

توسعه یک سامانه تولید پیوسته کمپوست در مقیاس متوسط از پسماندهای کشاورزی

سجاد درفش پور^۱، عارف مردانی^{۲*}

۱- دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

ایمیل نویسنده مسئول: a.mardani@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

امروزه با توجه به چالش‌های زیست محیطی، جایگزینی کودهای ارگانیک با کودهای شیمیایی ناگزیر به نظر می‌رسد. از دیدگاه دوست‌داران طبیعت، روش‌های بیولوژیک برای تولید کود و کمپوست از محبوبیت بالایی برخوردار است. استفاده از کرم‌های خاکی برای هضم توده‌های مواد آلی شامل پسماندهای کشاورزی و دورریزهای غذایی یکی از روش‌هایی است که برای تولید کودهای ارگانیک و به‌طور خاص ورمی کمپوست استفاده می‌شود. تولید ورمی کمپوست به روش سنتی معمولاً منجر به تولید کمپوست با کیفیت نسبتاً پایین و غیرهمگن می‌گردد. در این پژوهش از یک راکتور برای تولید پیوسته ورمی کمپوست استفاده شده است. دستگاه ساخته شده در قسمت هاروستر خود شامل یک مکانیزم ابتکاری است. در این بخش از یک سیستم رفت و برگشتی برای تیغه‌های برداشت استفاده شده است که توسط یک جک برقی راه‌اندازی می‌گردد و امکان خوردگی و پارگی کشنده تیغه‌ها را برطرف کرده است. عملکرد دستگاه با تنظیم پارامترهایی مانند مدیریت آب‌پاشی-های دستگاه و سیستم برداشت، مورد ارزیابی و کالیبراسیون قرار گرفته و موفقیت‌آمیز بوده است. کیفیت ورمی کمپوست تولید شده توسط دستگاه از نظر محتوای مواد غذایی در مقایسه با محصول روش سنتی بهتر بوده است. هاضم ساخته شده قابلیت به‌کارگیری برای کمپوست کردن دورریزها و پسماندهای ارگانیک در مقیاس متوسط را دارا است.

کلمات کلیدی

"آزینیافتید"، "راکتور جریان مداوم"، "هاضم"، "ورمی کمپوست"،

۱- مقدمه

سریع‌تر آنها کمک کند. اگر گیاهی فاقد ریز مغذی‌ها و درشت مغذی‌ها مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم یا فسفر باشد، افزودن کود راه‌حلی سریع و آسان برای کاهش کمبودها فراهم می‌کند (Koval and Mikhno, ۲۰۱۹). بزرگترین تفاوت بین کودهای شیمیایی و کمپوست این است که در حالی که کمپوست خاک را تقویت می‌کند تا محیطی مفید برای گیاهان ایجاد کند، کود شیمیایی تنها گیاهان را تغذیه می‌کند. تاریخچه کاربرد ورمی کمپوست به سال‌ها پیش از میلاد مسیح و به روم باستان برمی‌گردد (Paul and Kauser, ۲۰۲۰). نخستین کسی که از ورمی کمپوست برای پرورش گیاهان استفاده کرد، مارکوس کاتو بوده است (Rodríguez Canché et al, ۲۰۱۲). شارما و مک بین پس از یک قرن تحقیق پراکنده، در اواسط دهه ۱۹۹۰، علاقه دوباره به ورمی کمپوست به عنوان یک افزودنی ارزشمند خاک و راهی برای کاهش بار بر روی محل‌های دفن زباله آشپزخانه و سایر زباله‌های آلی در جهان آغاز شد. مری آپلهوف، معلم زیست‌شناسی میشیگان، به ایده ورمی کمپوست خانگی رسید (Sharma

کشاورزی پایدار عبارت است از کشاورزی به روش‌های پایدار که نیازهای کنونی جامعه به مواد غذایی را برآورده می‌کند، بدون اینکه توانایی نسل فعلی یا آینده برای برآوردن نیازهای خود را به خطر بیندازد و این امر می‌تواند بر اساس درک درستی از اکوسیستم باشد (Lebersorger and Schneider, ۲۰۱۱). روش‌های زیادی برای افزایش پایداری کشاورزی وجود دارد. هنگام توسعه کشاورزی در سیستم‌های غذایی پایدار، توسعه فرآیندهای تجاری و شیوه‌های کشاورزی انعطاف‌پذیر مهم است. کشاورزی دارای اثرات زیست محیطی بسیار زیادی است که نقش مهمی در ایجاد تغییرات آب و هوایی، کمبود آب، آلودگی آب، تخریب زمین، جنگل‌زدایی و سایر فرآیندها ایفا می‌کند؛ کشاورزی پایدار شامل روش‌های کشاورزی دوست‌دار محیط زیست است که امکان تولید محصولات زراعی یا دام را بدون آسیب به سیستم‌های انسانی یا طبیعی فراهم می‌کند (Yaghtin et al, ۲۰۱۰). کاربرد کود، نیازهای گیاهان را هدف قرار می‌دهد تا به رشد

