادثه انفجار کارخانه مواد شیمیایی Seveso ایتالیا در سال ۱۹۷۶ و آلودگی وسیع منطقه با مواد خطرناک سمی مانند TCDD (2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin) شکل عملیاتی به خود گرفت. در این حادثه همه جانوران منطقه به جز کرم‌های خاکی تلف شدند ولی کرم‌های خاکی TCDD موجود در خاک را خورده و اگرچه تجمع زیستی دیوکسین در بافت‌های آن‌ها ۱۴/۵ برابر میزان عادی بود اما زنده ماندند. این پدیده یک الهام زیستی برای تولد فناوری کرم پالایی بود [۹]. در سال‌های اخیر تحقیقات انجام‌شده در اکثر کشورها برای شناسایی، جداسازی و سنتز ترکیبات زیستی فعال کرم‌های خاکی با کاربردهایی نظیر دارویی و آرایشی بهداشتی، آفت‌کش‌ها، ضد باکتری‌ها انقلابی در پژوهش و فناوری‌های مرتبط با کرم خاکی ایجاد کرده است [۴].

تنوع و ساختار بدن کرم‌های خاکی

پیدایش کرم‌های خاکی روی کره زمین به حدود ۶۰۰ میلیون سال پیش برمی‌گردد. کرم‌های خاکی متعلق به رده کم‌تاران Oligochaeta از شاخه کرم‌های حلقوی هستند که بیش از ۸۰۰۰ گونه از ۸۰۰ جنس دارند. شکل ظاهری این موجودات از آن زمان تا به حال تغییر چندانی پیدا نکرده و هم‌اکنون نیز بین گونه‌های مختلف آنها از این نظر تفاوت قابل‌توجهی به چشم نمی‌خورد. آنها در بسیاری از مناطق جهان به جز مناطق با آب‌وهوای شدید مانند بیابان‌ها و مناطق پوشیده از برف و یخ

^۱ Organic از ریشه organikos به معنی حیات می‌باشد که اصطلاحاً به مواد طبیعی یا برگرفته از مواد طبیعی گفته می‌شود.

^۲ Intestines of the earth

^۳ Cleopatra

^۴ The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits

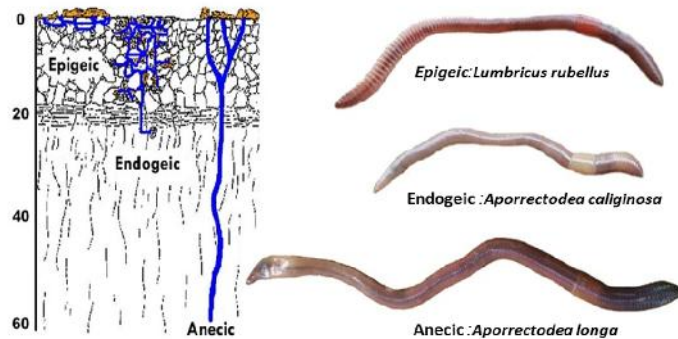
دائمی یافت می‌شوند. جانورانی دوجنسی یا هرمافرودیت می‌باشند و از همین رو تکثیر آنها آسان است. در عین حال داشتن اندامی به نام کمر بند تناسلی (کلیتلوم) نشانی از بلوغ آنهاست و می‌توانند جفت‌گیری نمایند [۱۰-۱۲].

کرم‌های خاکی از نظر اکولوژیکی در سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. گونه‌های سطح‌زی که از مواد آلی سطح خاک استفاده می‌کنند، گونه‌های عمق‌زی که بیشتر وقت خود را در لایه‌های معدنی خاک و در حال نقب زدن هستند و گونه‌های میان‌زی که اغلب به صورت عمودی دالان‌هایی حفر می‌کنند. کرم‌های خاکی سطح‌زی قدرت انتخاب بیشتری برای تأمین مواد غذایی نسبت به نوع عمق‌زی که فقط خاک و مانند آن را استفاده می‌کند، دارند و عمده محصولات و خدمات فناورانه با استفاده از این گونه‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱) [۱۳، ۱۴].

اغلب کرم‌تاران رفتگران طبیعت هستند. کرم‌های خاکی به طور عمده از مواد آلی پوسیده، تکه‌های برگ و پوشش گیاهی و باقیمانده حیوانی تغذیه و مواد مغذی آن‌ها را هنگام عبور از روده جذب می‌کنند. این روش تغذیه نیاز به اندام‌های حسی

تخصصی و توسعه یافته ندارد. دستگاه گوارش این موجود به تعدادی منطقه با عملکرد خاص تقسیم شده است. مواد غذایی با ترشحات دهانی مرطوب شده و با کمک حلق عضلانی به داخل کشیده و بلعیده می‌شوند. سطح بالای کلسیم خاک بلعیده شده همراه غذا باعث افزایش سطح کلسیم خون می‌شود. غدد کلسیفرس که سه ناحیه متورم موجود در مری است، با ترشح یون کلسیم به مری و روده باعث کاهش غلظت آن در خون می‌شود. غدد کلسیفرس همچنین وظیفه تنظیم تعادل اسید-باز در مایعات بدن را به عهده دارد. مواد غذایی قبل از ورود به سنگدان عضلانی از چینه‌دان^۵ با دیواره‌ی نازک که به نظر می‌رسد تنها یک عضو ذخیره‌سازی است، می‌گذرند. با کمک سنگریزه‌های بلعیده شده توسط کرم در سنگدان غذا به طور کامل صاف و یکدست شده و به قطعات کوچک قابل جذب تبدیل می‌شوند. هضم و جذب در روده رخ می‌دهد. دیواره روده مخصوصاً در بخش پشتی دارای چین‌خوردگی‌های زیادی است که سبب افزایش سطح جذب مواد می‌شود. اطراف روده و رگ‌های پشتی و چین‌خوردگی‌ها لایه‌ای زردرنگ از بافت‌های chloragogen وجود دارد

وظیفه این بافت تولید گلیکوژن و چربی و عملکردش تا حدودی مشابه سلول‌های کبدی است [۱۵-۱۷]. افزون بر آب و موکوس^۶ در روده کرم خاکی پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها، مواد آلی و معدنی، اسیدهای آمینه، باکتری‌های فراوان، پروتوزوآها^۷ و میکروقارچ‌ها وجود دارند، روده کرم خاکی شرایط مناسبی برای رشد و فعالیت میکروبی را دارا می‌باشد لذا می‌توان گفت که یک بیوراکتور است [۱۸].



