مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار ۱۴۰۰، سال ۸، شماره ۳: ۳۱۴-۳۲۸

بررسی و مقایسه پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی بین کمپوست و ورمی کمپوست تهیه شده به‌روش ویندرو از لجن هاضم هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر همدان

عیسی سلامی ناصریان[۱]، مهرداد چراغی*[۲]، بهاره لرستانی[۲]، سهیل سبحان اردکانی[۳]، مریم کیانی صدر[۴]

[۱]دانشجوی دکترای تخصصی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
[۲]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
[۳]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
[۴]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: تولید کمپوست یک فرآیند تصفیه زیستی پسماندهای جامد آلی است که برای بازیابی و کاهش حجم مواد زائد و برنامه تثبیت کاربرد دارد. هدف این مطالعه مقایسه پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی بین کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی به روش ویندرو از لجن هاضم هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر همدان بوده است.

مواد و روش‌ها: با استفاده از روش ویندرو، نسبت به تولید کمپوست از لجن بستر دفعی لجن خشک‌کن (لاگون) تصفیه‌خانه فاضلاب شهر همدان و مخلوط کردن با مواد حجیم کننده اقدام شد. همزمان، تولید ورمی کمپوست از لجن دفعی با بکار گیری کرم خراطین (*Eisenia fetida*) در طی مدت ۱۵ هفته انجام شد. تجزیه و تحلیل داده- ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

یافته‌ها: تفاوت معنی داری در پارامترهای نسبت کربن به ازت (C/N)، pH، رطوبت، خاکستر، مواد آلی و سدیم بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست وجود نداشت در حالی که، از نظر مقادیر عناصر مس، کادمیوم، نیکل، سرب، روی و همچنین پارامترهای دما، کربن، نیتروژن، فسفر، منیزیم، کلسیم، مجموع کلیفرم و کلیفرم مدفوعی بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی تفاوت معنی دار وجود داشت. همچنین، میانگین غلظت فلزات سنگین در هر دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی کمتر از حد استاندارد EPA بود.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که مقادیر فلزات نیکل و سرب، عناصر غذایی کربن، نیتروژن، فسفر، منیزیم و جمعیت میکروبی کلیفرم مدفوعی در کمپوست تولیدی بیشتر از ورمی کمپوست و مقادیر فلزات مس، کادمیوم و روی و جمعیت میکروبی مجموع کلیفرم در ورمی کمپوست بیشتر از کمپوست تولیدی بوده است. بنابراین، می‌توان اذعان داشت که هر دو کود کمپوست از کیفیت مناسبی برای استفاده در کشاورزی و فضای سبز برخوردارند.

کلمات کلیدی: پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی، پسماند، لجن فاضلاب، کمپوست، کرم خراطین.

***نویسنده مسئول:** دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
ایمیل: cheraghi@iauh.ac.ir – شماره تماس: ۰۸۱۳۴۴۸۱۶۶۳

مقدمه

یکی از معایب عمده فرآیندهای تصفیه زیستی فاضلاب تولید نسبتاً زیاد لجن مازاد است. بطوریکه حدود ٤٠ الی ٦٠ درصد هزینه سرمایه‌گذاری و متجاوز از ٥٠ درصد هزینه راهبری و نگهداری تصفیه‌خانه‌ها به امر تصفیه لجن حاصل از فرآیندهای تصفیه فاضلاب مربوط می‌شود[1]. بدلیل محدودیت‌های قانونی که در مورد روش‌های سوزاندن و دفن لجن فاضلاب در اراضی و اقیانوس‌ها بوجود آمده است، متخصصین محیط‌زیست برای رهایی از مشکلات ناشی از لجن تولید شده در تصفیه‌خانه‌ها، استفاده از آن را بعنوان کود در کشاورزی توصیه می‌کنند[2]. کمپوست کردن لجن دفعی فاضلاب یک فرآیند زیست حرارتی هوازی یا بی‌هوازی است که طی آن اجزاء آلی تجزیه می‌شوند[3]. لجن فاضلاب رسوباتی است تشکیل شده از مواد معدنی و آلی که در مراحل مختلف تصفیه بصورت توده غلیظی از فاضلاب جدا می‌شود[4]. بخش اعظم لجن فاضلاب را مواد آلی با قابلیت تجزیه زیستی تشکیل می‌دهند که اگر این مواد آلی از دیگر ترکیبات مواد زائد جدا شده و مورد تجزیه باکتری‌ها و کرم‌ها قرار گیرند، محصول نهایی کود ترکیبی یا هوموس گفته می‌شود[5]. کمپوست و ورمی کمپوست بدلیل فن‌آوری آسان برای تثبیت لجن فاضلاب مورد توجه قرار گرفته است، که با افزودن عوامل حجیم کننده، اختلاط مکانیکی و شرایط هوازی در تولید آن فراهم می‌شود[6,7]. تولید ورمی کمپوست، فناوری استفاده از انواع خاصی از کرم‌های خاکی است که بدلیل داشتن توان رشد و تکثیر بسیار سریع، برای مصرف انواع مواد آلی زاید، مواد آلوده کننده محیط و خارج شده از چرخه‌ی تولید را به یک کود آلی با کیفیت بالا، کرم‌های حاوی پروتئین بالا بعنوان غذای ماهی و منبع تولید مواد دارویی و بهداشتی تبدیل می‌کنند[8]. مواد دفعی کرم‌های خاکی که همان کود آلی ورمی کمپوست نام دارد، قابلیت انحلال بالایی در آب دارد و براحتی از طریق گیاهان جذب می‌شود. کاربرد ورمی کمپوست در زمین‌های کشاورزی، نه تنها سبب افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود، بلکه قابلیت نگهداری آب را در خاک افزایش می‌دهد[9]. روش‌های متعددی برای تولید ورمی کمپوست وجود دارد که در این میان یکی از مهمترین روش‌ها استفاده از کرم‌های خاکی بویژه خانواده‌ی لومبریسیده (Lumbricidae) مانند ایزنیا فوئتیدا (*Eisenia fetida*) در تولید کود از مواد زاید آلی که ورمی کمپوست یا کمپوست کرمی نامیده می‌شوند، است[10,11]. کرم خراطین بعنوان یکی از مهمترین گونه‌های شناخته شده است که مشخصه‌هایی چون زمان فرآیند پوسش کم، کیفیت کرم پوسال بالا، تکثیر سریع، توانایی بالا در سازگاری با شرایط مختلف محیطی و بازده بالایی دارد[12]. ورمی کمپوست، مواد حاصل از بستر رشد کرم و شامل مواد دفعی بهمراه مواد آلی تجزیه شده و همچنین اجساد کرم‌ها بوده که برای گیاهان ارزش غذایی فراوانی دارد[13]. در فرآیند تولید کمپوست کرمی از لجن فاضلاب، کرم‌های خاکی بعنوان عوامل زیستی تثبیت مواد آلی زائد مورد استفاده قرار می‌گیرند[14]. کود کمپوست علاوه بر داشتن مواد مغذی برای رشد و نمو گیاهان، می‌تواند با جذب میزان قابل توجهی آب، در مواقع لزوم آب مورد نیاز گیاه را تأمین نماید. در صورتی که فرآیند کمپوست بطور صحیحی بهره برداری شود، کود حاصله عاری از پاتوژن‌ها و بذر علف‌های هرز می‌باشد. کاربرد کمپوست غیر استاندارد، مسائل و مشکلاتی عدیده‌ای ایجاد می‌کند. استفاده کود با نسبت C/N زیاد موجب پدیده دزدی ازت خاک خواهد شد؛ بالعکس استفاده کود با نسبت C/N پایین برای تبدیل ازت موجود به پروتئین، ارگانیسم‌ها تمامی کربن را مصرف نموده و موجب انتشار آمونیاک به اتمسفر شده که نقصان ازت در توده کمپوست را نشان می‌دهد. اگر میزان فلزات سنگین موجود در کود بیشتر از حد مجاز باشد، موجب می‌شود میزان زیادی از آن توسط گیاهان جذب شود که هم برای گیاه و هم برای انسان‌هایی که از آن استفاده