بزرگ و تولید ورمی کمپوست در مقیاس بزرگ و صنعتی. تولید ورمی کمپوست در مقیاس کوچک برای تبدیل ضایعات آشپزخانه به مواد اصلاح کننده خاک با کیفیت بالا، در جایی که فضا محدود است، مناسب است (عبدلی و روشنی، ۱۳۹۶). روش مقیاس متوسط بیشتر برای ورمی کمپوست در مقیاس بزرگتر است که به جای سطل از مخازن بزرگتری استفاده می شود. در جایی که ورمی کمپوست روش انتخابی برای فرآوری مقدار زیادی ضایعات است، استفاده از این مخزن ها مقرون به صرفه است. ورمی کمپوست در مقیاس بزرگ بیشتر در کانادا، ایتالیا، ژاپن، هند، مالزی، فیلیپین و ایالات متحده انجام می شود. چنین سیستم های ورمی کمپوست به منابع قابل ملاحظه و مقادیر زیادی غذا نیاز دارند (Yadav et al. ۲۰۱۰). دو روش اصلی ورمی کمپوست سازی در مقیاس بزرگ وجود دارد که عبارتند از بستری و راکتورهای بزرگ. نوع دیگر سیستم ورمی کمپوست، راکتورهای در مقیاس بزرگ یا سیستم بستر با جریان پیوسته است. در این جا کرم ها در حدود یک اینچ هر روز در بالای بستر تغذیه می شوند، و یک اینچ از کمپوست رسیده از پایین مخزن با کشیده شدن یک تیغه برداشت در سراسر طول کانال، برداشت می شود. در نمونه های مکانیزه و پیشرفته، کلیه عملیات تغذیه و اضافه شدن مواد تازه، آبیاری و برداشت و جمع آوری کمپوست رسیده به صورت مکانیزه انجام می - گردد (عبدلی و روشنی، ۱۳۹۶).

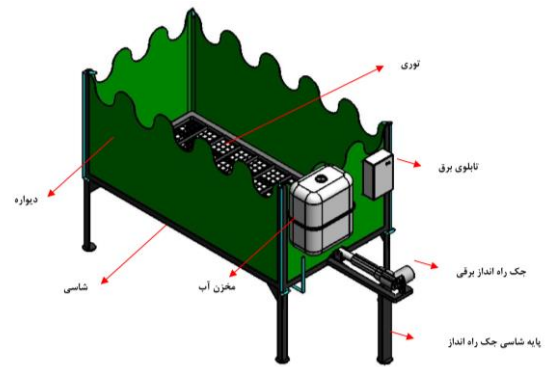
در این پژوهش به منظور طراحی یک سیستم تولید پیوسته کمپوست از توده های آلی مکانیزم های استفاده شده در کارهای تحقیقاتی مختلف در سال های اخیر بررسی گردید و از یک مکانیزم اصلاحی در بخش واحد برداشت دستگاه در کنار سایر بخش های متداول استفاده شد.

۲- روش انجام تحقیق

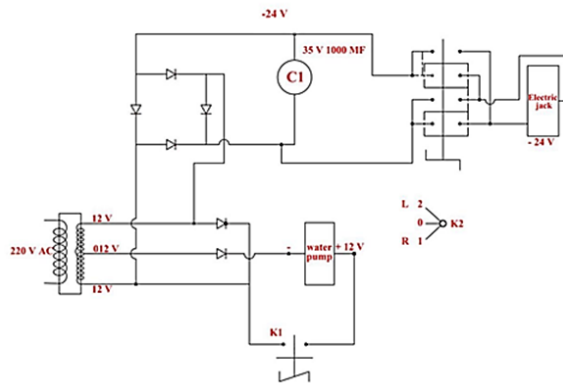
طی شکل ۱ و در نمایی کلی معرفی بخش های گوناگون دستگاه صورت پذیرفته است. بخش های مختلف و قطعات دستگاه مورد نظر عبارت بوده است از شناسی و پایه های دستگاه، شناسی سیستم محرک، سیستم محرک، سیستم مه پاش، تابلوی برق، هاروستر و دیواره ها. این بخش ها طی فرایند کارگاهی متناسب با خود طراحی، ساخته و سرهم شده است.

(and McBean, ۲۰۰۹). پس از یک قرن تحقیق پراکنده، در اواسط دهه ۱۹۹۰، علاقه دوباره به ورمی کمپوست به عنوان یک افزودنی ارزشمند خاک و راهی برای کاهش بار بر روی محل های دفن زباله آشپزخانه و سایر زباله های آلی در جهان آغاز شد. مری آپلهوف، معلم زیست شناسی میشیگان، به ایده ورمی کمپوست خانگی رسید. در سال ۱۹۷۲، او یک مخزن کم عمق در زیرزمین خود تعبیه کرد و آن را با ضایعات غذایی پر کرد. تا پایان زمستان، کرم ها ۶۵ پوند دورریز را مصرف کردند. کمپوست کرم تولید شده منجر به رشد چشمگیر سبزیجات در باغ او شد (Rodríguez-Canché, L. et al., ۲۰۱۲). رایج ترین کرم هایی که در سیستم های کمپوست استفاده می شوند، کرم های آیزینیا فتیدا هستند که با بیشترین سرعت در دمای ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد تغذیه می کنند. آنها می توانند در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد زنده بمانند. دمای بالای ۳۰ درجه سانتیگراد ممکن است به آنها آسیب برساند. این محدوده دما به این معنی است که تولید ورمی کمپوست با استفاده از این گونه کرم در همه مناطق به جز مناطق گرمسیری امکان پذیر است (gajalakshmi et al. ۲۰۰۰). آیزینیا فتیدا زندگی در خاک هایی که pH بین ۷ تا ۸ است را ترجیح می دهد (Ismail et al. ۲۰۰۳). ضایعات آلی و به ویژه پسماندهای مواد غذایی تجزیه پذیر بخش قابل توجهی از پسماندهای کشاورزی و بعضا صنعتی شهری هستند. در بسیاری از کشورها ضایعات غذایی بخش بزرگی از پسماندهای شهری تولیدی روزانه را تشکیل می دهند، به عنوان مثال، نتیجه یک مطالعه نشان داد که ایران پتانسیل تولید سالانه ۴ میلیون تن کمپوست از پسماندهای جامد شهری را دارد (Gupta ۲۰۰۳). سیستم گوارشی کرم ها محیط هایی را ایجاد می کند که به گونه های خاصی از میکروب ها اجازه رشد می دهد تا به ایجاد یک محیط خاکی زنده برای گیاهان کمک کند (Su et al. ۲۰۱۶). محققان دریافته اند که از کمپوست کرم نیز می توان برای پاکسازی فلزات سنگین استفاده کرد. محققان کاهش قابل توجهی در فلزات سنگین را هنگامی که کرم ها در زباله رها می شوند دریافته اند و آنها در حذف سرب، روی، کادمیوم، مس و منگنز موثر هستند (Swati and Hait ۲۰۱۷; Sun et al. ۲۰۲۰). دو روش اصلی برای تولید ورمی کمپوست وجود دارد، ورمی کمپوست در سطل و مخازن کوچک، متوسط یا