شکل ۱: گونه‌های مختلف کرم خاکی بر اساس خصوصیات اکولوژیکی (وبگاه ۱)

¹ Epigeic
² Endogeic
³ Anecic
⁴ pharynx

⁵ Calciferous glands
⁶ esophagus
⁷ crop

^۸ ماده‌ای که غشاهای مخاطی را پوشانده و از حالتی لغزنده برخوردار است و معمولاً توسط غده‌های مخاطی ترشح می‌شود.
^۹ پروتوزوآ بیشتر جانوران تک یاخته ای میکروسکوپی هستند.

کاربردهای کرم خاکی در صنعت و محیط زیست

وجود کرم های خاکی یک مزیت بزرگ برای بسیاری از کشاورزان است که به بهبود خواص فیزیکی خاک کمک می کنند. مطالعات انجام شده توانایی کرم های خاکی در تسهیل اختلاط خاک و تجزیه مواد آلی که اهمیت ویژه ای در سیستم کشاورزی دارند را نشان می دهد. افزایش تخلخل خاک، کاهش تراکم ذرات خاک، افزایش هوادهی در خاک به وسیله دالان های حفر شده در هنگام نقب زدن و تحریک فرایند معدنی کردن باقیمانده نیتروژن در خاک که مورد استفاده گیاهان است از جمله تأثیرات مثبت کرم های خاکی است. نقش کرم خاکی در تولید ورمی کمپوست به دو بخش فیزیکی و بیوشیمیایی تقسیم می شود. کرم خاکی مواد زائد را از طریق فرایند مکانیکی خرد کرده و درون دستگاه گوارش خود به آن موکوس اضافه کرده و آن را به شکل مایع تبدیل می کند، در نتیجه سطح فعالیت آنزیمی افزایش می یابد. تجزیه بیوشیمیایی به وسیله آنزیم های درونی تولید شده در روده و آنزیم های تولید شده به وسیله فلور همزیست روده انجام می شود.

محصولات و خدمات فناورانه با منشأ کرم خاکی

با شناخت توانایی های این جانور دانشمندان به بررسی و ساخت محصولات فناورانه و نیز خدمات فناورانه پرداخته اند که در زیر شرح داده شده است.

الف) محصولات:

۱- ترکیبات دارویی:

تحقیقات جدید نشان داده که لکوسیت های (گلبول های سفید) کرم خاکی توانایی تشخیص سلول های سرطانی به عنوان سلول خارجی و از بین بردن آنها را دارند. پپتید لومبروسین^۱ جدا شده از *Lumbricus terrestris* توسط دانشمندان ژاپنی توانایی مهار تومورهای سرطان سینه در موش ها را نشان داده است.

گروهی از آنزیم های لومبروکیناز^۲ هم توانایی مقابله با سرطان را دارند [۱۹]. دیگر آنزیم ارزشمند استخراج شده از کرم ها کلاژناز است که در درمان بیماری های نوع ترومبوز (لخته شدن خون در رگ ها) مفید است. این آنزیم می تواند ماریچ سه تایی کلاژن^۳ را بشکافد. از این توانایی منحصربه فرد می توان برای برش پوشش بیرونی قوی ترومبوزهای قدیمی استفاده کرد. توانایی دیگر این دو آنزیم ورود به ترومبوز، حل نمودن آن، باز کردن رگ و اکسیژن رسانی مجدد است [۲۰].

برخی اسیدهای چرب جدا شده از کرم خاکی در پزشکی مدرن بسیار ارزشمند هستند. اولئیکا اسید یک امگا-۹ شباع نشده است که دارای ارزش پزشکی بالایی در جلوگیری از حمله قلبی، تصلب شرایین و پیشگیری از سرطان می باشد. لینولئیک اسید کرم خاکی ارزش دارویی فراوانی دارد، این ترکیب در بدن انسان به گامالینولئیک اسید (GLA) و در نهایت پروستاگلاندین ها^۴ تبدیل می شود که به تنظیم التهاب و فشارخون کمک می کند [۲۱].

بنا بر تحقیقات انجام شده مایع سلومیک^۵ کرم های خاکی به علت دارا بودن فعالیت های ضد بیماری زایی ترکیبات زیستی مفیدی برای تولید انواع آنتی بیوتیک ها هستند. چندین اسید چرب از کرم های خاکی جدا شده که یکی از آنها لوریک اسید است که خواص ضد میکروبی دارد و از ترکیبات اولیه monolaurin تشکیل شده است. این ترکیب یک عامل ضد میکروبی قوی برای مبارزه با ویروس های RNA دار با پوشش لیپیدی و ویروس های دارای DNA، چندین باکتری گرم مثبت بیماری زا، مخمرها و تک یاخته های بیماری زا است. پپتید Lumbricin I جدا شده از گونه *L. Lumbricus*. نیز فعالیت ضد میکروبی علیه باکتری های گرم مثبت، گرم منفی و هم چنین قارچ ها را دارد [۲۱].

^۱ lumbricin

^۲ lumbrokinase

^۳ کلاژن غنی ترین پروتئین در بدن انسان که آثار مهمی از جمله تقویت بافت پوست و انعقاد خون دارد.

^۴ خانواده ای از مواد شیمیایی که توسط گروهی از سلول های بدن ساخته شده و عملکردهای متفاوتی از جمله تقویت التهاب دارند.

^۵ شیربه بدن کرم (مایع سلومیک) که غنی از امینو اسیدهای ازاد است.

