CC BY

DOR 20.1001.1.17354226.1400.16.3.4.1

Original article

Environmental management of sanitary wastewater sludge for compost production and its identification with the aim of replacement with conventional chemical fertilizers

Shahram Lasemi [1], Ebrahim Alaei [2*], Reza Arjmandi [3], Amir Hesam Hassani [3]

1. Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Research Institute of Environment and Biotechnology, Petroleum Industry Research Institute, Tehran, Iran
3. Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

***Corresponding author:** e-mail: alaiee@ripi.ir

Received:01/05/2022 Accepted:4/20/2022

Abstract

Currently, the environmental management of wastewater sludge is a major challenge in environmental engineering. New effective solutions for wastewater treatment lead to improved final effluent quality but significantly increase the volume of wastewater sludge produced. This study investigated the environmental management status of the sewage sludge of the sanitary treatment plant of the Mahmoudabad Cultural, Recreational, and Sports Complex affiliated to the National Oil Company to produce compost and compare it for replacement with conventional chemical fertilizers. The present study is descriptive-cross-sectional. The required sludge was prepared from the sludge dryer beds of the wastewater treatment plant of Mahmoudabad Cultural, Recreational, and Sports Complex, and the method used was aerobic sludge compost by the wind. Windrow size was 1/2 m high, 1.5 m wide, and 2.5 m long and was performed in 3 stages of 20 days. This study showed that the percentage of organic matter in the compost obtained from the municipal sewage sludge of Mahmoud Abad is of good quality. Changes in temperature, pH, percentage of carbon and nitrogen in the samples were in the acceptable range. Considering the environmental conditions and nutritional needs of plants, it can be said that bio fertilizers and especially compost from wastewater treatment, can play a positive role in plant growth and yield under drought stress.

Keywords: Environmental Management, Sanitary Wastewater Treatment Sludge, Compost

Iranian Journal of Biological Sciences
Vol 16, Issue 3, Autumn 2021

مقاله تحقیقی

مدیریت محیط زیستی لجن فاضلاب تصفیه خانه بهداشتی (جامدات زیستی) به‌منظور تولید کمپوست و مقایسه آن برای جایگزینی با کودهای شیمیایی رایج

شهرام لاسمی[۱]، ابراهیم علایی[۲*]، رضا ارجمندی[۳]، امیر حسام حسنی[۳]

۱. گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. پژوهشکده محیط زیست و بیوتکنولوژی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
۳. دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

***مسئول مکاتبات:** آدرس الکترونیکی alaiee@ripi.ir

محل انجام تحقیق: مجتمع رفاهی محمودآباد صنعت نفت

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۱/۳۱

چکیده

مطالعه حاضر پژوهشی توصیفی- مقطعی می‌باشد. در حال حاضر، مدیریت محیط زیستی لجن فاضلاب یک چالش بزرگ در زمینه مهندسی محیط زیست است. راه حل‌های جدید موثر برای تصفیه فاضلاب منجر به بهبود کیفیت پساب نهایی شده، اما حجم لجن فاضلاب تولید شده را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. این تحقیق وضعیت مدیریت زیست محیطی لجن فاضلاب تصفیه خانه بهداشتی مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد وابسته به شرکت ملی نفت، به‌منظور تولید کمپوست و مقایسه آن برای جایگزینی با کودهای شیمیایی رایج را بررسی نموده است. برای انجام این پژوهش، لجن موردنیاز از بسترهای لجن خشک‌کن تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد تهیه و روش مورد استفاده کمپوست هوازی لجن به صورت ویندرو بوده و در فاصله زمانی۳ مرحله ۲۰ روزه انجام گرفت. این پژوهش با هدف بررسی اثر فاضلاب و کمپوست حاصل از لجن فاضلاب شهری محمود آباد و هم‌چنین بررسی وضعیت مدیریت زیست محیطی لجن فاضلاب تصفیه خانه بهداشتی مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد وابسته به شرکت ملی نفت، به‌منظور تولید کمپوست و مقایسه آن برای جایگزینی با کودهای شیمیایی رایج انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که درصد موادآلی موجود در کمپوست حاصل از لجن فاضلاب شهری محمود آباد کیفیت مطلوبی دارد. تغییرات دما، pH، درصد کربن و نیتروژن در نمونه‌ها در محدوده قابل قبول و مطلوب است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت محیط زیستی، لجن فاضلاب تصفیه خانه بهداشتی، محمودآباد، کمپوست

مقدمه

بیش از ۸۰ درصد از فاضلاب‌ها در سطح جهان و ۹۵ درصد از فاضلاب‌ها در کشورهای کم‌تر توسعه یافته بدون تصفیه به آبراه‌ها تخلیه می‌شوند (۱). عدم تصفیه پساب‌ها تهدیدی جدی برای محیط‌زیست، آب و هوا و سلامت انسان می‌باشد که این امر هم‌چنین می‌تواند اتلاف منابع تلقی شود. با توجه به اهداف توسعه پایدار، فاضلاب باید در درجه اول به‌عنوان منبع تامین آب، انرژی، مواد آلی، فلزات، و منابع دیگر در نظر گرفته شود. بنابراین می‌توان بیان داشت که لجن فاضلاب به‌عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر و بازیابی مواد شناخته می‌شود و از همین رو دیگر به‌عنوان "زباله" درنظر گرفته نمی‌شود. البته دو دیدگاه در این رابطه وجود دارد که با یکدیگر در تضاد

هستند. در دیدگاه اول، لجن فاضلاب کم آب، مخزنی از مواد مغذی و آلی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند به‌عنوان کود درکشاورزی یا به‌عنوان یک اصلاح‌کننده ارگانیک در اصلاح محل‌های آلوده مورد استفاده قرارگیرد. در دیدگاه دوم، لجن فاضلاب بازیافتی به‌عنوان منبع بالقوه آلودگی خاک توسط آلاینده‌های موجود در آن و عوامل بیماری‌زای آلی و معدنی درنظر گرفته می‌شود. با توجه به دیدگاه اول، لجن فاضلاب مخزنی حاوی مواد آلی و مغذی می‌باشد،به‌همین دلیل یک بستر بالقوه برای استفاده مجدد است و همه استراتژی‌های بالقوه کاربردی باید الزامات نوآوری محیط زیستی را برآورده‌کنند. بنابراین، آن‌ها باید با کاهش مصرف منابع طبیعی و یا کاهش انتشار مواد مضر، به کاهش تأثیرات منفی محیط زیستی منجر شوند (۲).