همچنین برای ایجاد حرکت‌های رفت و برگشت در دو جهت، از یک کلید چپ گرد- راست گرد در تابلو دستگاه استفاده شد. شکل ۲ نقشه کلی از تابلوی برق دستگاه مورد نظر را نشان داده است. شکل‌های ۳ و ۴، تابلو برق سیستم را همراه با کلید راه انداز مربوطه نشان داده است که دارای دو شستی فرمان به ترتیب برای راه‌اندازی پمپ آب و جک برقی می‌باشد.



شکل ۱- نمایی کلی از معرفی بخش‌های مختلف دستگاه



شکل ۲- نقشه تابلوی برق دستگاه



شکل ۳- کلید راه انداز پمپ و جک برقی

شاسی که می‌توان گفت همه قطعات دستگاه راکتور ورمی کمپوست روی آن نصب می‌شوند، وظیفه تحمل وزن بستر و دستگاه و همچنین نصب و جای‌گیری اجزای مختلف دستگاه را بر عهده دارد چراکه تمامی قطعات به‌صورت مونتاژی بر روی شاسی اصلی دستگاه سوار می‌شوند تا در صورت لزوم بتوان به‌آسانی اجزای دستگاه را از هم جدا و یا دوباره مونتاژ نمود. ابعاد کلی دستگاه بر اساس نقشه‌ها، ۱۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۷۰۰ میلی‌متر به ترتیب در ابعاد طول، ارتفاع و عرض دستگاه بوده است.

یکی از مشکلات موجود در سامانه برداشت کود ورمی کمپوست که در ابعاد متوسط هم متداول است مربوط به خوردگی و پاره شدن سیم بوکسل کشنده هاروستر می‌باشد که در اثر تاثیرات شیمیایی محیط اسیدی توده و همچنین رفت و آمد مکرر هاروستر و تماس اصطکاکی با بدنه شاسی رخ می‌دهد. به منظور حل این مشکل، در سیستم محرک این دستگاه با یک روش ابتکاری به عنوان اولین بار از جک برقی استفاده گردید. جک مورد استفاده با تغذیه DC و ظرفیت ۶۰۰ کیلوگرم و کورس ۴۵۰ میلی‌متر بوده و زمان طی کورس آن بین ۲ تا ۱۸ دقیقه است. برای اتصال جک به قاب هاروستر از دو اتصال مفصلی پشت سر هم به گونه‌ای استفاده شده است که هر کدام با ایجاد یک لقی و تولرانس در دو صفحه عمود بر هم، از احتمال قفل شدن حرکت جک و بیش باری پیش‌گیری نماید.

برق تغذیه جک برقی مورد استفاده از نوع جریان مستقیم (DC) می‌باشد. از آنجائی که برق شهری از نوع AC می‌باشد لذا باید از یک مبدل AC به DC استفاده گردد. برای این منظور از ترانس کاهنده ۲۲۰ ولت به ۱۲ ولت و نیز ۲۴ ولت (برای تغذیه پمپ آب) استفاده شده است.