می‌کنند، می‌تواند آلوده کننده و سرطان زا باشد. بدیهی است فسفر، پتاسیم و عناصر غذایی دیگر نیز برای رشد گیاهان مورد نیاز است که این مواد نیز در کود کمپوست یافت می‌شود. مقادیر فلزات سنگین مانند کادمیم، مس، سرب و روی در تمام کمپوست پیدا شده است و نگرانی‌هایی در مورد وجود عناصر سمی که با ورود به زنجیر غذایی از طریق مواد غذایی حاصل از محصولات کمپوست که بعنوان کود استفاده شده، وجود دارد. روش‌های مختلف تولید با استفاده از تجهیزات مکانیکی و ماشین آلات پیشرفته با راندمان‌های بالا و کرم‌ها در کشورهای اروپایی و سایر نقاط جهان در حال توسعه می باشد. این روش را می توان یکی از بهترین روش‌ها برای جلوگیری از دفن مواد آلی و همچنین تبدیل آن مواد به یک محصول با ارزش از نظر اقتصادی و محیط زیستی دانست. تولید کود آلی و جداسازی مواد بازیافتی، بایستی در زمره مهم ترین برنامه‌های مدیریت پسماند جامد قرار گیرد؛ چون اگر کنترل کیفی کود آلی به دقت انجام شود، می‌توان به اهداف اصلی که تولید کود از پسماند و کاهش حجم و وزن مواد، شیرابه، انتشار بو و با استفاده در خاک‌ها باعث حاصل خیزی بیشتر آنها می‌شود، دست یافت[5]. در مطالعه سبحانی (۲۰۱۸) که با هدف ارزیابی پارامترهای فیزیکوشیمیایی فرآیند کمپوست کردن زباله شهری در مدت ٤٠ روز انجام شد، مقادیر pH به ۷/۵–۷/٤ و مقادیر نسبت C/N نیز در محصول نهایی به ۲۲–۲۸ درصد کاهش یافت. از طرفی، محتوی نهایی مواد مغذی در مقایسه با میزان اولیه افزایش یافت و در نتیجه مشخص شد که کمپوست بعنوان یک روش مدیریت برای احیای فلزات سنگین موجود در زباله شهری مناسب است[15]. در مطالعه‌ای که توسط عمرانی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی تأثیر ترکیب مواد ورودی بر کیفیت کمپوست تولیدی به روش توده‌های استاتیک با هوادهی فعال انجام شد، نتایج مقایسه محصول نهایی با استانداردهای ایران، آمریکا و کانادا نشان داد که روش استاتیک در هر دو ترکیب سبب تثبیت پسماندهای جامد و در نهایت منجر به تولید کمپوست مناسب شده است[16]. در مطالعه حیدری (۲۰۱٦) که با هدف بررسی کیفی کمپوست تولیدی کارخانه زاهدان با در نظر گرفتن خواص فیزیکوشیمیایی انجام شد، نتایج نشان داد که کمپوست تولیدی از لحاظ محتوی فلزات سنگین در محدوده استانداردهای اتحادیه اروپا، آمریکا، کانادا و استاندارد ملی ایران بوده است[17]. مونتجو و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای نسبت به بررسی خواص فیزیکوشیمیایی ۳۰ نمونه از کمپوست حاصل از پسماند جامد شهری اقدام کرده و نتیجه گرفتند که بجز در مورد سرب، غلظت سایر فلزات سنگین در کمپوست تولیدی زیر حد مجاز بوده است[18]. بوروسزکو (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای که بر روی تولید ورمی کمپوست از لجن فاضلاب شهری انجام داد به این نتیجه دست یافت که کود ورمی کمپوست بدلیل داشتن مواد معدنی خوب و پوسیده از کیفیت بالایی برخوردار بوده است[14].

امروزه عدم مدیریت صحیح دفع لجن تصفیه‌خانه فاضلاب در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران باعث بوجود آمدن مشکلات محیط‌زیستی عدیده ای شده است. کمپوست کردن یکی از بهترین روش‌ها در این زمینه است، که علاوه بر جلوگیری از آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین خاک و هوا، بعنوان یک منبع کود آلی می‌تواند از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی جلوگیری کرده و باعث حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی شود. لذا، در این مطالعه نسبت به مقایسه پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی به روش ویندرو از لجن هاضم هوازی تصفیه خانه فاضلاب شهر همدان اقدام شد.

مواد و روش‌ها

محل مورد مطالعه

تصفیه خانه فاضلاب همدان در دو بخش مایع و لجن با استفاده از فرآیند روش تغذیه مرحله‌ای و هاضم‌های بی‌هوازی برای تثبیت لجن در ٤ مدول ۲۵۰۰۰۰ نفری و دبی متوسط

٦٤٠ لیتر بر ثـانیه که ۲ مدول آن برای جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفری و دبی ۱۲۸۰ لیتر بر ثانیه سـاخته شـده اسـت. در حال حاضر بخش لجن تغلیظ شده آن بدون استفاده از هاضم بی هوازی و تخلیه در لاگون‌های رو باز برای تثبیت اولیه مورد بهره‌برداری قرار گرفتـه اســت. میزان لجن دفعی مـازاد بـالغ بر ۵۰۰ متر مکعب در ٢٤ ســاعت شــبانه‌روز اســت که پس از تخلیه و آبگیری تبخیری در لاگون‌های رو باز بصورت غیر بهداشتی و به روش کالچال در خاک دفن می‌شود[19].