ترکیب لجن فاضلاب بسیار متغیر است و ممکن است به‌عوامل مختلفی مانند فصول، فن‌آوری به‌کار گرفته شده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، ویژگی منطقه منبع نفوذی و غیره بستگی داشته باشد. به‌طور متوسط، لجن فاضلاب آبگیری شده حاوی ۷۰-۵۰٪ مواد آلی و ۵۰-۳۰٪ مواد معدنی (اجزاء شامل ۴-۱٪ کربن معدنی)، ۴-۳/۴٪ نیتروژن (N)، ۵/۵-۰/۲ ٪ فسفر (P) و مقادیر قابل توجه دیگر از مواد مغذی، ازجمله ریزمغذی‌هایی که قابل بازیابی‌اند، می‌باشند. برای مثال، منابع قابل استخراج مانند فسفر پیش‌بینی می‌شود که در ۱۰۰-۷۰ سال آینده نادر یا تمام شود، بنابراین بازیابی فسفر از فاضلاب در حال تبدیل به یک جایگزین پایدار می‌باشد (۳). کمپوست‌ها باقی‌مانده مواد آلی می‌باشند که توسط میکروارگانیسم‌ها در شرایط خاص دمایی، رطوبت و اکسیژن تبدیل به مواد پوسیده و هوموس می‌شوند، تا محیطی مغذی، یکنواخت، عاری از ویروس و باکتری و دارای شرایط لازم برای رشد و نمو فراهم کنند. کمپوست‌سازی روشی جهت تجزیه‌بیولوژیکی پسماندهای زیستی در حضور اکسیژن است که برای بازیافت و حفظ چندین ریزمغذی درشت از لجن فاضلاب استفاده می‌شود. در طی فرآیند کمپوست هوازی لجن تصفیه‌خانه فاضلاب، مواد آلی در حضور هوا تجزیه و به دی اکسید کربن، آب و گرما تبدیل می‌شوند. هدف از فرآیند کمپوست تبدیل زیستی موادآلی به شکل تثبیت شده آن و از بین بردن پاتوژن‌ها (عوامل بیماری‌زا) به گونه ای که بتوان از آن به‌عنوان ماده اصلاح کننده خاک‌های کشاورزی استفاده نمود، می‌باشد.کمپوست توسط باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها که در واقع کارگران زیستی آن می‌باشند، صورت می‌گیرد (۴). به‌طورکلی سه روش برای طبقه‌بندی کمپوست وجود دارد که شامل: فرآیند ویندرو، فرآیند غیرراکتوری با بستر ثابت جامدات و در نهایت فرآیندهای راکتوری می‌باشد (۵). از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به‌منظور بهبود شرایط و حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود. می‌توان لجن واحد آبگیری تصفیه‌خانه فاضلاب را که به صورت کامل عملیات تثبیت روی آن انجام نشده با استفاده از روش کمپوست به کود تبدیل و در کشاورزی از آن استفاده نمود، به‌طوری‌که از لحاظ پارامترهای شیمیایی و زیستی در حد استانداردهای مربوطه قرار گیرد. مواد آلی موجود در لجن در شرایط مناسب رطوبت، اکسیژن، نسبت کربن به ازت، درجه حرارت و pH تجزیه می‌شوند. لجن حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به‌دلیل دارا بودن مقدار زیادی رطوبت برای کمپوست شدن، نیاز به افزودن مواد حجیم-کننده[1] دارد. مواد حجیم‌کننده به‌کار رفته در کمپوست لجن شامل خاک اره، پودر چوب، پوشال برنج، کود جانوری و کمپوست رسیده می‌باشد. ماده حجیم‌کننده ایده‌آل باید خشک، با وزن حجمی کم و به‌راحتی قابل تجزیه باشد. افزودن ماده حجیم کننده به لجن منجر به کنترل رطوبت شده و بدین‌ترتیب باعث افزایش منافذ عبور هوا، جهت هوادهی و تنظیم نسبت کربن به ازت توده کمپوست می‌گردد (۶).

این پروژه با هدف بررسی وضعیت مدیریت محیط-زیستی لجن‌فاضلاب تصفیه‌خانه بهداشتی مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد وابسته به شرکت ملی نفت، به‌منظور تولید کمپوست و مقایسه آن برای جایگزینی با کودهای شیمیایی رایج انجام شد.

مواد و روش‌ها

عملیات انتخاب محل، انتقال، شناسایی مواد و تهیه مخلوط اولیه کمپوست

در پروژه حاضر، مطالعات آزمایشگاهی و پایلوت بر روی لجن‌های تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع

[1] Bulking Agent

ورزشی و آموزشی محمودآباد وابسته به شرکت ملی نفت انجام گرفت.

با توجه به‌میزان رطوبت مواد اولیه و نیز ریز بودن اندازه مواد ورودی، نیاز به استفاده از عوامل حجیم‌کننده بود. مخلوط اولیه کمپوست، از لجن آبگیری شده توسط دستگاه اسکروپرس[2] (یکی از تجهیزات فیلتراسیون جهت آبگیری) و مواد حجیم کننده (ضایعات باغی و جنگلی از محوطه مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد، فضای سبز و جنگل‌های اطراف) حاصل گردید. باید به این نکته توجه داشت که نسبت ترکیب این مواد بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که موجب اصلاح خصوصیات، ایستایی و شکل‌گیری، درصد تخلخل، میزان رطوبت، نسبتC/N و قابلیت تولید انرژی کافی برای فرآیند باشد. برای تولید کمپوست بهینه، می‌بایست نسبت C/N بین ۱/۲۵ تا ۱/۳۵ باشد (۷).

در پژوهش حاضر، برای تهیه کمپوست هوازی از فرآیند ویندرو استفاده شد که از قدیمی‌ترین فرآیندهای تولید کمپوست می‌باشد و قدمت بهره‌گیری آن به سال ۱۹۳۰در آلمان بر می‌گردد (۵).