شکل ۵- تابوی برق دستگاه

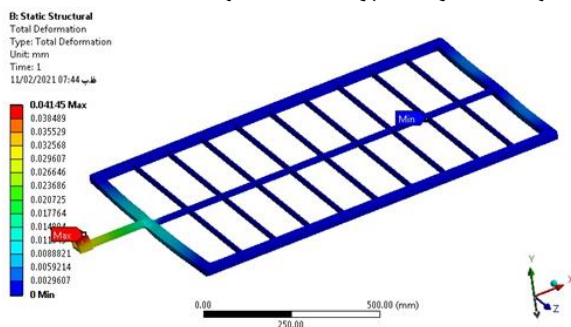
پس از ساخت و مونتاژ دستگاه، آزمایش‌هایی برای بررسی عملکرد دستگاه به انجام رسیده است. این آزمایش‌ها پس از بارگیری دستگاه با استفاده از پهن پوسیده گاوی تا ارتفاع ۴۵ سانتیمتر با تغذیه لایه به لایه و تدریجی صورت پذیرفت. به منظور بارگیری و آماده سازی، دستگاه به یک مزرعه تولید ورمی کمپوست منتقل شد. این مزرعه در زمینه تولید کمپوست فعال بوده و روش تولید آن بیشتر به صورت سنتی و بسترهای روی زمین است. هدف از انتقال دستگاه به این مزرعه، فراهم بودن مواد اولیه، کرم‌های آیزنیا فتیدا و تجهیزات مختلف فرآوری و آماده سازی توده‌های کود دامی برای تغذیه کرم‌ها بوده است. همچنین این مکان برای مقایسه عملکرد دستگاه ساخته شده با روش تولید سنتی ورمی کمپوست نیز مناسب بوده است به طوری که مقایسه در شرایط تغذیه‌ای و شرایط محیطی یکسان به انجام رسد. مواد اولیه برای بارگیری دستگاه با استفاده از آسیاب ویژه همین کار در مزرعه ورمی کمپوست خرد شد و توده یک‌دستی با بافت ریز برای تغذیه کرم‌ها آماده شد. سیستم آب‌پاش دستگاه شامل یک پمپ برقی کوچک، نازل‌ها، کلید برقی، مخزن و شبکه لوله‌های انتقال مایع است که مکانیزم ساده‌ای داشته و به راحتی کالیبره و راه‌اندازی شده است. دبی نازل‌ها به صورت سعی و خطا به گونه‌ای تنظیم شد که با راه‌اندازی مکرر پمپ به تعداد سه بازه ۱۰ ثانیه‌ای، رطوبت لایه بالایی توده تا ۸۰ درصد



شکل ۴- تابوی برق دستگاه

تنش خشکی به عنوان عامل محدود کننده تولید کود ورمی کمپوست محسوب می‌گردد. به منظور عملیات نیمه مکانیزه آبیاری، تجهیزات سیستم مه پاشی در سیستم اعمال گردید. تجهیزات استفاده شامل مخزن به حجم ۱۰ لیتر، پمپ آب، شیلنگ و نازل‌ها می‌باشد. ساختار بخش هاروستر شامل یک قاب متحرک است که در ریل‌های متصل به شاسی به جلو و عقب حرکت کرده و در هر کورس خود، با کشیدن تیغه‌ها در زیر لایه کمپوست، مقداری از کمپوست را تراشیده و از داخل سوراخ‌های شبکه توری زیرین، به بیرون از مخزن هدایت می‌کند. به منظور عملیات سرند کود ورمی کمپوست، از توری شماره ۳ سانتیمتر برای نگه‌داشتن بستر و ایجاد تکیه‌گاهی برای حرکت تیغه در زیر بستر استفاده شده است. نمای کلی دستگاه مطابق شکل ۵ است که پس از مونتاژ بخش‌های مختلف، آماده بارگیری و راه‌اندازی شده است.

کرم و کود، داخل محفظه ریخته شد و پس از گذشت زمان یک ماه، برای آغاز چرخه تولید ورمی کمپوست آماده شد. به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه آزمایش‌های اولیه‌ای به انجام رسیده است. بر همین اساس مخزن دستگاه با استفاده از کود دامی پوسیده شده بارگیری شده است. مواد پیش از بارگذاری، کاملاً خرد و الک شده است. به مقدار دو کیلوگرم کرم خاکی از گونه *آیزنیا فتیدا* به صورت یکنواخت و در یک لایه در عمق ۱۰ سانتیمتری مخزن قرار داده شد و روی آن‌ها به آرامی پوسیده شد. پس از یک هفته، یک لایه ۱۰ سانتیمتری دیگر از مواد خام بر روی لایه اولیه بارگیری شد و این کار در مدت ۴ هفته، به مرور تکرار گردید به گونه‌ای که مخزن پر شود. به منظور ارزیابی استحکام مکانیکی بخش‌های متحرک و با توجه به ظرفیت نیرویی نسبتاً بالای جک، شبیه‌سازی و تحلیلی برای این بخش‌ها در پیش گرفته شد. شکل‌های ۷ و ۸ وضعیت تنش‌ها و تغییر شکل‌های به‌وجود آمده در بخش‌های متحرک دستگاه را در سخت‌ترین شرایط کاری ممکنه نشان داده است. این تحلیل بر اساس روش اجزای محدود و با بارگذاری حالت پیشینه سیستم محرک دستگاه به انجام رسیده است. بر اساس نتایج حاصل شده از این شبیه‌سازی، کرنش‌ها و تغییر شکل‌های محتمل در بدنه دستگاه ناچیز دیده شده است و همچنین تنش پیشینه پدیدار شده در این بخش‌ها در حدود ۱۱۲ مگاپاسکال بوده است که با در نظر گرفتن استحکام مکانیکی مصالح تشکیل دهنده سازه (فولاد St^{37}) به‌نظر نمی‌رسد که محدودیتی از نظر شکست و یا تغییر شکل غیر قابل قبول در سامانه تولید کمپوست ایجاد گردد.



شکل ۷- تغییر شکل‌های بوجود آمده در بخش‌های متحرک دستگاه

تنظیم گردد. شکل ۶ پاشش نازل‌ها و آبیاری توده را در دستگاه نشان داده است.