آماده سازی و راه اندازی پایلوت

در نقطه‌ای از تصـفیه خانه فاضـلاب شـهر همدان، مکانی مسـقف و با تهویه مطبوع و کفپوش سـیمانی و دارای شـیبی مناسب انتخاب و پایلوت‌ها در آنجا مستقر شدند. طول هر دو پایلوت ۳ متر و با عرض ۱ الی ۱/۵ متر و ارتفاع پایلوت بدون ورمی ۱ متر و در پـایلوت با ورمی حداکثر ٤٠ ســانتی‌متر در نظر گرفته شد. بدلیل بالا بودن میزان رطوبت و عدم تعادل بین نســبت C/N در کیـک لجن قبـل از شــروع عملیات تولید کمپوست، مقداری خاک اره به نسبت ۱ به ۳ با توجه به رابطه نســبت اختلاط خاک اره/ لجن و درصــد ذرات جامد بعنوان مـاده حجیم کننـده و بمنظور ایجـاد تخلخـل و کـاهش میزان رطوبـت و همچنین مقداری ســبوس برنج و کاه بعنوان مواد بهینه کننده ازت و مکمل کربن به لجن‌ها افزوده شـد. با توجه به رابطه موجود در نسبت اختلاط بین حجم خاک اره به حجم لجن، این نسـبت در تیمارها طوری تنظیم و در نظر گرفته شد تا ضـمن اینکه میزان رطوبت به حدود ۷۰ –٦٠ درصـد برسد، تخلخل مناسـبی نیز در بین ذرات جامد لجن ایجاد شـود تا به عبور هوا در تیمارهای هوازی کمک کرده و همچنین نســبت C/N در محدوده بین ۲۵–۳۰ فراهم شــود. به پایلوت با ورمی حدود ۱۰۰۰ عدد کرم به وزن تقریبی ۱۰۵۰ گرم اضافه شد. از طریق انـدازه گیری روزانـه و هفتگی و شــروع و پایان تولید کمپوســت و ورمی کمپوســت، پارامترهای فیزیکوشـیمیایی و زیسـتی روند فرآیند تولید تا تهیه محصول نهایی ارزیابی شد. از طرفی، برای اطمینـان از راســتی آزمـایی و جلوگیری از انحراف تولیدکمپوســت و ورمی کمپوســت، نسـبت به کنترل پارامترهای پتانسـیل اکسـیداسیون و احیاء، کنترل و مهار تولید نیتروژن، هدایت الکتریکی (EC) و میزان فلزات سنگین همراه محصــولات اقدام شــد. توده ویندرو در طول مدت ۱۵ هفته پایش بصــورت دوره ای زیر و رو شــد تا مواد درون توده در معرض هوا قرار گیرد و حرکـت هوا در میـان مواد بهبود یابد. این امر بـه کاهش رطوبت نیز کمک کرد. دمای توده تا حدود ٤٥ درجه ســانتی گراد برای تیمار یک (بدون کرم ایزینیا) و تا حدود ۳۵ درجه سانتی گراد برای توده تیمار دو (همراه با کرم خراطین) تثبیت و بطور روزانه توســط دماســنج مخصــوص پـایش و کنترل شــد. علاوه بر این، توده ها هر هفته به کمک بیل زیر و رو شدند[19،20].

نمونه برداری

از قسـمت‌های مختلف بسـتر لجن خشک‌کن تصفیه خانه فاضلاب شهر همدان، مقدار ۱۰۰۰ کیلوگرم لجن جمع- آوری و به محل اسـتقرار پایلوت منتقل شـد. سـپس از قسـمت‌های مختلف لجن هاضـم هوازی بصـورت تصـادفی نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌های جمع آوری شـده با یکدیگر مخلوط شـده و یک نمونه مرکب بدست آمد. پس از تهیه کمپوست از لجن، نمونه برداری در فصـل تابسـتان سال ۱۳۹۸ از کودهای کمپوســت و ورمی کمپوســت با دوره توالی ۷ روزه تا هنگام رسیدن کود و پایان یافتن فرآیند در هفته پانزدهم انجام گرفت. نمونه بصـورت تصـادفی از نقاط مختلف توده‌های کمپوسـت پس از زیر و رو کردن آنها برداشته و سپس با یکدیگر مخلوط و یک نمونه مرکب بدسـت آمد. بدین صـورت که در مجموع تعداد ۱۵ نمونه مرکب از کمپوســت تهیه شــد. نمونه برداری مرکب از لجن و کمپوسـت‌ها بر اسـاس دسـتورالعمل ۱۳۳۲۰ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام شد[21].

روش کار

در این پژوهش توصیفی-مقطعی، مقادیر میانگین دما بصورت روزانه از عمق ۲۵ سانتی متری کمپوست و پارامترهای رطوبت، pH، نسبت C/N، درصد مواد آلی فرار، درصد خاکستر و کربن، فلزات سنگین، عناصر معدنی مغذی، هدایت الکتریکی و تعداد عوامل بیماری‌زا شامل کلیفرم کل و مدفوعی بصورت هفتگی اندازه گیری و ثبت شد. برای اندازه-گیری دمای روزانه از دماسنج شیشه‌ای استفاده شد. مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی کمپوست شامل رطوبت، pH، EC، کربن آلی، ازت کل، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، فلزات سنگین طبق دستورالعمل ۱۳۳۲۰ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تعیین شدند[۲۱]. درصد رطوبت کمپوست از طریق خشک کردن نمونه در دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سانتی گراد بمدت ۲٤ ساعت با استفاده از دستگاه آون بدست آمد. برای اندازه-گیری EC و pH، ابتدا سوسپانسیون از نمونه کمپوست،۱/۱۰ وزن به حجم کمپوست به آب مقطر تهیه و سپس بمدت ۳۰ دقیقه شیکر شده و در نهایت توسط دستگاه pH متر و EC متر مدل AZ-86505 قرائت شد. تعیین درصد کرین آلی به روش اصلاح شده والی بلاک (Walkley-Black) انجام شد، به این صورت که ابتدا ۰/۱ گرم نمونه کمپوست خشک، آسیاب شده و به آن محلول دی کرومات پتاسیم نرمال و اسید سولفوریک غلیظ اضافه شد و بمدت سه ساعت در دمای آب جوش حرارت داده شد. سپس شناساگر اورتوفنانترولین اضافه و با محلول فرو آمونیوم سولفات تیتر گردید. درصد کربن آلی از مقدار مصرفی فروآمونیوم سولفات محاسبه شد. درصد ازت کل به روش کجلدال (Kjeldahl Method) توسط دستگاه تمام اتوماتیک ۱۲ خانه‌ای ٤۹ Buchiاندازه گیری شد. نسبت C/N نیز از تقسیم کربن آلی بر ازت کل محاسبه شد. برای اندازه گیری فسفر، سدیم، منیزیم و کلسیم، ۱ گرم نمونه آسیاب شده را در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا به خاکستر تبدیل گردد. سپس به خاکستر حاصله، اسید کلریدریک اضافه شد و به حجم ۱۰۰ رسانده شد. میزان فسفر به روش اولسن (Olsen) اندازه‌گیری شد به این صورت که از محلول حاصل از مرحله قبل، ۱۰ میلی لیتر برداشته و به آن ۱۰ میلی لیتر محلول زرد اضافه شد و با استفاده از اسپکتوفتومتر (Shimadzu UV-۱۸۰۰) در طول موج ٤۷۰ نانومتر، میزان فسفر به دست آمد. سدیم، منیزیم و کلسیم به روش فلیم فتومتری (Fater Electric, Iran) اندازه گیری شد. برای تعیین کل جامدات فرار (آلی) از روش گراویمتری استفاده شد. برای تعیین میزان فلزات سنگین، ابتدا ۱ گرم نمونه بمدت یک ساعت در دمای ۵۵۰ درجه ساتیگراد حرارت داده شد. فلزات در نمونه حرارت دیده با اضافه نمودن ۷/۵ میلی لیتر اسید هیدروکلریدریک غلیظ و ۲/۵ میلی لیتر اسید نیتریک هضم و استخراج شدند. سپس، مقادیر فلزات سنگین در طول موج مشخص هر فلز به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) با استفاده از دستگاه نشر اتمی Varian مدل ES– 710 خوانده شد۱۹. پارامترهای زیستی شامل کلیفرم‌های کل و مدفوعی بر اساس روش‌های استاندارد تعیین مقدار گردید. برای انجام آزمایش‌های میکروبی، مقدار ۲۰ گرم نمونه در ۱۸۰ میلی لیتر محلول آب نمک ۰/۸ درصد ریخته شد و بمدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه با استفاده از شیکر مخلوط گردید. سپس رقت‌های مناسبی به روش ترقیق چند مرحله‌ای از دوغاب تولیدی به دست آمد و آزمون‌های میکروبی مورد نظر بر اساس روش‌های استاندارد انجام و در نهایت نتایج بصورت MPN در گرم ماده خشک ثبت شد۲۲. روش سنجش پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱ : روش سنجش پارامترهای مورد ارزیابی[۲۱،۲۲]