مقدار رطوبت در توده اولیه کمپوست باید در حدود ٪۶۰-۶۵ باشد، زیرا تجزیه مواد آلی به رطوبت بستگی دارد. افت وزن حاصل از تبدیل جامدات فرار به گازها و تبخیر رطوبت منجر به کاهش وزن و حجم مواد کمپوست شونده می‌گردد. هم‌چنین گرمای حاصل از تجزیه مواد آلی منجر به از بین رفتن پاتوژن‌های مضر موجود در لجن می‌شود. طبق نظر سازمان محیط‌زیست آمریکا برای کاهش پاتوژن‌ها در سیستم ویندرو در مدت زمان ۱۵روز نیاز به ۵ مرتبه زیرورو کردن توده کمپوست است تا درجه حرارت فوق به حد ۵۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد و منجر به از بین رفتن پاتوژن‌ها گردد.

انجام فرآیند کمپوست‌سازی[3] جهت تبدیل لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه فاضلاب با کمپوست رسیده به‌عنوان ماده حجیم‌کننده طی سه مرحله قابل اجرا است. برای افزایش سرعت فرآیند لازم است مقداری برگ خشک یا علف خشک به کمپوست رسیده به‌عنوان ماده حجیم‌کننده اضافه گردد. استفاده از لجن تصفیه‌خانه فاضلاب قبل از استفاده روی زمین‌های جنگلی و کشاورزی باید مراحل مختلف پردازش را طی کند تا عاری از مواد خطرناک برای محیط‌زیست شود (۸).

لجن مورد استفاده در این تحقیق از بسترهای لجن خشک‌کن تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد تهیه شد و روش مورد استفاده جهت کمپوست هوازی لجن به‌صورت ویندرو بود. ابتدا لجن با رطوبت ٪۸۰ با خاک اره با ٪۵ رطوبت به نسبت ۳ به ۱ مخلوط شد تا نسبت کربن به ازت حاصل برای شروع کار کمپوست لجن برابر ۱/۲۵ به‌دست آید. اندازه ویندرو استفاده شده در این پروژه دارای ۲/۱ متر ارتفاع، ۵/۱ متر عرض و ۵/۲ متر طول بود و در سه مرحله و هر مرحله طی ۲۰ روز انجام گرفت. ۲۰ روز مرحله اول: لجن حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد که پس از عبور از دستگاه اسکروپرس تغلیظ شد، شامل ٪۸۰ رطوبت بود. استفاده از ضایعات باغی خشک با رطوبت ٪۵، میزان رطوبت مناسب ٪۶۰-۷۰ که برای مراحل تولید کمپوست بسیار مناسب می‌باشد را فراهم آورد (۹).

تست مواد حجیم‌کننده و لجن، نسبت C/N در کاه ۱/۸۰، چوب ۱/۰۰۷ خاک اره ۱/۰۰۵و در لجن ۱/۶ می‌باشد. اگر C/N لجن ۱/۶ باشد، ترکیب ۱ به ۲ کاه به لجن، ۱ به ۲۸ چوب به لجن و ۱ به ۲۰ خاک اره به لجن استفاده شد. نسبت C/N تقریباً ۳۰/۱ درنظر گرفته شد (نسبت کربن به ازت بهینه C/N=۲۰-۳۵).

اطراف حوض ویندرو با استفاده از خاک و یا کمپوست ایزوله گردید و روی محیط تولید کمپوست به جهت کنترل بهداشتی پوشیده شد. در هفته اول از هوادهی محتویات ویندرو خودداری گردید و در دو هفته اول، هر هفته دوبار، محتویات ویندرو زیر و رو گردید. سپس هر ۱۰روز یک‌بار زیر و رو کردن محتویات حوض ویندرو ادامه یافت (۱۰).

۲۰ روز مرحله دوم: به‌صورت هفتگی مخلوط کمپوست زیر و رو شد تا توده بهتر هوادهی شود.

[2] screw press
[3] Co-composting

جدول ۱- آزمایش‌های تعیین فاکتورهای شاخص فرآیند کمپوست

ردیف	نام آزمایش	واحد	روش آزمایش
۱	مواد آلی	درصد وزنی جامدات خشک	وزن سنجی
۲	نسبت کربن به ازت	-	آنالیز عنصری
۳	pH	-	الکترومتری مخلوط وزنی ۱ به ۱۰ مواد با آب مقطر

حوض ویندرو به سه قسمت تقسیم شد، قبل از انتقال مواد کمپوست به حوض ویندرو، لوله‌های شبکه-بندی دمنده هوا به‌داخل کمپوست، نصب و از باز بودن منافذ هوادهی اطمینان حاصل شد، مخلوطی از چیپس چوب و برگ به نسبت ۳۵٪ چیپس‌چوب و ۶۵٪ برگ و C\N معادل ۱/۰۰۳ آماده شد،که از این مخلوط بدون‌لجن برای پوشاندن لوله‌های دمنده استفاده گردید. بقیه مواد حجیم‌کننده با لجن متناسب مخلوط و به حوض ویندرو منتقل شد. سپس مواد کمپوست شامل مخلوط لجن و چیپس‌چوب و برگ (نسبت ۳۵٪ چوب و ۶۵٪ برگ با C\N ۱/۰۰۳) تهیه شد و مواد کمپوست (مخلوط لجن و ضایعات چیپس چوب و برگ) در سه منطقه جدا قرار داده شدند. با توجه به نسبت مناسب در مقالات، C/N مواد حجیم‌کننده برابر ۱۱ واحد وزنی لجن آبگیر به ۱ واحد وزنی حجیم‌کننده می‌باشد، که نسبت بهینه لجن،۲ واحد وزنی لجن آبگیری شده به ۱ واحد وزنی مواد حجیم کننده (ضایعات باغی و چوب) یا ۳ واحد وزنی لجن آبگیری شده به۱واحد وزنی مواد حجیم‌کننده بهترین تاثیر را داشته است (۱۱).