شکل ۶- عملکرد نازل‌های آب پاش طی کالیبره کردن دبی و زمان پاشش

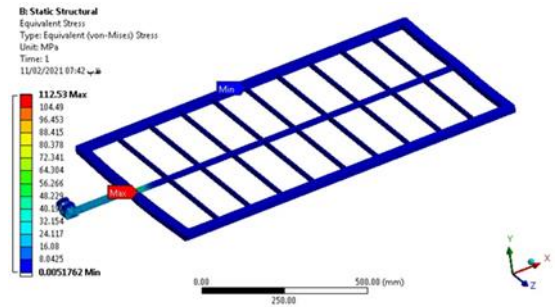
هاروستر یا واحد برداشت کمپوست آماده شده، شامل مجموعه تیغه‌های به موازات یکدیگر در کف مخزن دستگاه است که با فرمان سیستم برقی و جک الکتریکی در دو جهت رفت و برگشت حرکت نموده و با تراشیدن کف لایه کمپوست، کمپوست رسیده را تراشیده و به زیر مخزن دستگاه هدایت می‌کنند. برای بررسی استحکام مکانیکی قسمت‌هایی از دستگاه که متحرک بوده و امکان ایجاد مشکلاتی مانند شکست و تغییر شکل بالا در آن‌ها دیده شد از محیط نرم افزار المان محدود ANSYS استفاده شد. برای این منظور، مدل بخش‌های مزبور از محیط سالدورکس به محیط انسیس منتقل شد و پس از اعمال شرایط مرزی متناسب و بارگذاری تحت پیشینه بارهای ممکنه، تحلیل شد.

۳- نتایج

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش ارائه شده است. در همین راستا به بررسی عملکرد دستگاه، بررسی پارامترهای کاری مجموعه مانند رطوبت در لایه-های بسترهای بالایی و پائینی، میزان تراکم کرم در بستر و کیفیت کود ورمی کمپوست تولید شده از دستگاه پرداخته شده است. برای همین منظور، دستگاه تولید جریان پیوسته ورمی کمپوست پس از طراحی اولیه، ساخته و مونتاژ گردید و پیش از بارگیری اولیه دستگاه، برخی ارزیابی‌ها شامل احراز استحکام مکانیکی دستگاه و عملکرد مجموعه محرک تیغه‌های برشی با اعمال برخی اصلاحات و رفع مشکلات جزئی انجام گرفت. نهایتاً بستر، شامل ترکیب

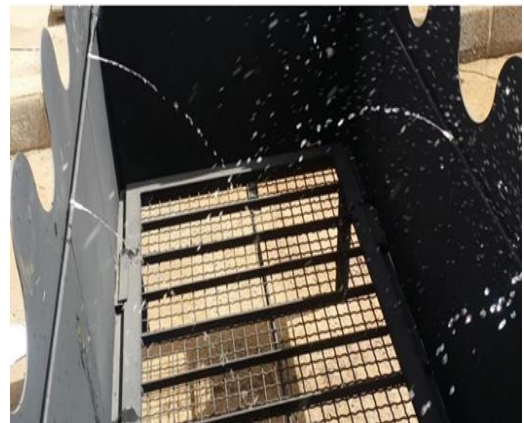
این سطح رطوبت، تیغه برشی برداشت دستگاه در داخل ورمی کمپوست به خوبی عمل می کند.

بخش برداشت دستگاه هم باید از نظر مقدار کمپوستی که طی هر سیکل از کف مخزن جدا می کند مورد ارزیابی قرار گیرد. بر اساس آزمایش های انجام شده، مقدار توده ای که با هر رفت و برگشت سیستم برداشت به زیر دستگاه ریخته شده است به طور متوسط ۵/۴ کیلوگرم مشاهده شده است. به منظور کالیبره کردن دستگاه و برداشت لایه ای به ضخامت ۵ سانتیمتر در هر برداشت، تعداد ۲ سیکل رفت و برگشت برای تیغه ها مناسب دیده شد و به عنوان پارامتر دیگری برای به کارگیری دستگاه ثبت گردید. برای بررسی وجود کرم ها در عمق های مختلف بستر، جهت تعیین زمان بندی صحیح تغذیه کود جدید و برداشت ورمی کمپوست و عملکرد صحیح دستگاه، اندازه گیری تراکم کرم در عمق های مختلف و در زمان های مختلف مورد نیاز بوده است. برای همین منظور، تراکم کرم ها در لایه های به عمق ۱۵ سانتی متر و در ۳ لایه مورد اندازه گیری قرار گرفت. لایه های مدنظر در این اندازه گیری ها از عمق ۱۵ سانتی متری بالایی محاسبه شده است زیرا بالاترین لایه به عمق ۱۵ سانتی متر شامل غذای تازه بوده و هنوز کرم ها به داخل آن حرکت نکرده اند. از طرفی با توجه به این که تراکم ورمی کمپوست در لایه های مختلف یکسان نبوده و لذا بیان تراکم کرم ها بر پایه جرم ورمی کمپوست مستلزم ایجاد خطا خواهد بود، بنابراین ابتدا چگالی لایه های مختلف ورمی کمپوست، محاسبه شده و سپس مقادیر تراکم کرم ها بر پایه حجم ورمی کمپوست و به صورت گرم بر لیتر ورمی کمپوست تعیین شد. مقادیر چگالی لایه های مختلف ورمی کمپوست در جدول ۱ نشان داده شده اند. بر اساس آمار تراکم کرم ها در لایه های مختلف دیده می شود که تعداد کرم در لایه اول در روزهای اول بالا بوده و نشان دهنده حضور بیشتر جمعیت کرم ها در این لایه است که این موضوع بالاتر در لایه های بالایی است. به مرور زمان و با کمتر شدن غذا در سطح بالایی به نظر می رسد کرم ها با وجود تخلخل و هوای کمتر در لایه های پایینی به این لایه ها مهاجرت می کنند. در همه شرایط دیده می شود لایه های پایینی چندان دلخواه کرم ها نبوده و این موضوع برای آماده شده برداشت لایه های پایینی مناسب است تا این که کرم ها در اثر حرکت تیغه ها آسیب نیینند.