۲- مواد آرایشی و بهداشتی:

در سال ۱۹۸۵ شرکت DOVE برای اولین بار استفاده از این کرم را در محصولات خود آغاز نمود و اولین سری محصولات خود با عنوان جوان‌کنندگان پوست در سال ۱۹۸۷ به بازار عرضه نمود، اما هم‌اکنون بیشتر شرکت‌های پیش‌تاز در این صنعت با تولید انواع نظیر شامپو، صابون، کرم، انواع پودرهای روشن‌کننده و تقویتی استمرار به تولید با این کرم را در دستور کار خود قرار داده‌اند. کرم ضدچروک محصولی جدید با خاصیت ضدپیری است که از عصاره کرم خاکی به دست می‌آید. این کرم با افزایش تولید کلاژن باعث کاهش چین‌وجروک پوست می‌شود که یک درمان مؤثر طبیعی برای پسروریزیس، اگزما^۱ و خشکی پوست است. عصاره کرم خاکی به‌طور طبیعی حاوی کیتین‌ها، اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها است که به عنوان ترکیبات ضدپیری برای پوست انسان استفاده می‌شود.

۳- پروتئین پایه خوراکی (انسان و حیوانات):

حیوانات برخلاف گیاهان قادر به ساختن تمامی اسیدهای آمینه مورد نیاز خود نیستند. اسیدهای آمینه‌ای که در بدن حیوانات ساخته نمی‌شود و یا سرعت ساختشان کم است باید از طریق غذا تأمین شوند. بررسی‌های انجام‌شده روی بافت‌های مختلف بدن گونه‌های کرم خاکی وجود طیف وسیعی از اسیدهای آمینه ضروری را در آن‌ها نشان داده است. بنابراین بدن کرم خاکی و پروتئین به‌دست‌آمده از آن به عنوان مکمل پروتئینی برای خوراک ماهی، طیور و دام‌ها شناخته می‌شود. طبق بررسی‌های انجام‌شده تغذیه جوجه‌های گوشتی با جیره حاوی ۲٪ پودر کرم خاکی به‌صورت معنی‌داری سبب افزایش وزن جوجه‌ها، بهبود کیفیت گوشت سینه شده است [۲۲]. امروزه در برخی کشورها به ارزش پروتئین کرم‌های خاکی توجه شده است و پودر پروتئین خشک بدن کرم، کرم خشک شده و حتی کنسرو کرم به عنوان خوراک انسان به بازار راه پیدا کرده است، به‌طوری‌که گران‌قیمت‌ترین همبرگر شرکت معروف مک‌دونالد ورمی‌برگر می‌باشد. علت این مسئله غنای پروتئین قابل جذب

کرم به نسبت گوشت‌های معمول است برای مثال کرم خاکی گونه *Eisenia fetida* در مقایسه با ۱۷٪ پروتئین قابل جذب گوشت گوساله، بیش از ۷۰٪ پروتئین پایه دارد [۱]. اشاعه این امر در سایر کشورها امری بدیهی به نظر می‌رسد اما از آنجا که خوردن گوشت کرم در اسلام مورد تأیید نمی‌باشد، امکان ورود چنین منبع پروتئینی در غذای مسلمانان بعید است ولی به لحاظ حفظ شرایط تندرستی و سلامت مواد گوشتی مخلوط باید امکان رصد این نوع پروتئین‌ها وجود داشته باشد تا به صورت تقلبی به عنوان گوشت قابل‌مصرف در کشور ما وارد سبد غذایی نشود که در این خصوص می‌توان کیت‌های ژنتیکی برای تشخیص نوع منبع پروتئین استفاده کرد (تحقیقی در این مورد در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران در حال انجام است). با توجه به محدودیت ذکرشده می‌توان از این منبع غنی پروتئینی به‌طور مستقیم در غذای طیور استفاده کرد. محققان دانشگاه تهران (نگارنده اول) به ترکیبی به نام ورمین (wormin) به عنوان خوراک ارگانیک طیور دست یافته‌اند [۲۲] که باعث خوش‌خوراکی گوشت مرغ، عدم ابتلا به بیماری‌های تنفسی و کوتاه شدن دوره رشد مرغ می‌شود [۲۳].

۴- کود پایه بیوارگانیک (مشقات ورمی کمپوست):

در اثر عبور آرام و مداوم مواد آلی از دستگاه گوارش کرم خاکی و سپس دفع آنها، کود آلی بیولوژیکی به نام ورمی‌کمپوست تولید می‌گردد. خصوصیت بارز این کود آن است که مواد آلی در حین عبور از بدن کرم با آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و مخاط دستگاه گوارش مخلوط می‌شوند که حاصل آن کودی غنی است که باعث بهبود ترکیبات آلی خاک می‌شود. از طرف دیگر مدفوع کرم که حاوی مواد مغذی است با مواد مترشحه غشای مخاطی دستگاه گوارش نیز پوشیده می‌شود که این مسئله باعث ثبات مدفوع و در واقع ثبات کود است [۲۴، ۲۵]. این کود بهترین جایگزین کودهای شیمیایی بوده و

^۱ یک بیماری شایع پوستی است که چرخه زندگی سلول‌های پوستی را بهم می‌زند.

^۲ به التهاب یا آماس پوست اگزما (eczema) یا درماتیت گفته می‌شود. این بیماری می‌تواند منجر به مواردی نظیر خارش، قرمزی، تورم، پوسته‌ریزی روی پوست شود.

توده زباله فسادپذیر مملو از انواع حشرات و میکروب‌هاست. لذا امروزه از ترشحات بدن کرم‌ها و مایع سلومیک آنها مواد دورکننده حشرات، حشره‌کش‌ها و ضد میکروب‌ها تهیه می‌شود. از جمله در ایران اولین ترکیب القاکننده مقاومت علیه حشرات مکنده گلخانه‌ای با استفاده از ترشحات سطح بدن کرم گونه *E.fetida* ساخته شده است. این ترکیب روی سفید بالک برگ نقره‌ای (بیوتیپ B سفید بالک پنبه) که از آفات کلیدی محصولات گلخانه است کاملاً مؤثر بوده است. این ترکیب بیشترین نرخ مرگ‌ومیر، کمترین طول عمر دوره‌های نابالغ و بیشترین طول دوره نابالغ حشره را نشان داده است. [۲۸]. این موضوع می‌تواند باعث حذف انواع حشره‌کش‌های شیمیایی و نتیجتاً تولید محصولات سالم و ارگانیک باشد. خوشبختانه محققان دانشگاه تهران (نگارنده اول) به ترکیبی به نام ارگانول (*Organol*) به عنوان القاکننده مقاومت در گیاهان دست یافته‌اند که باعث ایجاد مقاومت در برابر حشرات مکنده گلخانه‌ای و حذف سموم شیمیایی می‌شود [۲۹].