در این آزمایش از سه نسبت وزنی استفاده شد. مقدار لجن آبگیری شده در تمام حوض‌ها یکسان و برابر ۲۰۰Kg می‌باشد. ۱۸۴Kg مخلوط چیپس‌چوب و برگ برای نسبت‌های مورد نظر تقسیم‌بندی گردید. پس از نمونه-برداری و انتقال نمونه‌ها در شرایط خنک به آزمایشگاه به-منظور بررسی کیفیت مواد، پارامترهای جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

در این بخش رطوبت، درجه حرارت، pH و مقدار C/N در فرایند کمپوست ترکیبی سه تیمار مورد بررسی قرار گرفتند که نتیجه تیمار اول الی سوم در ادامه بیان گردید:

اندازه‌گیری دما و نسبت کربن به نیتروژن

در این تحقیق برای اندازه‌گیری دما از ترمومتر دیجیتالی در ۳ نقطه (بالا، پایین و وسط توده) استفاده شد و میانگین به‌عنوان دمای متوسط توده ثبت گردید. جهت اندازه‌گیری مواد آلی و نسبت کربن به نیتروژن از روش احتراق استفاده شد بدین‌صورت که ۲ گرم نمونه وزن گردید و به‌مدت ۲۴ ساعت در آون ^{oC} ۱۰۵ قرار داده شد تا خشک شود. با توجه به جداول مربوط به تست لجن نسبت C/N در لجن ۶/۱ به‌دست آمد که برای شرایط کمپوست‌سازی نیاز به افزایش مواد با بافت کربنی دارد که بدین‌منظور مواد حجیم‌کننده شامل ضایعات باغی این نقش مهم را ایفا می‌کنند. دمای محتویات ویندرو در هفته اول در محدوده ^{oC} ۵۵-۶۵ متغیر بود که نشان‌دهنده پیشرفت پروسه کمپوست می‌باشد (پاتوژن‌های موجود در توده از بین می‌روند) (۱۲).

دانسیته لجن در شروع عملیات آبگیری حدود ۱/۰۱ gr/cm^3 (Kg/dcm^3) و دانسیته لجن پس از آبگیری و تغلیظ در شروع عملیات کمپوست حدود ۱/۲ gr/cm^3 (Kg/dcm^3) بود. پس از چند مرحله زیرورو کردن درجه حرارت توده کمپوست به دمای ^{oC} ۵۵ رسید.

در ادامه و مجددا پس از چند مرحله زیرورو کردن درجه حرارت توده به $^{°C}$ ۵۰ رسید. از پارامترهای نسبت آمونیوم به نیترات در نمونه‌ها، درصد جامدات فرار به-منظور تعیین زمان رسیدن توده کمپوست استفاده گردید.

جدول۲- تعیین نسبت C/N

مواد	C/N	نسبت C/N
کاه ۱/۸۰	C/N=۳۰/۶	۱×(۱/۸۰)+۲×(۶/۱)=(۱+۲)(C/N)
چوب ۱/۰۰۷	C/N=۲۹/۹۳	۱×(۱/۰۰۷)+۲۸×(۶/۱)=(۱+۲۸)(C/N)
خاک اره۱/۰۰۵	C/N=۲۹/۵۲	۱×(۱/۰۰۵)+۲۰×(۶/۱)=(۱+۲۰)(C/N)

نمونه دوباره توزین شد (وزن خشک نمونه (A)). نمونه خشک شده به‌مدت ۵ ساعت در کوره $^{°C}$ ۵۵۰ قرار گرفت. متعاقباً نمونه به دسیکاتور منتقل شد تا خنک شود

و سپس مجدداً توزین شد (وزن خاکستر (B)). با استفاده از رابطه (۱) میزان ماده آلی نمونه محاسبه شد:

$$\text{موادآلی} = \frac{A-B}{A} \times 100 \qquad \text{رابطه ۱}$$

و با استفاده از رابطه (۲) میزان کربن به‌دست آمد (۱۳):

$$\text{درصدکربن} = \frac{\text{درصد ماده آلی}}{1.8}$$

تعیین نیتروژن، رطوبت و pH

نیتروژن نمونه‌ها با روش‌کجلدال[4] مورد تجزیه قرار گرفت (دستگاه مدل Kjeltec Analyzer unit 2300)، بدین‌صورت که برای تعیین درصد نیتروژن ۰/۵گرم نمونه درون لوله آزمایش مخصوص هضم ریخته شد، به هرلوله ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال، یک عدد قرص هضم حاوی سولفات مس یا سولفات پتاسیم و چند قطره اُکتان نرمال به‌عنوان ضدکف اضافه گردید. حمّام هضم دستگاه قبلاً روشن و پس از قراردادن لوله‌ها در دستگاه مورد نظر دمای کوره به تدریج به $^{\circ C}$ ۴۵۰ رسانده شد تا هضم کامل نمونه‌ها صورت گیرد. پس از حذف نمونه‌ها و سرد شدن، مقداری آب مقطر به هرلوله اضافه شد و در قسمت تیتراسیون دستگاه کجلدال تمام خودکار قرار داده شد. پس از چند دقیقه تیتراسیون نمونه‌ها صورت گرفت و درصد نیتروژن کل نمونه‌ها روی صفحه نمایشگر دستگاه ثبت شد. ۲ گرم از نمونه وزن (A) و به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای $^{\circ C}$ ۱۰۵ قرار داده شد. سپس نمونه‌ها دوباره توزین شد (B) و میزان رطوبت آن با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (۱۴).

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{A-B}{A} \times 100 \qquad \text{رابطه ۳}$$

برای اندازه‌گیری و تعیین pH ۱۰ گرم نمونه وزن و به‌همراه ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل ارلن ریخته شد و مدت ۳۰ دقیقه در اتوشیکر[5] قرار داده شد، سپس pH نمونه‌ها توسط pH متر در عصاره حاصل اندازه‌گیری شد. برای تغلیظ لجن نیز درصد جامدات موجود در لجن تصفیه‌خانه مورد مطالعه بین ۲٪ تا ۱٪ اندازه‌گیری شد. این لجن‌های قبل از بارگذاری باید به‌خوبی تغلیظ شده و آبگیری شوند تا درصد مواد جامد به‌میزان حدوداً ۳۰-۲۰٪ برسد. در این مرحله لجن توسط دستگاه اسکروپرس به ۸۰٪ رطوبت تقلیل یافت (۱۵).

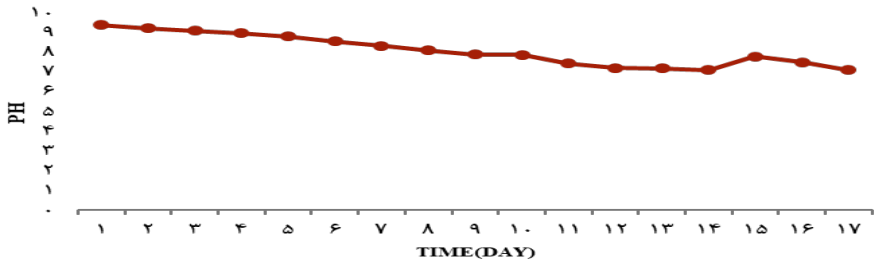
بررسی منحنی تغییرات pH بر حسب زمان در شکل (۱) نشان می‌دهد که pH توده کمپوست در شروع عملیات حدود ۹/۷۳ بوده، با گذشت زمان کاهش یافته و به ۷/۱۰ رسیده و در حدود pH خنثی تعدیل شده است. در ضمن این منحنی نشانگر آن است که کاهش pH، رابطه مستقیمی با زمان دوره کمپوست دارد. از طرفی مهم‌ترین علت کاهش pH به‌دلیل تجزیه مواد آلی می‌باشد. تولید اسیدهای آلی را به‌علت فرار نیتروژن آمونیاکی و آزادسازی H^+ و تولید گاز CO_2 را شاهد بوده‌ایم (۲).

منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان، شکل (۲) نشان‌دهنده این مطلب است که هم‌زمان با کاهش pH فعالیت‌های بیولوژیکی میکروب‌ها در توده آغاز شده و در روند تغییرات درجه حرارت به‌صورت سیر صعودی نمایان است. با توجه به این‌که در روزهای اول دمای محیط با دمای توده تقریباً نزدیک بوده و از روزهای پنجم و ششم با کاهش درجه حرارت داخل توده، از زمان شروع تا ۲۰روز ادامه داشته و درجه حرارت در مرکز توده در این زمان به ۵۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. پس از این مرحله منحنی درجه حرارت سیر نزولی را طی کرده و حتی با کاهش و قطع جریان هوادهی این روند متوقف نگردیده است (۱۴)

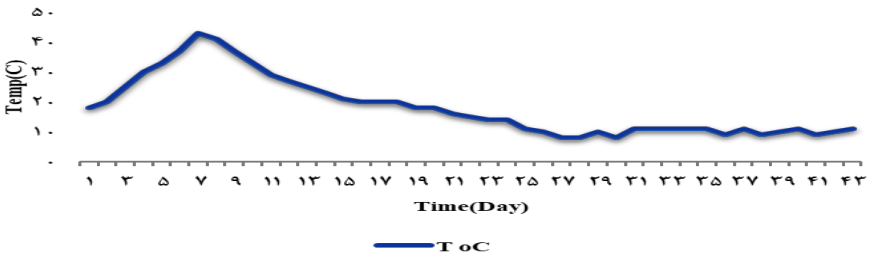
بررسی منحنی تغییرات pH بر حسب زمان (۴) نشان می‌دهد که pH توده کمپوست که در شروع عملیات حدود ۹/۴۰ بوده با گذشت زمان کاهش یافته و به ۷/۱ رسیده که در حدود خنثی تعدیل شده است. این منحنی نشانگر آن است که کاهش pH رابطه مستقیمی با زمان دوره کمپوست خواهد داشت و کاهش pH به‌دلیل تجزیه مواد آلی می‌باشد. تولید اسیدهای آلی را به‌علت فرار نیتروژن آمونیاکی و آزاد سازی H^+ و تولید گاز CO_2 را شاهد بوده‌ایم. منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان، شکل (۴) نشان‌دهنده این مطلب است که هم‌زمان باکاهش pH فعالیت‌های بیولوژیکی میکروب‌ها در توده آغاز شده و در روند تغییرات درجه حرارت سیر صعودی را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در روزهای اول دمای محیط با دمای توده تقریباً نزدیک بوده و از روزهای چهارم و پنجم با کاهش درجه حرارت داخل توده، از زمان شروع تا ۲۰روز ادامه داشته و درجه حرارت در مرکز توده در این زمان به ۴۹ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. پس از این مرحله

[4] Kjeltec
[5] Auto shaker

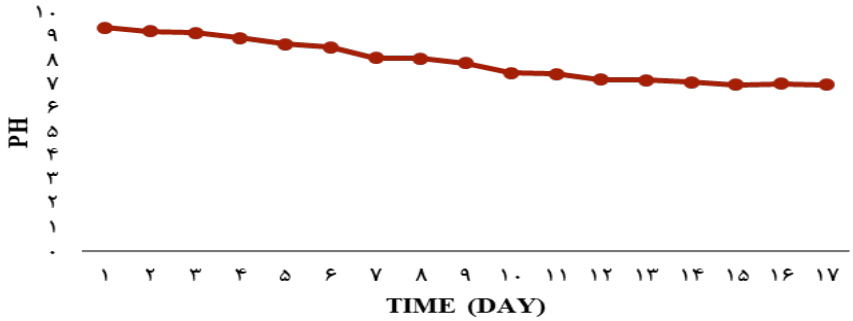
منحنی درجه حرارت سیر نزولی را طی کرده و بدون کاهش این روند ادامه دارد (۱۶).



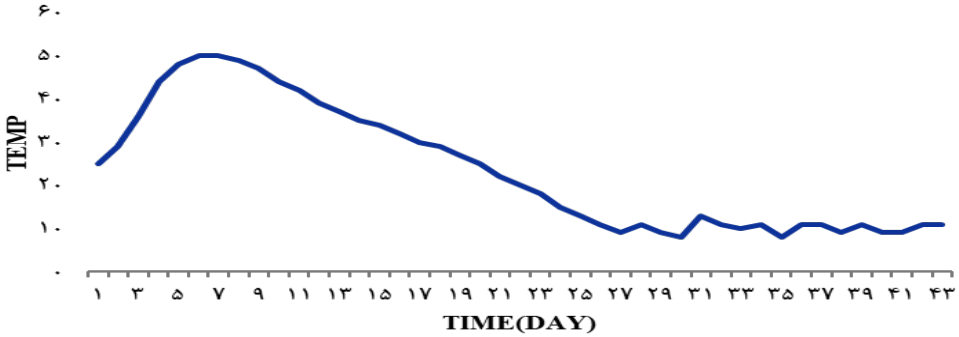
شکل ۱- منحنی تغییرات pH نسبت به زمان در فرایند مرحله اول



شکل ۲- منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان در فرایند مرحله اول