شکل ۸- تنش های بوجود آمده در بخش های متحرک دستگاه

سیستم آبیاری سامانه با وجود سادگی مکانیزم خود لازم است دارای دبی معین بوده و زمان فعال شدن پمپ هم طی کالیبره کردن سیستم مزبور تعیین گردد. بر همین اساس مقدار دبی پمپ در مدت زمان ۱۰ ثانیه طی آزمایش هایی که انجام شد در حدود ۲۳۰ سی سی بوده است و طی آزمون و خطاهای انجام شده، این مقدار برای تامین رطوبت ۸۰ درصدی در لایه بالایی مخزن دستگاه با سه تکرار ۱۰ ثانیه ای تامین شده است و به عنوان یکی از مشخصات کاربردی دستگاه استخراج شده است. شکل ۹ آزمون تنظیم دبی و پاشش دستگاه را نمایش داده است.



شکل ۹- ارزیابی و تنظیم میزان پاشش آب پاش های دستگاه

پس از آبیاری، نمونه هایی از بسترها از لایه های اول، دوم و سوم به ضخامت های ۱۵ سانتیمتر جداسازی شده و پس از خشک کردن آنها، مقدار رطوبت همه لایه ها به صورت درصدی رطوبت بر پایه تر استخراج شد و بر همین اساس، رطوبت در لایه های اول، دوم و سوم به ترتیب ۸۰، ۷۷ و ۶۲ درصد اندازه گیری شده است. با گذشت زمان و رسیدگی کمپوست، مقدار رطوبت در لایه پایینی کمتر شده است و مقدار رطوبت ۲۴ درصد در زمان برداشت در پایین مخزن و هنگام تکمیل یک چرخه تولید ورمی کمپوست مشاهده شده است و این میزان رطوبت، برای کمپوست به دست آمده هم رطوبت مناسبی بوده و در

(درصد)		
آهن (ppm)	۱۳۲۷/۶	۹۷۸/۵

براساس نتایج آزمایشگاهی جدول بالا دیده می‌شود که کیفیت کمپوست تولیدی توسط دستگاه از نظر ویژگی‌های ارگانیک و عناصر غذایی تقریباً در همه موارد نسبت به کمپوست تولید شده به‌روش سنتی بستری دارد و این موضوع را می‌توان به تامین شرایط بهتر برای تغذیه کرم‌ها و هوادهی مناسب‌تر و همچنین رطوبت‌گیری یکسان توده نسبت داد (علیخانی، ۱۳۸۵).

۴- نتیجه‌گیری

طی این پژوهش، نمونه یک دستگاه هاضم ورمی کمپوست جهت تولید پیوسته ورمی کمپوست طراحی و ساخته شد و پس از آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌ها حاکی از آن بوده است که هاضم ساخته‌شده در این پژوهش قابلیت تولید جریان پیوسته ورمی کمپوست را دارد و علاوه بر این، این دستگاه امکان جداسازی کمپوست رسیده از کرم را هم به‌صورت بیولوژیکی دارا می‌باشد که بدین‌صورت می‌تواند محدودیت‌های جداسازی کرم از بستر خود را کم کند. دستگاه دارای یک سیستم ابتکاری در بخش هاروستر خود است که توانسته است بر مشکل خوردگی سیم بوکسل تیغه فائق آید چرا که در مدل‌های مرسوم از داخل مخزن و از میان محیط اسیدی و خورنده مواد داخل مخزن عبور می‌کند و به‌طور مداوم در خطر پوسیدگی و پارگی است. نتایج اندازه‌گیری‌های مقدار رطوبت توده ورمی کمپوست موجود در لایه‌های گوناگون مخزن هاضم و در فاصله‌های زمانی گوناگون نشان داد که میزان رطوبت موجود در لایه بالایی رطوبت مطلوب کرم‌ها بوده و کرم‌ها بیشتر تمایل به تجمع در این ناحیه با رطوبت و غذای بیشتر دارند و این موضوع به‌صورت موفقیت آمیزی در دستگاه ساخته شده مشاهده شده است. بر اساس ارزیابی آزمایشگاهی محصول ورمی کمپوست تولیدشده توسط این دستگاه در مقایسه با روش‌های تولید بستری و معمول، ورمی کمپوست تولید شده از کیفیت بالاتری به لحاظ عناصر غذایی برخوردار بوده است. پارامترهای تنظیمی دستگاه را می‌توان برای یک تولید نیمه خودکار ورمی کمپوست تعیین و پیشنهاد نمود که شامل دستورالعملی برای آبیاری توده و همچنین برداشت کمپوست رسیده است.