همچنین انواع کودهای بیوارگانیک (ورمی‌کمپوست) نیز به دلیل وجود همین مواد متر شحه در بستر زندگی کرم می‌توانند قابلیت محدودیت رشد حشرات و بیماری‌های گیاه را هم‌زمان با افزایش میزان رشد گیاهان و نیز کیفیت بیشتر محصولات را داشته باشند. آزمایش‌های مختلفی در دانشگاه تهران بدین منظور انجام شده و نتایج بسیار خوبی را داشته است. از جمله تأثیر انواعی از کودهای بیوارگانیک بر پایه مواد پسماند گیاهی خاص بر رشد گوجه‌فرنگی و هم‌زمان تأثیر آن بر روی کاهش تراکم جمعیت و میزان تخم‌گذاری سفید بالک برگ نقره‌ای به اثبات رسیده است [۳۰].

ب) خدمات فناورانه:

۱- فرآوری پسماندهای فسادپذیر (آلی):

زباله‌های تر (شهری و روستایی) امروزه از معضلات زندگی اجتماعی ما به شمار می‌روند. برای مثال در تهران روزانه بالغ بر ۸۵۰۰ تن زباله تولید می‌شود که غالب آن فقط در مکان‌های دفن و دفع باید به شکلی بی‌خطر دربیابند که این امر مستلزم

لذا رکن تولید محصولات ارگانیک به حساب می‌آید. نکته مهم این کود در تولید محصولات ارگانیک که باید عاری از آلاینده‌های شیمیایی باشند، قدرت پالایش کرم‌ها حین تغذیه از مواد آلیست. به عبارت دیگر کرم‌های خاکی با نقب زدن سبب افزایش تجزیه هوازی، ثبات مواد آلی، از بین بردن پاتوژن‌ها و فلزات سنگین از کمپوست و بهبود کیفیت آن می‌شوند. کرم‌های خاکی با نقب زدن در توده خاک به‌طور پیوسته خاک را با مواد درون روده خود ترکیب می‌کنند و توانایی تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را به‌وسیله (۱) افزایش کربن و نیتروژن خاک با دفع مواد مخاطی و ترشحات خود، (۲) بلعیدن و ترکیب خاک با مواد آلی درون روده خود در طول مدت‌زمان عبور مواد از درون دستگاه گوارش خود، (۳) اثر گذاری بر ساختار فیزیکی خاک حین فعالیت نقب زدن و (۴) تغییر جوامع باکتریایی و قارچی خاک به‌وسیله تعدیل ساختار و اندازه ذرات خاک دارا هستند [۲۶، ۲۷]. با توجه به این قدرت بی‌نظیر کرم‌ها در تجزیه مواد آلی آنها را کرم‌های خاکی زباله‌خوار نیز نامیده‌اند که به‌آسانی از آنها برای فرآوری انواع پسماندهای شهری و صنعتی آلی به عنوان یک خدمت فناورانه استفاده می‌شود (به بخش خدمات فناورانه مراجعه کنید).

۵- مواد مؤثر در مبارزه با حشرات:

یکی از محصولات فناورانه کرم‌های خاکی مواد دورکننده، ضد تغذیه و یا کشنده حشرات است. به شکلی شگفت‌آور تنها سلاح کرم‌های خاکی برای دفاع در مقابل دشمنان‌شان از جمله انواع حشرات خاکزی و میکروب‌ها که به‌وفور در خاک و محیط زندگی آنها وجود دارند، ترشحات بدن آنهاست که به شدت خاصیت دورکنندگی دارند. از همین رو دانشمندان به این مواد و خصوصیات بی‌نظیر آنها توجه ویژه‌ای کرده‌اند. در واقع کرم‌ها هنگام حرکت در بستر خود دائماً این مواد را در سطح بدن ترشح کرده و در بستر زندگیشان بجا می‌گذارند. قابل‌ذکر است که اگر در توده زباله تر در حال فساد کرم‌ها به فرآوری زیستی مواد آلی مشغول باشند کمتر حشره مزاحم و میکروب‌های خطرناک در آن دیده می‌شود درحالی‌که اسماً

¹ *Bemisia tabaci* (Genn.)

شیمیایی (نیترا و نیتريت و فسفات و کادمیوم) که از آگروسیستمها به آب‌های جاری و زیرزمینی نشت می‌کنند، فلزات سنگین و حتی مواد رادیواکتیو موضوع مهمی است که با استفاده از کرم‌های خاکی به انجام می‌رسد. در این روش تصفیه، کرم مانند یک فیلتر زیستی عمل می‌کند. البته این توانایی به یمن وجود انواع میکروب‌هایی است که در دستگاه گوارش کرم زندگی می‌کنند. افزایش جمعیت میکروبی در بدن و محیط زندگی کرم‌ها باعث افزایش متابولیسم میکروبی می‌شود که به نوبه خود توان تصفیه و تغییر غلظت مواد آلاینده را افزایش می‌دهد. جالب آن است که در طول این فرایند مواد مغذی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کلسیم موجود از طریق فعالیت میکروبی به شکل محلول و قابل دسترس گیاهان حاصل می‌شود.