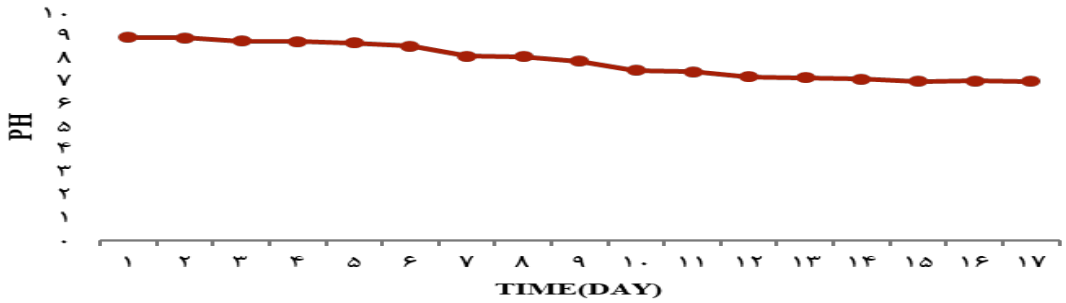


شکل ۳- منحنی تغییرات pH نسبت به زمان در فرایند مرحله دوم



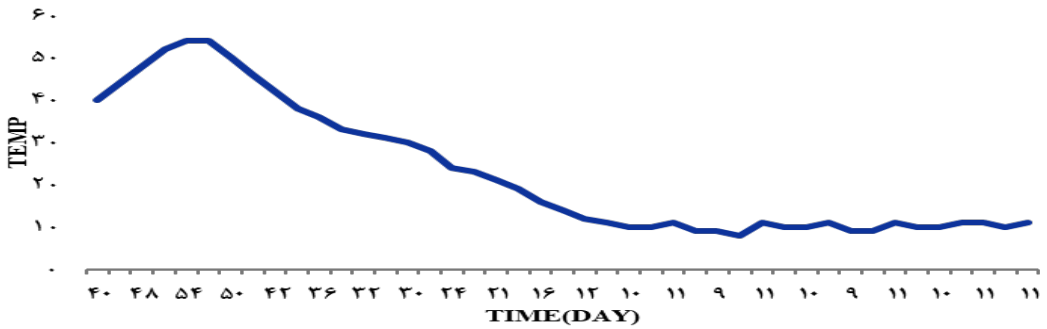
شکل ۴- منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان در فرایند مرحله دوم

فصلنامه علمی پژوهشی دانش زیستی ایران
جلد ۱۶- شماره ۳-پاییز ۱۴۰۰



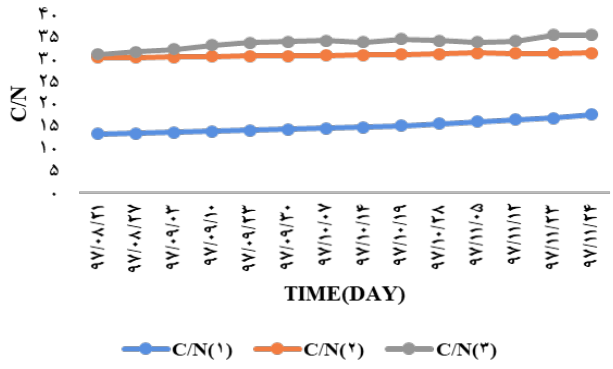
شکل ۵- منحنی تغییرات pH نسبت به زمان در فرایند مرحله سوم

بررسی منحنی تغییرات pH بر حسب زمان (۵) نشان می‌دهد که توده کمپوست که در شروع عملیات حدود ۸/۹۴ بوده با گذشت زمان کاهش یافته و به ۷/۰۰۲رسیده که خنثی تعدیل شده‌است این منحنی نشانگر آن است که کاهش pH به‌دلیل تجزیه مواد آلی می‌باشد. تولید اسیدهای آلی را به‌علت فرار بودن نیتروژن آمونیاکی و آزادسازی H^+ و تولید گاز CO_2 شاهد بوده‌ایم.



شکل ۶- منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان در فرایند مرحله سوم

منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان، شکل (۶) نشان‌دهنده این مطلب است که هم‌زمان با کاهش pH فعالیت‌های بیولوژیکی میکروب‌ها در توده آغاز شده و در روند تغییرات درجه حرارت سیر صعودی را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در روزهای اول دمای محیط با دمای توده تقریباً نزدیک بوده‌و از روزهای‌سوم و چهارم تا این‌که کاهش درجه حرارت داخل توده از زمان شروع تا ۲۰روز ادامه داشته و درجه حرارت در مرکز توده در این زمان به ۵۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. پس از این مرحله منحنی درجه حرارت سیر نزولی را طی کرده و حتی با کاهش و قطع جریان هوادهی این روند متوقف نگردیده است.



شکل ۷- تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در سه مرحله کمپوست

شکل (۷)، تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در سه مرحله کمپوست را نشان می‌دهد. مقادیر C/N درکمپوست مرحله اول ۱۳/۲۷، کمپوست مرحله دوم ۳۰/۴۱ و در کمپوست مرحله سوم ۳۱/۱۸ بوده‌است. نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که با گذشت زمان نسبت کربن به نیتروژن در کمپوست مراحل اول الی سوم در طول فرایند افزایش داشته است. این افزایش به‌دلیل بالارفتن ترکیبات کربنی به ویژه به‌صورت CO_2 می‌باشد. این نسبت به مقدار کمی افزایش یافته است، روزهای پایانی تقریباً ثابت بود که این نشانه پایداری توده کمپوست می‌باشد. Hang و همکاران پیشنهاد کرده‌اند زمانی‌که C/N ابتدایی در مواد کمپوست‌سازی بین ۲۵ تا ۳۰ است، C/N حدود ۲۰ در توده نهایی میزان رضایت بخشی برای رسیدن توده کمپوست می‌باشد (۱۷).

پایش و کنترل فرآیند

به‌منظور راهبری بهینه سیستم و دستیابی به کمپوستی مطمئن در حداقل زمان، بایستی روند انجام فرآیند کمپوست به‌طور مستمر مورد پایش و کنترل قرارداشته باشد. اقدامات پایش و کنترل فرآیند کمپوست از طریق نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تنظیم فاکتورهای شاخص فرآیند انجام می‌گیرد. درجه حرارت، درصد رطوبت، pH و توده مهم‌ترین فاکتورهای شاخص فرآیند هستند که بایستی به‌طور مستمر مورد پایش و کنترل قرار گیرند. از این‌رو پایش فرآیند از طریق نمونه‌برداری و انجام آزمایشات تعیین مقدار فاکتورهای شاخص صورت گرفت. نمونه‌برداری با تناوب دو روز در میان به‌صورت دستی انجام گرفت. جهت انجام آزمایشات مربوط به درجه حرارت، از مواد موجود درعمق مرکز و بالای توده استفاده شد و برای انجام آزمایشات $\%N_2$ ،$\%CO$ و C/N نمونه‌ای مخلوط از این مواد تهیه گردید (۱۸).