جدول ۱- تراکم کرم‌ها در لایه‌های بالا، میانی و تحتانی با مرور زمان

تراکم کرم (تعداد در لیتر)	در روز اول	چهار روز پس از بارگیری	۱۰ روز پس از بارگیری
لایه اول (بالایی)	۵۷/۴	۴۸/۶	۳۶/۸
لایه دوم (میانی)	۱۲/۲	۲۳/۸	۵۶/۱
لایه سوم (تحتانی)	۶/۱	۴/۳	۱۲/۴

بررسی کیفیت ورمی کمپوست تولیدشده توسط دستگاه در مقایسه با ورمی کمپوست تولیدی به‌روش بستری بر اساس نتایج ارزیابی آزمایشگاهی نمونه‌هایی از هر دو کمپوست به انجام رسیده است. با توجه به این که دستگاه در مجاورت یک مزرعه تولید ورمی کمپوست به‌روش سنتی و بسترهای روی زمین مورد آزمون قرار گرفته است، مواد اولیه برای تغذیه کرم‌ها و نیز وارینه کرم‌ها در هر دو روش یکسان بوده است. نتایج برگرفته از تجزیه هر یک از ورمی کمپوست‌ها شامل مقادیر pH، EC، مواد آلی، عناصر ماکرو و ریزمغذی‌ها است و در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲- مشخصات کمپوست تولیدی توسط دستگاه در مقایسه با روش سنتی بستری

مشخصه	تولیدی دستگاه	روش بستری
EC(ds/m)	۱/۴۱	۲/۰۲
ماده آلی (درصد)	۳۴/۷	۲۷
pH	۷/۰۸	۷/۶۵
مس (ppm)	۱۹/۵	۱۸/۷
ازت (درصد)	۳/۲۵	۱/۲۳
فسفر (درصد)	۰/۴۱	۰/۴۳
منگنز (ppm)	۲۷۶/۲	۲۷۰/۴
روی (ppm)	۹۹/۳	۸۵/۳
پتاسیم	۱/۲۳	۱/۲۰

منابع

- عبدلی، م.ع؛ روشنی، م. ر: ۱۳۸۶، *ورمی کمپوست (طراحی، ساخت و اجرا)*. انتشارات دانشگاه تهران.
- تی.وی. ساتی؛ ۱۳۸۵، *پرورش کرم‌های مولد ورمی کمپوست و کشاورزی پایدار ترجمه حسینعلی علی-خانی، جهاد دانشگاهی تهران، ۱۶۴-۱*.
- Gupta P.K. ۲۰۰۳ Why vermicomposting? In: *Vermicomposting for sustainable agriculture*, Agrobios (India), Agro House, Jodhpur, pp. ۱۴-۲۵.
- gajalakshmi, s. ramasamy, e.v. and abbasi, s.a. ۲۰۰۰. Towards maximising output from vermireactors fed with cowdog spiked paper waste. *bioresource technology*, ۷۹ (۶۷-۷۲).
- Ismail S.H, Joshi P and Grace A. ۲۰۰۳. The waste in your dustbin is scarring the environment – The technology of composting, *Advanced Biotech (II)* ۵: ۳۰-۳۴.
- Koval, V., Mikhno, I., ۲۰۱۹. Ecological sustainability preservation of national economy by waste management methods. *Econ. Ecol. Socium* ۳, ۳۰-۴۰.
- Lebersorger, S., Schneider, F., ۲۰۱۱. Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. *Waste Manag.* ۳۱, ۱۹۲۴-۱۹۳۳.
- Paul, S., Kauser, H., Jain, M.S., Khwairakpam, M., Kalamdhad, A.S., ۲۰۲۰. Biogenic stabilization and heavy metal immobilization during vermicomposting of vegetable waste with biochar amendment. *J. Hazard. Mater.* ۳۹۰, ۱۲۱۳۶۶.
- Rodríguez-Canché, L. et al., ۲۰۱۰. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Bioresource technology* ۱۰۱ (۱۰), ۳۵۴۸-۳۵۵۳.
- Sharma, M., McBean, E., ۲۰۰۹. Strategy for use of alternative waste sort sizes for characterizing solid waste composition. *Waste Manag. Res.* ۲۷, ۳۸-۴۵.
- Sun, F.-S., Yu, G.-H., Zhao, X.-Y., Polizzotto, M.L., Shen, Y.-J., Zhou, H.-B., Zhang, X., Zhang, J.-C., He, X.-S., ۲۰۲۰. Mechanisms of potentially toxic metal removal from biogas residues via vermicomposting revealed by synchrotron radiation- based spectromicroscopies. *Waste Manag.* ۱۱۳, ۸۰-۸۷.
- Su Lin Lim, Leong Hwee Lee, Ta Yeong Wu, Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis, *Journal of Cleaner Production*, Volume ۱۱۱, Part A, ۲۰۱۶, Pages ۲۶۲-۲۷۸.
- Swati, A., Hait, S., ۲۰۱۷. Fate and bioavailability of heavy metals during vermicomposting of various organic wastes—a review. *Process Saf. Environ. Prot.* ۱۰۹, ۳۰-۴۵.
- Wang, L., Zhang, Y., Lian, J., Chao, J., Gao, Y., Yang, F., Zhang, L., ۲۰۱۳. Impact of fly ash and phosphatic rock on metal stabilization and bioavailability during sewage sludge vermicomposting. *Bioresour. Technol.* ۱۳۶, ۲۸۱-۲۸۷.
- Yadav, K.D., Tare, V., Ahammed, M.M., ۲۰۱۰. Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling. *Waste Manag.* ۳۰ (۱), ۵۰-۵۶.