نکته مهم بسیار باارزش در مقایسه بین روش‌های صنعتی، بیولوژیکی تصفیه آب با روش فیلترینگ کرم این است که این جانور به دلیل همان نوع و خواص گوارش خود عملاً در طول فرایند تصفیه تقریباً عمل ضدعفونی کردن هم انجام می‌دهد. روده کرم میزبان طیف گسترده‌ای از میکروب‌های تجزیه‌کننده است که همراه با مواد نیمه هضم شده نیتروژن و فسفردار مدفوع خود را به صورت ورمی‌کمپوست به محیط اضافه می‌کند. نتایج بسیاری نشان‌دهنده توانایی استفاده مجدد از کرم‌های خاکی به عنوان خورنده و تجزیه‌کننده انواع فاضلاب با مواد غنی فراوان اشاره دارد. هم‌چنین با عمل آسیاب کردن، هوادهی، خرد کردن و تجزیه مواد شیمیایی می‌توان از آن‌ها به عنوان یک محرک زیستی استفاده کرد. مزیت دیگر این روش عدم ایجاد لجن در مقایسه با تصفیه مرسوم است. لذا فناوری فیلترینگ کرم خاکی روشی مناسب برای تمرکززدایی تصفیه آب است [۳۵]. عملاً گونه‌های مختلف کرم‌های زباله‌خوار که مناسب برای فرایند کمپوست مواد زائد هستند مانند *Euripus euginae*, *Perionyx excavatus*, *Eisenia fetida* و *Lumbricus rubellus* در تصفیه آب نیز کارایی دارند [۳۶].

یکی از اختراعات ثبت‌شده در این مورد طرحی است که در شیلی در سال ۱۹۹۸ در مقیاس پایلوت به تصفیه فاضلاب شهری ۱۰۰۰ خانه پرداخت. در این پایلوت میزان حذف

هزینه‌های گزافی است. با توجه به حجم بالای تولید روزانه زباله شهری و صنعتی و محدودیت مکان‌های مناسب دفع زباله و اثرات نامطلوب دفن از نظر زیست‌محیطی و بهداشتی مدیریت بهینه پسماندها یکی از اهداف اصلی مدیریت‌های شهری است. متأسفانه تنها راه مورد توجه که بسیار هم پرخرج است دفن زباله با همه مخاطرات زیست‌محیطی و یا تأسیس کارخانجات بازیافت صنعتی آن با هزینه‌های گزافتر و مشکلات بیشتر است. اما در این میان توانایی بی‌نظیر کرم‌های خاکی در فرآوری زباله‌های فسادپذیر یک موهبت خدادادی است که باید در رأس برنامه‌های مدیریت زیست‌محیطی کشور قرار گیرد. در این روش آسان، کم‌هزینه و بی‌خطر نه تنها مشکل زباله با فرآوری در مبدأ (منازل و ادارات) حل می‌گردد بلکه تمام محصولات فناورانه نظیر ورمی‌کمپوست، پروتئین پایه، مواد اولیه تولید دارو و محصولات آرایشی بهداشتی، حشره‌کش‌ها و امثالهم قابل تولید انبوه‌اند. به تعبیر بهتر با رفع معضل بازیافت زباله‌های تر با فناوری کاربرد کرم‌های زباله‌خوار، محصول نهایی ورمی‌کمپوست که کودی جایگزین کودهای شیمیایی و اساس و پایه تولید محصولات ارگانیک است و نیز توده کرم خاکی جهت استفاده در تولید محصولات دارویی به دست می‌آید و در این حالت چرخه‌ای کامل از زباله تا تولید محصولات ارگانیک و محصولات دارویی شکل می‌گیرد [۳۱-۳۲]. این به معنای تبدیل یک تهدید جدی زیست‌محیطی به فرصت‌های برتر است. علاوه بر پسماند مواد غذایی (خام و پخته) خانه‌ها و رستوران‌ها، ضایعات باغچه‌ها (برگ و چمن‌های کوتاه شده)، ضایعات کشاورزی از جمله باقی‌مانده محصول، برگ‌ها و علف‌های هرس شده و... ضایعات و مدفوع ناشی از پرورش دام و حیوانات مانند گاو، گوسفند، خوک، مرغ و ضایعات جامد حاصل از صنایع کاغذ و مقوا، کارخانه‌های تولید روغن گیاهی، صنایع نیشکر، پرورش کرم ابریشم، صنایع تولید مواد غذایی و... از بهترین مواد اولیه تولید ورمی‌کمپوست به شمار می‌روند [۳۳-۳۴].

۲- تصفیه آب:

تصفیه آب از انواع آلاینده‌های خطرناک مانند باقیمانده کودهای

BOD¹(۹۹٪)، TSS^۲(۹۵٪)، VSS^۳(۹۶٪)، نیتروژن (۸۹٪) و فسفر (۷۰٪) انجام شد. ساختار این فیلتر شدن شامل بستر کرم خاکی در لایه زیرین، سنگ‌ریزه و روی آن خاک اره و بالاترین بخش ۲۰-۳۰ سانتی‌متر هوموس بود که به ازای هر مترمکعب ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ کرم خاکی گونه (*Eisenia andrea*) در آن رها شد. این سیستم در هر روز قابلیت تصفیه ۱۰۰۰ لیتر بر مترمربع فاضلاب را داشت [۸].

۳- کرم پالایی:

از اواخر دهه ۱۹۸۰ که ناکارآمدی استفاده از روش‌های پالایش مکانیکی و شیمیایی و روش حرارتی (سوزاندن) برای حذف انواع آلاینده‌های خاک به دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی ثابت گردید، محققین به روش‌های زیستی که مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست بوده و همچنین پذیرش اجتماعی داشتند، توجه نمودند به طوری که از این روش‌ها به‌صورت جایگزین و یا مکمل استفاده می‌شود [۱۰]. روش‌های زیستی اغلب بر پایه شکست و تجزیه میکروبی آلاینده‌ها و تبدیل آن‌ها به ترکیبات غیر سمی استوار هستند.