پس از اندازه‌گیری فاکتورهای شاخص، چنان‌چه این فاکتورها محدوده بهینه ارائه شده قرار نداشته باشند باید نسبت به تنظیم آن‌ها اقدام نمود. اقدامات کنترل فرآیند عمدتاً با تنظیم درجه‌حرارت، رطوبت، میزان هوادهی، اکسیژن موجود در توده و هم‌زدن توده همراه است و باید به‌صورتی باشد که درجه حرارت توده در روزهای اول مرتباً سیر صعودی داشته و به دماهای $^{\circ}C$ ۵۰-۶۰ رسیده و به‌تدریج تعدیل گردد.

بحث

این پژوهش با هدف بررسی مدیریت محیط زیستی لجن فاضلاب تصفیه‌خانه فاضلاب مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد وابسته به شرکت ملی نفت، به‌منظور تولید کمپوست و مقایسه آن برای جایگزینی با کودهای شیمیایی رایج انجام شد. مطالعه‌ای مشابه توسط استلا و همکاران با هدف تبدیل کنترل شده محصولات آلی و ضایعات قابل تجزیه به محصولات پایدار با کمک میکروارگانیسم‌ها انجام گرفت. کودهای شیمیایی مواد مغذی را به‌راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌دهند، اما مضرات آن‌ها بیش‌تر از مزایای آن‌ها است. کمپوست‌سازی یک فرآیند اساسی در کشاورزی است و به بازیافت زباله‌های مزرعه کمک می‌کند. مدت طولانی کمپوست کردن یک چالش است و این به‌دلیل وجود موادی است که زمان طولانی‌تری برای کمپوست شدن به‌خصوص در هنگام کمپوست‌سازی مشترک نیاز دارند. این بررسی بیش‌تر به مواد آلی تجزیه‌پذیر که در کمپوست‌ها وجود دارد اشاره می‌کند، که باید از نظر توانایی آن‌ها در کانی‌سازی تدریجی ارزیابی شوند. که با استفاده از این فرآیند می‌توان کمپوست را برای محصولات چندساله یا دو ساله استفاده کرد (۱۹). مطالعه‌ای مشابه توسط کاردوسو و همکاران با هدف انتخاب گزینه‌های بازیابی فسفر در بخش تصفیه فاضلاب شهری در کشورهای در حال توسعه انجام گرفت. در این پروژه اثرات و مزایای محیط زیستی مهم تلقی شده است. در نهایت، چالش‌های اصلی مربوط به اجرای استراتژی‌های بازیابی منابع، به‌ویژه برای فسفر، شناسایی و مورد بحث قرار گرفت. رویکردهای بازیابی منابع می‌تواند مزایایی فراتر از بخش تصفیه فاضلاب را فراهم کند، نه تنها پایداری عملیات تصفیه فاضلاب را بهبود بخشد، بلکه درآمدی را برای تامین کننده آب ایجاد کند (۲). مطالعه‌ای مشابه دیگر با تحقیق فعلی در سال ۱۹۹۶ انجام گرفت که با استفاده از کمپوست لجن فاضلاب و انجام آزمایشاتی بر روی گیاه جو، غلظت فلز مس در این گیاه کاهش یافت و احتمالاً علت آن، جذب مس توسط ماده آلی می‌باشد که برتری استفاده از کمپوست نسبت به کودهای شیمیایی را بیان می‌کند (۲۰)

قیمت ارزان و در دسترس بودن لجن فاضلاب از یک طرف و از طرف دیگر مزایای مثبت آن، استفاده از این

ماده را به‌عنوان کود در کشاورزی مطرح می‌کند. باتوجه به این‌که بررسی منابع نشان می‌دهد استفاده کوتاه‌مدت این ماده نمی‌تواند زیانی به گیاه برساند و در طولانی مدت باعث تجمع عناصر سنگین در خاک می‌شود می‌توان از این ماده به‌عنوان کود در کشاورزی استفاده کرد البته درصورتی‌که بتوان به همراه آن از مواد اصلاحی مانند زئولیت (نوعی کانی سیلیکاتی)که استفاده از آن منجر به حذف فلزات سنگین می‌شود استفاده کرد مشکل تجمع فلزات سنگین نیز برطرف خواهد شد. در این آزمایش سه مرحله کمپوست ترکیبی صورت گرفته است. با اضافه کردن مقداری خاک اره به کمپوست ترکیبی مرحله سوم C/N کمپوست ترکیبی افزایش یافت امامیزان بهینه آن در هفته اول کمپوست‌سازی مشاهده شد. خاک اره سبب کنترل نوسانات درجه حرارت در توده شد و از افت شدید درجه حرارت ترموفیلیک جلوگیری نمود. افزودن خاک اره موجب کاهش میزان pH توده‌های نهایی کمپوست شده بود. میزان pH در توده‌های کمپوست مراحل اول الی سوم به‌ترتیب ۷/۱۰، ۷/۰۱ و ۷/۰۰۱ در پایان آزمایش بوده است. خاک اره به‌دلیل محتوای کم فلزات سنگین سبب کاهش این عناصر در توده کمپوست شد. با توجه به نتایج ارائه شده و تحلیل‌های به‌عمل آمده در مورد آن‌ها و با عنایت به درنظر گرفتن فاکتورهای مختلفی از جمله میزان و درصد ترکیب مواد، میزان C/N اولیه و... در مجموع با اطلاعات تئوری موجود، موارد نامبرده را به‌عنوان شرایط بهینه جهت به‌دست آوردن یک محصول در کم‌ترین زمان ممکن و در عین حال با کیفیت بالا، مغذی و عاری از هرگونه عوامل بیماری‌زا ارائه کرد.