Development of a medium-scale continuous production system of compost from agricultural waste

Sajjad Derafshpour^۱ ; Aref Mardani^{۲*}

^۱ Ph.D of Mechanical Engineering, Faculty of agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

^۲ Associate Professor., Faculty of agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Nowadays, considering the environmental challenges, it seems inevitable to replace organic fertilizers with chemical fertilizers. From the point of view of nature lovers, biological methods for producing fertilizer and compost are very popular. The use of earthworms to digest masses of organic matter, including agricultural waste and food waste, is one of the methods used to produce organic fertilizers, especially vermicompost. The production of vermicompost in the traditional way usually leads to the production of relatively low quality and non-homogeneous compost. In this research, a reactor has been used for the continuous production of vermicompost. The device built in its harvester part includes an innovative mechanism. In this section, a reciprocating system for harvesting blades is used, which is started by an electric jack, and has eliminated the possibility of fatal corrosion and tearing of the blades. The performance of the device has been evaluated and calibrated by adjusting parameters such as the management of water sprinklers and the harvesting system, and it has been successful. The quality of vermicompost produced by the machine has been better in terms of food content compared to the product of the traditional method. The constructed digester has the ability to be used for composting wastes and organic waste on a medium scale.

Introduction

Sustainable agriculture can be understood as an ecosystem approach to agriculture. There are many ways to increase agricultural sustainability. When developing agriculture in sustainable food systems, it is important to develop business processes and flexible agricultural practices. Fertilizer application targets the needs of plants to help them grow faster. If a plant is deficient in micronutrients and macronutrients such as calcium, magnesium, potassium or phosphorus, adding fertilizer provides a quick and easy solution to reduce deficiencies. Organic wastes and especially degradable food wastes are a significant part of agricultural and sometimes urban industrial wastes. In many countries, food waste constitutes a large part of municipal waste generated daily. There are two main ways to produce vermicompost, vermicomposting in buckets and small, medium or large tanks and producing vermicomposting on a large and industrial scale. In this research, in order to design a continuous production system of compost from organic masses, the mechanisms used in various research works in recent years were examined and a correction mechanism was used in the harvesting unit section of the machine along with other common sections.

Methodology

During this research, a sample of a vermicompost digester was designed and built for the continuous production of vermicompost, and then it was evaluated. The various parts of the mentioned device are chassis and bases of the device, drive system chassis, drive system, misting system, electrical panel, harvester and walls. These parts are designed, made and assembled according to the workshop process. One of the problems in the vermicompost harvesting system, which is also common in medium sizes, is related to the corrosion and tearing of the harvester's wire box, which is caused by the chemical effects of the acidic environment of the pile, as well as the frequent movement of the harvester and frictional contact with the chassis body. In order to solve this problem, an electric jack was used for the first time in the driving system of this device with an innovative method. In order to semi-mechanized irrigation operation, fogging system equipment was applied in the system. After

making and assembling the device, tests have been carried out to check the performance of the device. These tests were done after loading the device using rotted cattle up to a height of ۴۵ cm with layer by layer and gradual feeding. ANSYS finite element software environment was used to check the mechanical strength of parts of the device that were mobile and the possibility of causing problems such as breakage and high deformation was seen in them.

Conclusion

In order to check the performance of the device, the working parameters of the set, such as the humidity in the upper and lower layers of the beds, the amount of worm density in the bed and the quality of the vermicompost produced by the device, have been investigated. After the initial design, the vermicompost continuous flow production machine was built and assembled, and before the initial loading of the machine, some evaluations were carried out, including verifying the mechanical strength of the machine and the performance of the driving set of the cutting blades by applying some modifications and solving minor problems. The flow rate of the pump in a period of ۱۰ seconds during the tests that were performed was about ۲۳۰ cc, and during the tests and errors, this amount was used to provide ۸۰٪ humidity in the upper layer of the device tank with three repetitions of ۱۰ seconds which has been extracted as one of the functional specifications of the device. Based on the experiments, the amount of mass that has been poured under the device with each round trip of the harvesting system has been observed to be ۰,۴ kg on average. In order to calibrate the device and harvest a layer with a thickness of ۵ cm in each harvest, the number of ۲ back-and-forth cycles was found suitable for the blades and was recorded as another parameter for the use of the device. Based on the statistics of the density of worms in different layers, it can be seen that the number of worms in the first layer is high in the first days, and it indicates the presence of a larger population of worms in this layer, which is mostly due to the presence of more food in this layer and oxygen is higher in the upper layers. Over time and with less food in the upper level, worms seem to migrate to these layers despite the porosity and less air in the lower layers. In all conditions, it can be seen that the lower layers are not liked by the worms, and this issue is suitable for preparing the harvest of the lower layers so that the worms are not damaged by the movement of the blades. The results of the evaluations have indicated that the digester built in this research has the ability to produce a continuous flow of vermicompost, and in addition, this device has the possibility of separating the ripe compost from the worm in a biological way, which can overcome the limitations of worm separation. The device has an innovative system in its harvester section, which has been able to overcome the problem of corrosion of the boxel wire of the blade, because in conventional models, it passes through the tank and through the acidic and corrosive environment of the material inside the tank and continuously. Therefore, there is a risk of rotting and tearing. The results of measuring the amount of moisture in the vermicompost mass in different layers of the digester tank and in different time intervals showed that the amount of moisture in the upper layer is the optimal moisture for worms and that worms tend to accumulate more. In this area, they have more moisture and food, and this issue has been successfully observed in the manufactured device. Based on the laboratory evaluation of the vermicompost product produced by this machine, compared to conventional and bed production methods, the produced vermicompost has a higher quality in terms of nutritional elements. The setting parameters of the device can be determined and suggested for a semi-automatic production of vermicompost, which includes instructions for mass irrigation and harvesting of ripe compost.

Keywords

Continuous flow reactor; Digester; *Eisenia fetida*; Vermi compost