کرم‌های خاکی تأثیر زیستی مستقیم و غیرمستقیم بر روند پاک‌سازی خاک‌های آلوده دارند. نقب زدن از جمله اثرات غیرمستقیم است که نتیجه آن ایجاد مسیرهایی برای ورود آب، حرکت ذرات و مواد غذایی و جریان هوا است. شکست مکانیکی ذرات خاک هم‌چنین سبب افزایش سطح و در نتیجه افزایش عملکرد زیستی می‌شود. همچنین کرم‌های خاکی دارای تعدادی مکانیسم جذب، تثبیت و دفع فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی نیز هستند به طوری که با تبدیل یا تجزیه زیستی آلاینده‌های شیمیایی آن‌ها را به ترکیبات بی‌ضرر در بدن خود تبدیل می‌کنند. برخی فلزات به‌وسیله پروتئین‌هایی که به متالوتین‌ها مشهور هستند، متصل می‌شوند، این پروتئین‌ها ظرفیت بالایی برای اتصال به فلزات دارند که در کرم خاکی مشاهده شده‌اند [۳۷]. این موضوع به فناوری مهمی تبدیل شده

که کرم پالایی نامیده می‌شود. کرم پالایی به عنوان یکی از مهمترین شیوه‌های زیست پالایی آلاینده‌های شیمیایی مزیت‌هایی دارد. نتایج نشان داده که حضور کرم خاکی مانع اتصال ترکیبات شیمیایی به ذرات خاک و در نتیجه دسترس‌پذیری این ترکیبات برای فعالیت میکروبی بیشتر است. هم‌چنین در این فناوری است که جمعیت میکروبی تجزیه‌کننده خاک بیشتر می‌شوند. کرم‌های خاکی نه تنها توانایی بهبود خاک‌های آلوده را به عنوان نوعی استراتژی زیست‌پالایی دارند بلکه در پس آن موجب بهبود خاک و زمین برای استفاده‌های مفید دیگر می‌شوند [۳۸]. گونه‌های مناسب کرم خاکی برای کرم پالایی عمدتاً بر اساس مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته شامل *Aporrectodea tuberculata*، *Eisenia fetida*، *Aporrectodea giardi*، *Lumbricus terrestris*، *Lumbricus rubellus*، *Dendrobaena rubida*، *Dendrobaena veneta*، *Eiseniella tetraedra*، *Allolobophora chlorotica* هستند که قدرت تحمل و توانایی حذف طیف وسیعی از ترکیبات شیمیایی از خاک را دارند [۵]. با استفاده از این گونه‌ها فناوری کرم پالایی امروزه برای حذف یا کاهش آلاینده‌های خطرناک خاک مانند مواد نفتی، فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها صورت گرفته و رفته‌رفته به صورت یک فناوری تجاری جای خود را در صنایع کشورها باز می‌کند.

کرم پالایی آلاینده‌های نفتی

اصغرینیا و همکاران در سال ۲۰۱۴ طی هشت هفته به بررسی حذف فناترن با غلظت ۳۰ mg/kg از خاک با کمک گونه *Eisenia fetida* پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از کرم خاکی سبب افزایش دسترس‌پذیری آلاینده و بهبود فعالیت میکروبی خاک شده که این امر منجر به افزایش حذف آلاینده‌ها با پایه کربنی از خاک می‌شوند [۳۹]. در سال ۲۰۱۵ راماداس و همکاران^۴ به بررسی بقای کرم خاکی و سلامت خاک آلوده به

¹ Biological Oxygen Demand نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب توسط ارگانسیم‌هاست.

^۲ Total suspended solids کل مواد جامد معلق که یکی از شاخص‌های مهم برای سنجش کیفیت آب بعد از عمل تصفیه روی آب است.

^۳ Volatile suspended solids مقدار جامدات فرار وقتی که کل جامدات معلق فاضلاب طی دمای ۵۰±۵۰ درجه سانتیگراد سوزانده شود.

⁴ Ramadass et al.

نگاهی به آینده

خوشبختانه محققین دانشگاه تهران از سال‌های نسبتاً دور به فواید باارزش کرم‌های خاکی توجه نموده و تحقیقات دنباله‌داری در این خصوص به انجام رسانده‌اند. به لطف خدا امروز تجربه کافی در تولید انواع کودهای پایه بیوارگانیک (با منشأ ورمی‌کمپوست)، انواعی از مواد دورکننده حشرات، انواعی آنتی‌باکتریال، مواد پایه دارویی با خواص ضد سرطانی و آنتی‌دیابتیک، مواد پایه آرایشی بهداشتی و نیز استفاده از این جانوران در فرآوری زباله‌های فسادپذیر و نیز فناوری کرم‌پالایی برای حذف و کاهش آلاینده‌های نفتی و عناصر سنگین و باقیمانده کودهای شیمیایی نیتراته وجود دارد. اما راه آینده هنوز گسترده و نیاز به تحقیقات بیشتر وجود دارد. اما قطعاً این جانور به‌ظاهر زیر پا افتاده نعمت بزرگ خدای مهربان به بشر است که ما تاکنون گوشه‌ای از معجزات هستی را در وجود آنها یافته‌ایم. به قطع و یقین کرم‌های خاکی یکی از منابع باارزش برای دانش و فناوری زیست‌الگو و الهام‌زیستی به شمار می‌آیند.

به استحضار می‌رساند این مقاله کل یا بخشی از آن در جایی به چاپ نرسیده است.

وبگاه‌های بازدید شده در این مقاله

1-<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/7-niches-within-earthworms>

2-<http://www.organicauthority.com/delicious-beauty/earthworms-anti-aging-skin-care-miracle-or-super-gross.html>

3-<https://www.greensations.com/Earthworm-Pooh-Wrinkle-Cream-p/fbmwb.htm>

منابع و مؤاخذ

[1]. Edwards, C.A. and Bohlen, P.J. (1996). *Earthworm Ecology and Biology*, Second Edition, CRC Press, London, PP.15-30.

[2]. Feller, Ch. Brownb, G. Blanchart, E. Deleport, P. Chernianski, S. (2003). Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 99, PP.29-49.

روغن‌موتور پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان سمیت روغن‌موتور قدیمی در خاک بیشتر از روغن‌موتور تازه است و کرم خاکی توانایی کاهش سمیت روغن‌موتور، افزایش چرخه مواد مغذی و بهبود سلامت خاک را دارد [۴۰]. نتایج حاصل از مطالعه جعفری و همکاران در سال ۱۳۹۵ نشان داد که حضور کرم خاکی گونه *E. fetida* در خاک آلوده به گازوئیل سبب افزایش جامعه باکتریایی خاک نسبت به عدم حضور کرم خاکی است و به طبع افزایش جامعه باکتریایی خاک تجزیه ترکیبات مهم آلاینده گازوئیل از جمله دودکان، تترادکان و هگزادکان افزایش می‌یابد [۴۱].