پارامتر	روش سنجش
دما	دماسنج شیشه‌ای
رطوبت	ثقل سنجی
EC و pH	دستگاهی
کرین آلی	اصلاح شده **Walkley-Black**
ازت کل	کجلدال
سدیم، منیزیم و کلسیم	فلیم فتومتری
فسفر	اولسن
کل جامدات فرار (آلی)	گراویمتری
فلزات سنگین	هضم توسط اسید هیدروکلریدریک و اسید نیتریک هضم و سنجش توسط دستگاه نشر اتمی **Varian** مدل 710 –ES
کلیفرم‌های کل و مدفوعی	ترقیق چند مرحله‌ای

پردازش آماری نتایج با استفاده از ویرایش ۲۰ نرم افزار SPSS در سطح معنی داری ۰/۵ انجام شد. بدین صورت که از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون تی تک نمونه‌ای برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه با استاندارد EPA و از آزمون تی مستقل برای مقایسه میانگین غلظت پارامترها بین کود کمپوست و کود ورمی کمپوست استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج سنجش پارامترهای فیزیکوشیمیائی و زیستی در نمونه لجن دفعی لاگون‌های تثبیت تصفیه خانه فاضلاب شهر همدان در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۳ میانگین مقادیر فلزات سنگین نمونه لجن دفعی لاگون‌های تثبیت تصفیه خانه فاضلاب شهر همدان را ارایه می‌کند.

پردازش آماری داده‌ها

جدول ۲: میانگین غلظت پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی در نمونه لجن دفعی لاگون‌های تثبیت تصفیه خانه فاضلاب شهر همدان

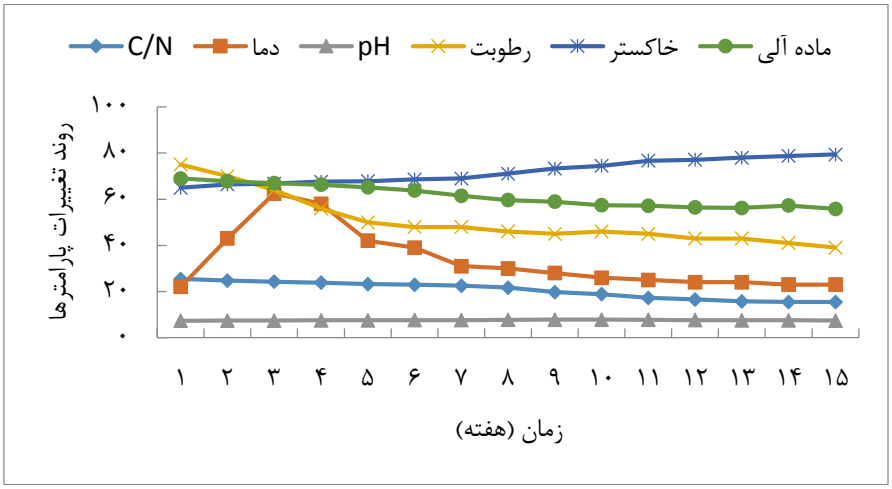
pH	رطوبت (٪)	خاکستر (٪)	جامدات خشک(٪)	کربن (٪)	دما °C	ازت کل (٪)	فسفر کل (٪)	Total Col. MPN/100ml	E. Coli MPN/100ml	EC(µs/cm)	C/N
۷/۵۱	۸۷/۸	۷٤/۸	۱٤	۷۹/۳	۲۱	۲/٤	۱/۱	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	۱/۸	۳۳/۰٤

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه لجن دفعی لاگون‌های تثبیت تصفیه خانه فاضلاب شهر همدان

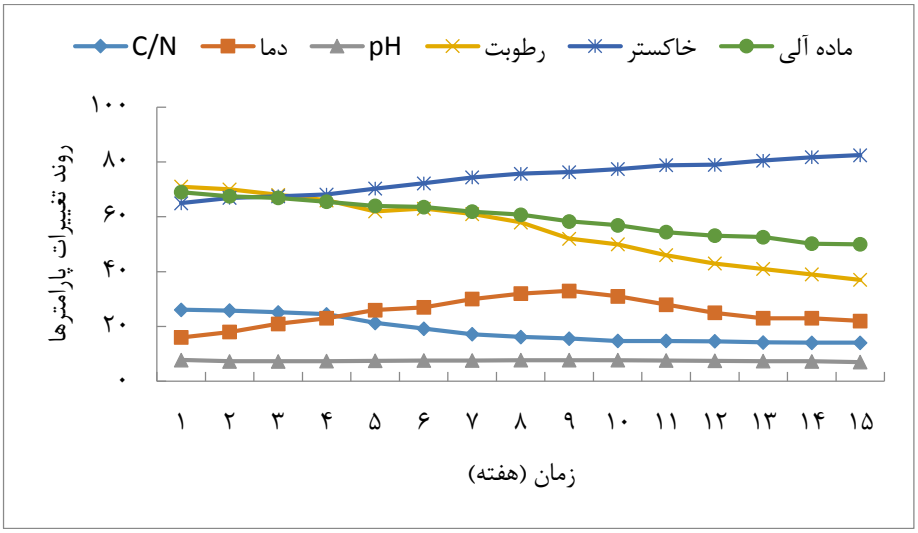
نوع فلز	سرب	نیکل	روی	مس	کادمیوم	مولیبدن	جیوه	آرسنیک
مقدار (mg/kg)	۷۰	<۰/۰۳۵	۱۰۵	۲٦	<۰/۰۲	<۰/۰۱۷	ندارد	ندارد

نمودارهـای ۱ و ۲ بـه ترتیـب نتـایج تغییرات متقابل دما، pH، نسـبت C/N، درصـد رطوبت، خاکسـتر و ماده آلی در مرحله تولید کمپوسـت (تیمار یک) و در مرحله تولید ورمی کمپوست (تیمار دو) را نشان می‌دهد.

نتایج ارائه شـده در نمودار ۱ بیانگر آن اسـت که از هفته اول تا هفته پانزدهم روند تغییرات نسـبت C/N، درصـد مواد آلی و درصـد رطوبت کاهشی و روند تغییرات درصد خاکستر افزایشـی بوده اسـت. دما نیز از هفته اول تا هفته سوم افزایش یافته و به ٦٢/٥ درجه سـانتی گراد رسـیده است، ولی از هفته سـوم تا هفته پانزدهم کاهش یافته اسـت. علاوه بر این، روند تغییرات pH از هفته اول تا هفته پانزدهم ثابت بوده است.