مقایسه کیفیت کود شیمیایی با کود کمپوست در این آزمایش سه مرحله کمپوست از لجن فاضلاب انجام گرفته است. کودهای شیمیایی عموماً ترکیبات شیمیایی هستند که برای افزایش میزان حاصلخیزی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. کودهای نیتروژنی که قسمت اعظم ترکیبات کودهای شیمیایی را تشکیل می‌دهند اغلب از مشتقات پتروشیمی می‌باشند. به‌طورکلی تولید کودهای شیمیایی سبب ایجاد مسائلی از قبیل مصرف بیش از حد سوخت‌های فسیلی، آلودگی محیط‌زیست و خطرات شغلی می‌شود. درست است که محصولات کشاورزی واکنش بسیار خوبی نسبت به کودهای نیتروژنی از خود نشان می‌دهد اما این یک امر کوتاه مدت بوده و استفاده مداوم از این کودها می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خاک و محصولات گردد. استفاده مداوم از مواد شیمیایی، میزان کربن آلی را کاهش داده و در نتیجه منجر به آبشویی بیش‌تر می‌گردد. استفاده بیش از حد کودهای نیتروژنه سبب افزایش میزان آبشویی نیترات و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. با افزایش نگرانی‌های جهانی درباره حفظ محیط‌زیست و انرژی، جایگزینی کودهای آلی با کودهای شیمیایی اهمیت فراوانی پیدا کرده است. مطالعات اخیر بر بررسی دوباره روش‌های سنتی کوددهی با پسماندهای آلی تکیه دارد، روش‌هایی که سبب بهبود فعالیت و بیومس میکروبی خاک می‌شود. علاوه بر این کودهای آلی می‌توانند عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را تأمین کنند و ساختار خاک و کیفیت فیزیکی آن را بهبود بخشند (۲۰).

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی وضعیت مدیریت محیط زیستی لجن فاضلاب تصفیه‌خانه بهداشتی مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد وابسته به شرکت ملی نفت، به‌منظور تولید کمپوست و مقایسه آن برای جایگزینی با کودهای شیمیایی رایج انجام شد. مطالعه حاضر از نوع توصیفی-مقطعی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که درصد موادآلی موجود درکمپوست حاصل از لجن فاضلاب شهری محمود آباد کیفیت مطلوبی دارد. تغییرات دما ، pH، درصد کربن و نیتروژن در نمونه‌ها در محدوده قابل قبول و مطلوب بود. باتوجه به شرایط محیطی و نیازهای تغذیه‌ای گیاهان، می‌توان بیان داشت که کودهای زیستی و به‌ویژه کمپوست حاصل از فرآوری فاضلاب‌ها، می‌تواند نقش مثبتی در رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی ایفا کند.

در ادامه پیشنهاد می‌شود که جهت گسترش مطالعات مربوط به بررسی مزایای بهره‌برداری از لجن فاضلاب به عنوان کمپوست، تحقیق حاضر در شرایط زمین‌های کشاورزی نیز مورد مطالعه قرار گیرد. هم‌چنین با توجه به آثار مثبت لجن تصفیه‌خانه که از تحقیق حاضر به‌دست آمد پیشنهاد می‌شود در مورد مطالعه لجن تصفیه‌خانه با رویکرد نقش محیط زیستی و در تجمع فلزات سنگین آن در خاک مورد بررسی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات و پژوهشگاه صنعت نفت برای تأمین وسایل و امکانات و ایجاد تسهیلات لازم و هم‌چنین از کارکنان بخش مجتمع ورزشی و آموزشی محمودآباد در اجرای این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

Use of compost an environment friendly technology for enhancing rice-wheat production in Pakistan. Pak J Bot. 39(5): 1553-1558.

13. Bian, R., Sun, Y., Li, W., Ma, Q., Chai, X., 2017. Co-composting of municipal solid waste mixed with matured sewage sludge: The relationship between N2O emissions and denitrifying gene abundance. Chemosphere. 189:581-589.
14. Wei, Y.S., Fan, Y.B., Wang, M.J., Wang, J.S., 2000. Composting and compost application in China. Resources, Conservation and Recycling. 30(4):277-300.
15. Gundersen, P., Callesen, I., De Vries, W., 1998. Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor CN ratios. Environmental pollution. 102(1):403-407.
16. Stentiford, E., 1996. Composting control: principles and practice. The science of composting: Springer. 49-59.
17. Misra, R., Roy, R., Hiraoka, H., 1729. On-farm composting methods. Rome, Italy: UN-FAO.
20. 03 . Report No. 0554.
18. de Bertoldi, M.D., Vallini Ge Pera, A., 1983. The biology of composting: a review. Waste Management & Research. 1(2):157-176.
19. Ayilara, M.S., Olanrewaju, O.S., Babalola, O.O., Odeyemi, O., 2020. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. Sustainability. 12(11):4456.
20. Kosobucki, P., Chmarzynski, A., Buszewski, B., 2000. Sewage sludge composting. Polish Journal of Environmental Studies. 9(4): 243-248.

1. Weerasekara, P., 2017. The United Nations world water development report 2017 wastewater. Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society. 5(2):80-81.
2. Chrispim, M.C., Scholz, M., Nolasco, M.A., 2019. Phosphorus recovery from municipal wastewater treatment: Critical review of challenges and opportunities for developing countries. Journal of environmental management. 248:109268.
3. Veeken, A., Hamelers, B., 2002. Sources of cd, cu, pb and zn in biowaste. Science of the Total Environment. 300(1-3):87-98.
4. Obeng, L.A., Wright, F.W., 1987. Integrated Resource Recovery: The Co-composting of Domestic Solid and Human Wastes. World bank technical paper. 57.
5. Zhang, D., Luo, W., Li, Y., Wang, G., Li, G., 2018. Performance of co-composting sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste at different proportions. Bioresource technology. 250:853-859.
6. Zhu, N., Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. Bioresource Technology. 98(1):9-13.
7. Brodie, H.L., Carr, L.E., 2000. Condon P. A comparison of static pile and turned windrow methods for poultry litter compost production. Compost Science & Utilization. 8(3):178-189.
8. Gjoka, F., Beqiraj, E., Muller, F., Baillif, P., Susaj, L., Lekaj, P., 2011. Effect of inorganic amendments on growth of ryegrass and properties of a sandy soil. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 5(2):153-60.
9. Lu, Y., Wu, X., Guo, J., 2009. Characteristics of municipal solid waste and sewage sludge co-composting. Waste Management. 29(3): 1152-1157.
10. Barrena, R., Vázquez, F., Sánchez, A., 2008. Dehydrogenase activity as a method for monitoring the composting process. Bioresource technology. 99(4):905-908.
11. Rashid, M.I., Shahzad, K., 2021. Food waste recycling for compost production and its economic and environmental assessment as circular economy indicators of solid waste management. Journal of Cleaner Production. 317:128467.
12. Sarwar, G., Hussain, N., Schmeisky, H., Muhammad, S., Ibrahim, M., Safdar, E., 2007.