کرم پالایی فلزات سنگین

هارتسنستین و همکاران (۱۹۸۰) به این نتیجه رسیدند که کرم‌های خاکی می‌توانند فلزات سنگین مانند کادمیوم، جیوه، سرب، مس، منگنز، آهن و روی را بدون تأثیرات فیزیولوژیک در بافت‌های خود ذخیره کنند. برای مثال میزان کادمیوم ذخیره شده در بافت تا ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم وزن خشک بدن کرم است [۴۲]. کنتراس راموس و همکاران در سال ۲۰۰۵ این مسئله را تایید کردند که کرم‌های خاکی در مدت ۶۰ روز غلظت کروم، مس، روی و سرب را در لجن ورمی‌کمپوست به پایین‌تر از محدوده بیان‌شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست امریکا می‌رسانند [۴۳].

کرم پالایی آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها در یک گروه‌بندی اصلی شامل انواع علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، باکتری‌کش‌ها، نما‌تدکش‌ها، حلزوکش‌ها و جونده‌کش‌ها می‌باشند. امروزه متأسفانه این مواد خطرناک به صورت بی‌رویه در اکثر اکوسیستم‌های کشاورزی مصرف‌شده و باقیمانده‌های فوق‌العاده سمی این مواد پس از استقرار در خاک، در فرایند کشت و داشت محصولات کشاورزی قرار گرفته و از طریق ریشه وارد گیاهان می‌شوند. مطالعات متعددی در مورد رابطه بین آفت‌کش‌های ارگانوفسفره و کلره و باقیمانده آنها در بافت‌های کرم خاکی انجام شده است. این تحقیقات نشان می‌دهد کرم‌های خاکی توانایی تجمع زیستی این مواد را تا ۹ برابر در بافت‌های خود و یا تجزیه زیستی آنها به‌طور کامل را دارند [۴۴].

- PAHs contaminated soil. *Environment*, Vol.28, PP.466-475.
- [17]. Gupta, R. Garg, V.K. (2009). Vermiremediation and nutrient recovery of non-recyclable paper waste employing *Eisenia fetida*. *Journal of Hazardous Materials*. Vol.162, PP.430-439.
- [18] Sinha, R.K. Bhambe, Herat. Bhovanbhai, S. Valani, D. (2010). Earthworms: The Environmental Engineers. *Environmental Management & Resource Development International journal*, Vol.40, PP.1954-1959.
- [19] Cooper, Edwin. (2009). New Enzymes Isolated from Earthworms is Potent Fibrinolytic. *Oxford University Press Journal (UK)*, Vol.4, PP.69-82.
- [20] Kangmin, Li. (1998). Vermiculture Industry in Circular Economy; Worm Digest. 4th ZERI World Congress. Windhoel, Namibia.
- [21] Lopez, A. Alis, R. (2005). Indigenous use of native earthworms and its fatty acids profile; Paper Presented at the Int. Symposium on Vermitechnologies for Developing Countries. Laguna, Philippines.
- [۲۲] ضرابی، مهدی و غلامی، حمید. ۱۳۹۲. ثبت اختراع پروتئین پایه مکمل خوراک طیور با نام ورمین Wormin، به شماره ۸۰۱۸۹، سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، اداره ثبت اختراعات، ۱۴۹۸۶.
- [۲۳] غلامی، حمید. شمس شرق، محمود. ضرابی، مهدی. زره داران، سعید. (۱۳۹۵). اثر سطوح مختلف پودر کرم خاکی (*Eisenia fetida*) بر عملکرد و کیفیت گوشت ران و سینه جوجه‌های گوشتی. تحقیقات تولیدات دامی، دانشگاه گیلان. ش. ۱، صص. ۶۳-۷۵.
- [24] Gupta, P.K. (2003). Why vermicomposting? In: *Vermicomposting for sustainable agriculture* Agrobios (India). Agro House, PP.14-25.
- [25] Ismail, S.H. Joshi, P. Grace, A. (2003). The waste in your dustbin is scarring the environment the technology of composting, *Advanced Biotech (II)*. Vol. 5, PP.30-34.
- [26] Eijsackers, H. van Gestel, C. De Jonge, S. Muijs, B. Slijkerman, D. (2001). Polycyclic aromatic hydrocarbons-polluted dredged peat sediments and earthworms: a mutual interference. *Ecotoxicology*, Vol.10, PP.35-50.
- [27] Rodriguez-Campos, J. Dendooven, L. Alvarez-Bernal, D. Contreras-Ramos, S. M. (2014). Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: A review. *Applied Soil Ecology*, Vol.79, PP.10-25.
- [3]. Gupta, P.K. (2003). Why vermicomposting? In: *Vermicomposting for sustainable agriculture*, Agrobios (India), Agro House, Jodhpur, PP.14-25.
- [4]. Vielma-Rondon, R. Ovalles-Duran, J.F. Leon Leal, A. Medina, A. (2003). Nutritional value of earthworm flour (*Eisenia foetida*) as a source of amino acids and its quantitative estimation through reversed phase Chromatography (HPLC) and pre-column derivation with o-phthalaldehyde (OPA), *Ars Pharmaceutica*, Vol, 44, PP.43-58.
- [5]. Contreras-Ramos, S.M. Alvarez-Bernal, D. Dendooven, L. (2006). *Eisenia fetida* increased removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil. *Environ. Pollut*, Vol.141, PP.396-401.
- [6]. Stephenson, J. (1930). *The oligochaeta*. Oxford University Press, PP.978.
- [7]. Barrett, T. J. (1949). *Harnessing the earthworm*. Wedgewood Press, London, Boston, Massachusetts.
- [8]. Soto, M.A. Toha, J. (1998): *Ecological wastewater treatment; Advanced wastewater treatment, recycling and reuse*, AWT 98, Milano, September 14-16.
- [9]. Satchell, J. E. (1983). *Earthworm ecology- from Darwin to vermiculture*, Chapman and Hall Ltd., London, PP.1-5.
- [10]. Ameh, A. O. Mohammed-Dabo, I. A. Ibrahim, S. Ameh, J. B. Tanimu, Y. Bello, T. K. (2012). Effect of earthworm inoculation on the bioremediation of used engine oil contaminated soil. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol.6, PP. 493-503.
- [11]. Sun, H. Li, J. Wang, C. Wang, Y. (2011). Enhanced Microbial Removal of Pyrene in Soils in the Presence of Earthworms, *International Journal*, Vol.20, PP.617-630.
- [12]. Madigan, Michael. Martinko, John. Stahl, David. Clark, David. (2012). *Brock biology of microorganisms*, Fourteenth edition .
- [13]. Ceccanti, B. Masciandaro, G. Garcia, C. Macci, C. Doni, S. (2006). Soil bioremediation: combination of earthworms and compost for the ecological remediation of a hydrocarbon polluted soil. *Water, air, and soil pollution*, Vol. 177, PP.383-397.
- [14]. Atlas, RM. (1995). Bioremediation of petroleum pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation.*, Vol.35, No.1, PP. 317-327.
- [15]. Semple, KT. Morriss, W.J. Paton, GI. (2003). Bioavailability of hydrophobic organic contaminants in soils: fundamental concepts and techniques for analysis. *European Journal of Soil Science*, Vol.54, No.4, PP.809-818.
- [16]. Sinha, R.K. Bhambe, G. Ryan, D. (2008). Converting wasteland into wonderland by earthworms – a low-cost nature’s technology for soil remediation: a case study of vermiremediation of