نمودار۱ : تغییرات متقابل دما، **pH**، نسبت **C/N**، درصد رطوبت، خاکستر و ماده آلی در مرحله تولید کمپوست (تیمار یک)



نمودار۲ : تغییرات متقابل دما، **pH**، نسبت **C/N**، درصد رطوبت، خاکستر و ماده آلی در مرحله تولید ورمی کمپوست (تیمار دو)

نتایج ارائه شـــده در نمودار ۲ بیانگر آن اســـت که از هفته اول تا هفته پانزدهم روند تغییرات نســـبت C/N، درصـــد مواد آلی و درصـــد رطوبت کاهشی و روند تغییرات درصد خاکستر افزایشـــی بوده اســـت. دما نیز از هفته اول تا هفته نهم افزایش یافته و به ۳۳ درجه سـانتی گراد رسیده است، در حالی که، از هفتـه نهم تـا هفته پانزدهم کاهش یافته اســـت. این در حالی اســـت که روند تغییرات pH از هفته اول تا هفته پانزدهم ثابت بوده است.

نتایج مربوط به فرائت مقادیر پارامترهای فیزیکوشـــیمیایی در نمونه‌های کمپوســـت و ورمی کمپوســـت در طول مدت ۱۵ هفته در جدول ٤ آورده شده است.

نتـایج منـدرج در جـدول ۳ بیانگر آن اســـت که میانگین پارامترهای کربن، نیتروژن، فسفر، منیزیم، کلسیم، نسبت C/N، دما، pH و مواد آلی فرار در کمپوســـت تولیدی بیشتر از ورمی کمپوســـت تولیدی بوده اســـت. میانگین پارامترهای رطوبت و خاکســـتر در ورمی کمپوســـت بیشـــتر از کمپوست تولیدی بوده اســـت. در حـالی که، میانگین مقادیر ســـدیم در هر دو کود کمپوست و ورمی کمپوست برابر بوده است.

نتـایج متوســـط جمعیت پاتوژن‌های موجود در نمونه‌های لجن هاضـم هوازی قبل و بعد از تولید کمپوست در جدول ۵ ارائه شـــده اســـت. نتایج بیانگر آن اســـت که جمعیت مجموع کلیفرم و کلیفرم مدفوعی در تیمار ۱ و ۲ نسبت به لجن هاضم هوازی کاهش یافته است.

جدول ٤: میانگین ۱۵ هفته‌ای مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن در شرایط هوازی

پارامتر	کمپوست	ورمی کمپوست	واحد سنجش
کربن	٤٨/۰۰±١٤/٩٣	٤٣/۰۰±٦/٥٥	درصد
نیتروژن	١/٧٠±۰/٨١	١/٦۰±۰/١۰	درصد
فسفر	٢/٣۰±۰/٣٤	١/٧۰±۰/٩٨	درصد
سدیم	۰/۰٦±۰/۰٢	۰/۰٦±۰/۰٣	درصد
منیزیم	٣/١٦±١/٣٦	٣/١۰±١/٢١	درصد
کلسیم	٢/٦۰±۰/٨٥	٢/٤۰±۰/٦٥	درصد
C/N	٢۰/٤٧±٣/٦٨	١٨/٥۰±٤/٧٥	
دما	٣٣/٣٧±١٢/٩٤	٢٥/٢۰±٥/۰٣	درجه سانتی گراد
pH	٧/٥٥±۰/١٥	٧/٤٩±۰/٢١	–
رطوبت	٥۰/٦±١۰/٨٣	٥٥/١٣±١١/٨٤	درصد
خاکستر	٧١/٩٦±٥/١۰	٧٤/٤٢±٥/٧٥	درصد
مواد آلی فرار	٦١/٢٩±٤/٧٦	٥٩/٦٤±٦/٤٨	درصد

جدول۵ : میانگین جمعیت عوامل بیماری زا موجود در نمونه لجن هاضم هوازی قبل و بعد از تولید کمپوست و ورمی کمپوست

نوع تیمار	**مجموع کلیفرم MPN/100mL**	**کلیفرم مدفوعی MPN/100mL**	**حد مجاز کلیفرم مدفوعی***	
لجن هاضم هوازی	$۸/۵\times۱۰^{۲}$	۸×۱۰^{۲}	کلاس **A**	**کلاس B**
کود کمپوست	$۱/٤\times۱۰^{۲}$	$٦/۵\times۱۰^{۲}$	<۱۰۰۰	**$<۲\times۱۰^{٦}$**
کود ورمی کمپوست	۷×۱۰^{۲}	$٤/۲\times۱۰^{۲}$	<۱۰۰۰	**$<۲\times۱۰^{٦}$**

جدول ۶: میانگین ۱۵ هفته‌ای غلظت فلزات سنگین در کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن در شرایط هوازی

کودهای تولیدی	فلز سنگین (**mg/kg**)	میانگین± انحراف معیار	حد استاندارد **EPA** [۳۳]
کمپوست	مس	۷۱/۳۳±٤/۱٦	۱۰۰
	کادمیوم	۰/۰۱۹±۰/۰۰۲	۱۰
	نیکل	۰/۰۳٤±۰/۰۱	۲۰۰
	سرب	۲۸/۳±۳/۲۱	۱۰۰
	روی	۱۱۰/۳±۱۰/۱۲	۲۰۰۰
ورمی کمپوست	مس	۱۵۲±۲۹/۱	۱۵۰۰
	کادمیوم	۰/۰۲±۰/۰۱	۳۹
	نیکل	۰/۰۲۹±۰/۰۰۵	٤۲۰
	سرب	۱۰/۰۰±٤/۲۷	۳۰۰
	روی	۱٦۱/۰۰±۲۳/۵٤	۲۸۰۰

کمپوست تولیدی از لجن در شرایط هوازی در جدول ٦ ارائه شده است.

نتایج مندرج در جدول ٦ بیانگر آن است که کمینه و بیشینه میانگین غلظت فلزات سنگین در لجن هاضم هوازی بدون ورمی کمپوست و با ورمی کمپوست به ترتیب مربوط به فلزات کادمیوم و روی بوده است. همچنین، میانگین غلظت فلزات سنگین در هر دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی کمتر از حد استاندارد EPA بوده است.

نتایج مقایسه میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی در جدول ۷ آورده شده است.

نتایج جدول ۷ بیانگر آن است که بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست از حیث میانگین مقادیر پارامترهای نسبت C/N، pH، رطوبت، خاکستر، مواد آلی و سدیم تفاوت معنی دار آماری وجود نداشته است، در حالی که تفاوت معنی داری از حیث میانگین مقادیر عناصر مس، کادمیوم، نیکل، سرب، روی و پارامترهای دما، کربن، نیتروژن، فسفر، منیزیم،کلسیم، مجموع کلیفرم و کلیفرم مدفوعی بین این دو نوع کود وجود داشته است.

جدول ۷: نتایج آزمون تی مستقل برای مقایسه میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی

پارامتر	آزمون فرض	آزمون لیون		t-test برای برابری میانگین‌ها						
		F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)	اختلاف میانگین	اشتباه استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪ حد پایین	فاصله اطمینان ۹۵٪ حد بالا
C/N	برابری واریانس‌ها	۱/۷۹	۰/۱۹	۱/۲۷	۲۸	۰/۲۱۵	۱/۹۷	۱/۵۵	−۱/۲۱	۵/۱۶
دما	نابرابری واریانس‌ها	۹/۸٤	۰/۰۰٤	۲/۲۸	۱۸/۱	۰/۰۳۵	۸/۱۷	۳/۵۸	۰/٦٤	۱۵/۷
pH	برابری واریانس‌ها	۱/٤۱	۰/۲٤۵	۰/۸۹	۲۸	۰/۳۷۹	۰/۰٦	۰/۰٦۷	−۰/۰۷۸	۰/۱۹۸
رطوبت	برابری واریانس‌ها	۰/۹۳۳	۰/۳٤۲	−۱/۰۹	۲۸	۰/۲۸۳	−٤/۵۳	٤/۱٤	−۱۳/۰۲	۳/۹۵
خاکستر	برابری واریانس‌ها	۰/۱۷۷	۰/٦۸	−۱/۲۲	۲۸	۰/۲۳۳	−۲/٤۱	۱/۹۸	−٦/٤۷	۱/٦٤
مواد آلی	برابری واریانس‌ها	۲/٤۲	۰/۱۳۱	۰/۷۹۳	۲۸	۰/٤۳۵	۱/٦۵	۲/۰۸	−۲/٦۱	۵/۹
مس	نابرابری واریانس‌ها	٤/۸۳	۰/۰۳٦	−۱۷٤/٤	۲۵/۲	۰/۰۰۰	−۸۰/۷٤	۰/٤٦	−۸۱/٦۸	−۷۹/۷۹
کادمیوم	برابری واریانس‌ها	۱/۰٦	۰/۳۱۳	−۲/۷٤	۲۸	۰/۰۱۱	−۰/۰۰۱	۰/۰۰۰٤	−۰/۰۰۱۷	−۰/۰۰۰۳
نیکل	برابری واریانس‌ها	۳/۸	۰/۰٦۱	۱۰/۹	۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰٤۱	۰/۰۰٦
سرب	نابرابری واریانس‌ها	۳۰/۹۱	۰/۰۰۰	٤۸/۲۲	۱٤/۲	۰/۰۰۰	۱۸/۲۸	۰/۳۸	۱۷/٤۷	۱۹/۱
روی	نابرابری واریانس‌ها	۳۱/٤۳	۰/۰۰۰	−۱۳۳/۹	۱٤/۱	۰/۰۰۰	−۵۰/۷۳	۰/۳۸	−۵۱/۵٤	−٤۹/۹۲
کربن	برابری واریانس‌ها	۰/۰۲٤	۰/۸۷۹	۱۱/٤۸	۲۸	۰/۰۰۰	٤/۸۷	۰/٤۲	۳/۹۹	۵/۷۳
نیتروژن	برابری واریانس‌ها	۰/۱۷۹	۰/٦۷٦	۲/۳۳	۲۸	۰/۰۲۷	۰/۱۰۳	۰/۰٤٤	۰/۰۱۲۲	۰/۱۹۳
فسفر	نابرابری واریانس‌ها	۱۳/۱۸	۰/۰۰۱	۱۸/۲٤	۱۵/۲	۰/۰۰۰	۰/٦	۰/۰۳۳	۰/۵۳	۰/٦۷
سدیم	برابری واریانس‌ها	۰/۱۸۸	۰/٦٦۸	۰/۰۰۰	۲۸	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۵	−۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
منیزیم	برابری واریانس‌ها	۰/۷٤٤	۰/۳۹٦	۱۰/۱٦	۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۵۷	۰/۰۰۵٦	۰/۰٤۵	۰/۰٦۸
کلسیم	برابری واریانس‌ها	۲/٦۵	۰/۱۱۵	۱۸/۱٤	۲۸	۰/۰۰۰	۰/۱۹	۰/۰۱۱	۰/۱۷	۰/۲۱
مجموع کلیفرم	برابری واریانس‌ها	۱/۷۹	۰/۱۹۲	−۱۱٤۷/۷	۲۸	۰/۰۰۰	−۰/۵٦۰	۰/٤۹	−۰/۵٦۱	−۰/۵۵۹
کلیفرم مدفوعی	برابری واریانس‌ها	۰/۲۷۲	۰/٦۰٦	٤۲۳/۳	۲۸	۰/۰۰۰	۰/۲۳۰	۰/۵٤	۲۲۸/۹	۲۳۱/۱

پایش پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی طی فرآیند کمپوست‌سازی و محصول نهایی در ارزیابی این فرآیند زیستی و کیفیت محصول نهایی دارای اهمیت اساسی می‌باشد. دما بعنوان یکی از پارامترهای اصلی برای ارزیابی فرآیند کمپوست و ورمی کمپوست می‌باشد، چرا که تغییرات دمایی، میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده و کرم‌ها و میزان تثبیت مواد آلی را مشخص می‌کند. مقایسه روند تغییرات دما بین دو پایلوت تولید کمپوست و ورمی کمپوست بیانگر آن بود که دما در کمپوست تولیدی از هفته اول تا هفته سوم افزایش یافته و به ٦۲/۵ درجه سانتی گراد رسیده است، در حالی که از هفته سوم تا هفته پانزدهم کاهش یافته است. در ورمی کمپوست تولیدی نیز دما از هفته اول تا هفته نهم افزایش یافته و به ۳۳ درجه سانتی گراد رسیده است، در حالی که از هفته نهم تا هفته پانزدهم کاهش یافته است. مطالعه حاضر نشان داد که هر چه توده کمپوست، عوامل حجیم کننده بیشتری داشته باشد آن توده زودتر به فاز ترموفیلیک می‌رسد و مدت زمان این فاز در آن توده طولانی تر خواهد بود. وینراس و جانسون[۲٤]، کدخدایی و همکاران[۲۵] و دستپاک و همکاران[۲٦] گزارش کردند که کاربرد مواد اصلاحی (عوامل حجیم کننده) برای رسیدن به شرایط ترموفیلیک کمپوست

سازی ضروری است. مطالعه تونرکلانک و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که استفاده از چمن‌های تازه چیده شده موجب افزایش دمای ترموفیلیک بیش از دو روز در فرآیند کمپوست سازی می‌شود۲۷.