- [36] Sinha, R.K. Herat, S., Valanti, D. Chauhan, K. (2015). Earthworms the environmental engineers: Review of Vermiculture Technologies for Environmental Management and Resource Development. *International Journal of Global Environmental Issues*, Vol.22, PP.261–268.
- [37] Ireland, M. P. (1979). Metal accumulation by the earthworms *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetraedra* living in heavy metal polluted sites; *Environmental Pollution*, Vol. 19, 201-206.
- [38] Brown, G. B. Doube B.M. (2004). On earthworms assisted bioremediation., *Earthworm Ecology*(2ndEd.), CRC Press, PP.213-239.
- [39]. Asgharnia, Hosseinali. Jonidi-Jafari, Ahmad. Rezaei-Kalantary, Roshanak. Nasseri, Simin. Mahvi, Amirhossein. Esrafil, Ali. (2014). Influence of bioaugmentation on biodegradation of phenanthrene-contaminated soil by earthworm in lab scale; *Journal of Environmental Health Science & Engineering*.vol.12, P.150-153.
- [40]. Ramadass, K. Megharaj, M. Venkatesvarlu, K. Naidu, R. (2015). Ecological implications of motor oil pollution: Earthworm survival and soil health. *Soil Biology & Biochemistry*, Voi.85, PP.72-81.
- [41]. Jafari-Farjam, S. Nazila. Zarabi, Mahdi. Hatamian-zarmi, Ashrafalsadat. Mohebbali, Ghasem. (2016). Potential of earthworms (*Eisenia fetida*) to biological remediation of the gas oil contaminated soil. The 17th International and Iranian Congress of Microbiology.23-25 august 2016. Tehran, Iran.
- [42]. Hartenstein, R. Neuhauser, E. F. Collier, J. (1980). Accumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 9, PP.23-26.
- [43]. Contreras-Ramos, Silvia M. Alvarez-Bernal, Dioselina. Dendooven, Luc. (2006). *Eisenia fetida* increased removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil. *Environmental Pollution*, Vol.141, PP.396–401.
- [44]. Esteve-Núñez, A. Caballero, A. Ramos, J.L. (2001). Biological Degradation of 2,4,6-Trinitrotoluene. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Vol.65, PP. 335–352.
- [28] احمدی الموتی، زهرا. ضرابی، مهدی. موثقی، شادی. (1390). استفاده از فناوری نوین بستر آماده کشت غنی شده بیوارگانیک در پرورش گوجه فرنگی گلخانه‌ای. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی.
- [29] ضرابی، مهدی، 1392. ثبت اختراع القاکننده مقاومت علیه حشرات مکنده *Organol*. به شماره 80190، سازمان ثبت اسناد و املاک کشور، اداره ثبت اختراعات، 14969.
- [30] Sedaghat, Roshanak. Samih, Mohammad Amin. Zohdi, Hadi. Zarabi, Mehdi. (2017). Vermicomposts of Different Origins Protect Tomato Plants Against the Sweetpotato Whitefly. *Journal of Economic Entomology*.Vol.111, PP.146-153.
- [31] Sinha, Rajiv K. Chan, Andrew. (2009). Study of emission of greenhouse gases by Brisbane households practicing different methods of composting of food & garden wastes: aerobic, anaerobic and vermicomposting. NRMA – Griffith. University Project Report.
- [32] Sinha, R.K. Herat, S. Bharambe, G. Patil, S. Bapat, P.D. Chauhan, K. Valani, D. (2009). Vermiculture biotechnology: the emerging cost-effective and sustainable technology of the 21st century for multiple uses from waste & land management to safe & sustained food production, *Environmental Research Journal*, Vol. 3, PP. 41-110.
- [33] Lotzof, M. (2000). Vermiculture: An Australian technology success story; *Waste Management Magazine*, Australia, February 2000.
- [34] Sinha, R.K. Herat, S. Bapat, P.D. Desai, C. Panchi, A. Patil, S. (2005). Domestic waste the problem that piles up for the society: vermiculture the solution; *Proceedings of International Conference on 'Waste-The Social Context*; May 11-14, 2005, Edmonton, Alberta, Canada; PP. 55-62.
- [35] Garacal, D.G. Mapara, J.V. Prabhune, M. (2015). Domestic waste water treatment by bio-filtration. *International Journal of Science, Environment*, PP.383–411.