نسبت C/N یکی از پارامترهای نشان دهنده تثبیت و بلوغ قابل قبول کمپوست و ورمی کمپوست است. سنسی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که این نسبت باید کمتر از ۲۰ باشد۲۸. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که از هفته اول تا هفته پانزدهم نسبت C/N در هر دو پایلوت کمپوست و ورمی کمپوست کاهش یافته است که این یافته- ها با نتایج مطالعه دستپاک و همکاران (۲۰۱۷) منطبق است۲٦. نتایج نشان داد که نسبت C/N در فرآیند تولید کود کمپوست پس از گذشت ۹ هفته و در فرآیند تولید ورمی کمپوست پس از گذشت ٦ هفته از آغاز مطالعه به نسبت بهینه (۲۰ >) رسیده است که این موضوع تایید کننده نقش کرم خراطین و میکروارگانیسم‌های موجود در لجن در تجزیه و معدنی شدن بسیار سریع مواد آلی است. روند تغییرات درصد رطوبت و ماده آلی در هر دو فرآیند تولید کود کمپوست و ورمی کمپوست از هفته اول تا هفته پانزدهم روبه کاهش و روند تغییرات درصد خاکستر از هفته اول تا هفته پانزدهم رو به افزایش بوده است. نتایج مطالعه دستپاک و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیانگر آن بود که مواد آلی با گذشت زمان از فرآیند تولید کمپوست و ورمی کمپوست کاهش و مقدار خاکستر با گذشت زمان افزایش پیدا کرده است۲۵. نتایج مطالعه طیب مرادی و ابوالحسنی (۲۰۱۹) و یوسفی و یونسی (۲۰۱۳) نیز بیانگر آن بود که با افزایش سن کمپوست درصد رطوبت کاهش پیدا کرده است۲۹،۳۰. در مطالعه حاضر، مقدار نیتروژن و فسفر در هر دو پایلوت کود کمپوست و ورمی کمپوست از هفته اول تا هفته پانزدهم روند رو به افزایش داشت. افزایش میزان نیتروژن بیانگر آن است که جمعیت میکروبی در شرایط مناسب رشد و مصرف سوبسترا تحت تاثیر فعالیت متابولیکی میکروب‌ها از روند رو به رشدی برخوردار بوده است. از طرفی، افزایش مقادیر ازت در پایلوت ورمی کمپوست را نیز می‌توان با غنی سازی مواد دفعی از بدن کرم‌ها با نیتروژن مرتبط دانست. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات ساتار و سینگ (۲۰۰۸)، هیت و تار (۲۰۱۱) و خوایراکپام (۲۰۰۹) همخوانی داشت۳۳-۳۱. این در حالی است که، روند رو به افزایش مقدار فسفر در طول فرآیند تولید کمپوست و ورمی کمپوست با نتایج مطالعه راجپال و همکاران۳٤ (۲۰۱٤) مطابقت داشت که این موضوع را می‌توان با معدنی شدن محتوی فسفر از پسماند آلی و تا حدودی فعالیت باکتریایی و فسفاتازی مدفوع کرم خراطین و آزاد شدن فسفر اضافی بعلت حضور میکروارگانیسم حل کننده فسفر موجود در کیست کرم مرتبط دانست۳۵.

در فرآیند تولید کمپوست و ورمی کمپوست از لجن هاضم هوازی تغییرات pH از هفته اول تا هفته پانزدهم روند نسبتاً ثابتی را نشان داد. نتایج مطالعه طیب مرادی و ابوالحسنی (۲۰۱۹) نیز بیانگر آن بود که با افزایش سن کمپوست مقدار pH ثابت باقی مانده است۲۹. از طرفی، مقایسه مقادیر شاخص‌های میکروبی بین نمونه‌های لجن و کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی نشان داد که میزان کلیفرم‌های کل و مدفوعی پس از تولید کمپوست و ورمی کمپوست بدلیل گرمای تولید شده در مرحله ترموفیل بطور نسبی کاهش محسوسی پیدا کرده است۳٦ که با دستاورد پژوهش خوایراکپام و همکاران (۲۰۰۹) که نسبت به بازیافت لجن با استفاده از فن آوری ورمی کمپوست اقدام کردند۳۳، همخوانی دارد. نتایج مطالعه حاضر همچنین بیانگر آن بود که میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در هر دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی کمتر از حد استاندارد EPA بوده است. نتایج مطالعه جوان و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد که غلظت عناصر کروم، کادمیوم و سرب در کمپوست تولیدی در زاهدان کمتر از حد استاندارد بوده است۳۷. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و

زیستی بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی بیانگر آن بود که بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست از حیث میانگین مقادیر پارامترهای نسبت C/N، pH، رطوبت، خاکستر، مواد آلی و سدیم تفاوت معنی دار آماری وجود نداشته است، در حالی که، از حیث میانگین مقادیر عناصر مس، کادمیوم، نیکل، سرب، روی و پارامترهای دما، کربن، نیتروژن، فسفر، منیزیم، کلسیم، مجموع کلیفرم و کلیفرم مدفوعی بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی تفاوت معنی دار آماری وجود داشته است. در تایید یافته های این پژوهش، نتایج مطالعه علیخانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تفاوت معنی داری بین کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از حیث میانگین مقادیر پارامترهای نیتروژن، فسفر قابل جذب، مس و روی وجود داشته است[۳۸].

نتیجه گیری

نتایج حاصل از پایش تیمارهای لجن آبگیری شده هاضم هوازی تصفیه خانه فاضلاب همدان به روش ویندرو با و بدون استفاده از ورمی کمپوست و در مدت ۱۰۵ روز نشان داد با توجه به کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌ها در هر دو کود کمپوست و افزایش غلظت عناصر غذایی در آنها نسبت به لجن هاضم هوازی، لجن تولیدی قابلیت تبدیل شدن به کود کمپوست را داشته است و از آنجایی که مقادیر فلزات سنگین و جمعیت میکروبی کمتر از حد استاندارد بوده است، لذا، این دو محصول طبیعی کیفیت مناسبی داشته و می‌توانند بعنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی در باغات و اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. نتایج مقایسه میانگین غلظت پارامترهای فیزیکوشیمیایی و زیستی بین دو نوع کود کمپوست و ورمی کمپوست تولیدی از لجن هاضم هوازی بیانگر آن بود که مقادیر فلزات نیکل و سرب، عناصر غذایی کربن، نیتروژن، فسفر، منیزیم و جمعیت میکروبی کلیفرم مدفوعی در کمپوست تولیدی بیشتر از ورمی کمپوست و مقادیر فلزات مس، کادمیوم و روی و جمعیت میکروبی مجموع کلیفرم در ورمی کمپوست بیشتر از کمپوست تولیدی بوده است. از این رو، نتیجه گرفته می‌شود که هر دو کود کمپوست از کیفیت مناسبی برخوردار هستند و می‌توان از آن ها در کشاورزی و مدیریت فضای سبز شهری بهره برد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با کد ۱۷۱٤۸٤۰۵۰۷٦۱۷۷۷۱٦۲۲۹۲٤۰۸ است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، تشکر و قدردانی می‌کنند.

Refernces

1. Izrail S, Turovskiy DSC, Jeffrey D, et al. Recent advancements in wastewater sludge composting. Water Eng Manage 2002; 3: 45-52.
2. Atiyeh RM, Domínguez J, Subler S, et al. Changes in biochemical properties of cow manure during processing therby earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling grow. Pedosphere 2000; 44(6): 709-24.
3. Eftoda G, McCartney D. Determining the critical bulking agent requirement for municipal biosolids composting. Compost Sci Utiliz 2004; 12: 208-16.
4. Francou C, Poitrenaud M, Houot S. Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks. Compost Sci Utiliz 2005; 13(1): 72-83.
5. Zazouli MA, Yazdani J, Khanbabaee M. Investigation of compost quality of Babol (Mazandaran), Aq Qala (Golestan) and Rasht (Gilan) compost plants and comparison with the standards. J Res Environ Health 2020; 5(4): 341-52 (In Persian).
6. D'Imporzano G, Crivelli F, Adani F. Biological compost stability influences odor molecules production measured

by electronic nose during food-waste high-rate composting. Sci Total Environ 2008; 402(2-3): 278-84.

7. Kato K, Miura N. Effect of matured compost as a bulking and inoculating agent on themicrobial community and maturity of cattlemanure compost. Biores Technol 2008; 99(9): 3372-80.
8. Allah Dadi A, Akbari Gh, chahremani Z. Production of Vermicompost and Its Products. Tehran University Press, Tehran, Iran, 2014; 160 p (In Persian).
9. Latifah AM, Mohd Lokman CJ, Mohd Kamil Y, et al. Influences of bedding material in vermicomposting process. Int J Biol 2009; 1: 81-91.
10. Asgharnia HA. Preparation of Home-made Compost Using *Eisenia Foetida* Earthworm. Master's thesis, School of Public health and institute of public health research. Tehran University of Medical Sciences and Health Servive 2004, 125p (In Persian).
11. Pandey A, Ricardo S, Larroch C. Current Developments in Solid- State Fermentation. Springer Asiatech publisherd Inc. New Delhi 2008. pp517.
12. Abdoli MA, Rooshani M.R. Vermicompost (design, Construction and Execution).Tehran University Press 2008, 264 p (In Persian).
13. Zhang H, Li J, Zhang Y. Quality of vermicompost and microbial community diversity affected by the contrasting temperature during vermicomposting of dewatered sludge. Int J Environ Res Publ Health 2020; 17(5): 1748-53.
14. Boruszko D. Vermicomposting as an alternative method of sludge treatment. Ecol Eng 2020; 21(2): 22-8.
15. Soobhany N. Assessing the physicochemical properties and quality parameters during composting of different organic constituents of municipal solid waste. J Environ Manage 2018; (10): 1979-88 (In Persian).
16. Omrani Gh, Abdoli MA, Safa M. Effect of composition of input materials on the quality of compost produced by static mass with active aeration in rural areas (Case study: Sulaghan village). J Environ Sci Technol 2019; 21(7): 222-37 (In Persian).
17. Heydari F. Qualitative study of manure production of Zahedan plant with regard to physical and chemical properties. J Environ Sci Technol 2016; 18(2): 335-41 (In Persian).
18. Montejo C, Costa C, Márquez MC. Influence of input material and operational performance on the physical and chemical properties of MSW compost. J Environ Manage 2015; 162: 240-9.
19. Salami Naserian E, Cheraghi M, Lorestani B, et al. Qualitative investigation of sewage sludge composting: Effect of aerobic/ anaerobic pretreatments. Arab J Geosci 2021; 14: 836.
20. Sánchez-Monedero MA, Roig A, Paredes C, et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Biol Technol 2001; 78(3): 301-8.
21. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. ISIRI 13320 1st. Edition. Compost Sampling and Physical and Chemical Test Methods, ICS: 65.080; 13.030. 2011.
22. Eaton AD, Franson MA. Standard methods for the examination of water & wastewater. Washington, DC: American Medical Association; 2005.p. 48-9.
23. EPA Victoria. Guidelines for Environmental Management; Biosolids Land Application. EPA Victoria, Southbank, Victoria, Australia 2004.
24. Vinneras B, Jonsson H. The performance and potential of faecal separation and urine diversion to recycle plant nutrients in household wastewater. Biores Technol 2002; 84(3): 275-82.
25. Kadkhodaei S, Nikaeen M, Hatamzadeh M, et al. Monitoring of indicator and pathogenic bacteria during sewage sludge composting process. J Health Syst Res 2016; 12(2): 1-6 (In Persian).
26. Dastpak H, Farzadkia M, Jonidi A, et al. The efficiency of compost and vermicompost reactors for stabilizing organic waste and municipal sewage sludge. J Babol Univ Med Sci. 2017; 19(8): 50-7 (In Persian).
27. Tonner-Klank L, Moller J, Forslund A, et al. Microbiological assessments of compost toilets: in situ measurements and laboratory studies on the survival of fecal microbial indicators using sentinel chambers. Waste Manage 2007; 27(9): 1144-54.
28. Senesi N. Composted materials as organic fertilizers. Sci Total Environ 2015; 81(82): 521-42.
29. Moradi T, Abolhasani M.H. The study of the age of compost on the quality of the produced compost (A case study of compost municipal waste management organization). J Environ Health Eng 2019; 7(2): 165-78 (In Persian).
30. Yusufi J, Younesi H A. Compositing of municipal solid waste and sawdust to maintain moisture and prevent loss of nitrogen in the compost mass. Environ Sci Technol 2013; 59(15): 75-84 (In Persian).
31. Suthar S, Singh S. Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry. Sci Total Environ 2008; 394(2): 237-43.
32. Hait S, Tare V. Vermistabilization of primary sewage sludge. Biores Technol 2011; 102(3): 2812-20.

33. Khwairakpam M, Bhargava R. Vermitechnology for sewage sludge recycling. J Hazard Mater 2009; 161(2): 948-54.

34. Rajpal A, Arora S, Bhatia A, et al. Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor. Ecol Eng 2014; 73: 154-61.

35. Karaca A. Biology of Earthworms. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011.316p.

36. Wang CT, Lee YC, Liao FY. Effect of composting parameters on the power performance of solid microbial fuel cells chin. Sustainability 2015; 7: 12634-43.

37. Javan Siamardi S, Didehvar M, Raisi R, et al. Evaluation of heavy metals concentration and sequential extraction in Zahedan compost. Environ sci Technol 2015; 3(2): 81-92 (In Persian).

38. Alikhani HA, Yakhchali B, Mohammadi L. The comparison of physical and chemical characteristics of common compost and vermicompost. Iran J Biol 2011; 24(6): 925-34 (In Persian).

Journal of Environmental Health Engineering, May 2021; Vol. 8, No3: 314-328

Investigation and Comparison of physicochemical and microbiological parameters between compost and vermicompost producing through windrow method from aerobic digestion sludge of Hamedan wastewater treatment plant

Eisa Salami Naserian[1], Mehrdad Cheraghi[2*], Bahareh Lorestani[2], Soheil Sobhanardakani[3], Maryam Kiani Sadr[4]

[1]Ph.D. Candidate in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[2]Ph.D. in Environmental Science, Associate Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[3]Ph.D. in Environmental Science, Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[4]Ph.D. in Environmental Science, Assistant Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

**** Email: cheraghi@iauh.ac.ir***

Received: 3 April 2021; Accepted: 7 June 2021

ABSTRACT

Background & Objective: Compost production is a biological treatment process of organic solid wastes that are used to recovering and volume reducing waste and stabilization programs. The aim of this study was to compare physicochemical and microbiological parameters between compost and vermicompost producing through windrow method from aerobic digestion sludge of Hamedan wastewater treatment plant.

Materials & Methods: By using the Windrow method, act to produce compost from the sludge of excreted bed of dryer sludge (lagoon) of Hamedan wastewater treatment plant and mixing with bulk materials. At the same time with this activity, vermicompost production from excreted sludge carried out by using Eisenia fetida for 15 weeks. All statistical analyses were done by SPSS software.

Results: There is no significant difference in C/N ratio, pH, moisture, ash, organic matter and sodium parameters between compost and vermicompost, but there is a significant difference in Cu, Cd, Ni, Pb, Zn and temperature, carbon, nitrogen, phosphorus, magnesium, calcium, total and fecal coliform parameters between compost and vermicompost producing from aerobic digestion sludge. Also, the average concentrations of heavy metals in both compost and vermicompost produced from aerobic digestion sludge were lower than the MPC established by EPA.

Conclusion: Concentrations showed that Ni and Pb, C, N, P, Mg values and microbial population of fecal coliform in producing compost is more from vermicompost and Ni and Cu, Cd, Zn amounts and microbial population of total coliform in producing vermicompost is more from compost producing. Therefore, it is concluded that both compost fertilizers could be appropriate quality for agricultural and horticultural uses.

Keywords: Physicochemical and microbiological parameters, Solid waste, Wastewater sludge, Compost, Eisenia fetida