مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هفدهم ، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۶۹۱ تا ۷۰۴

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر زئولیت کلینوپتیلولیت بر کیفیت خواص فیزیکی و شیمیایی کود زیستی حاصل از فرآیند بی‌هوازی

فریبا اصغری[۱]، ایوب رستگار[۲،۱]، محمد حسین ساقی[*،۱]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

واژگان کلیدی: زئولیت، کمپوست، فرآیند بی‌هوازی، کود اصلاح شده

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
saghi9@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به این که کمپوست‌سازی یکی از راه‌حل‌های پایدار برای بازیافت مواد زاید جامد آلی محسوب می‌گردد، لذا برای بهبود کیفیت کمپوست می‌توان از ترکیبات مختلفی استفاده نمود. هدف از انجام این مطالعه بررسی تاثیر زئولیت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کودزیستی حاصل از فرآیند بی‌هوازی بود.

روش بررسی: این مطالعه بنیادی-کاربردی در سال ۱۴۰۲ در سبزوار انجام گردید. جهت تهیه کود به روش بی‌هوازی از کود گاوی و زئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی با درصدهای مختلف ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نسبت به حجم کلی رآکتور استفاده شد و درنهایت بعد از گذشت زمان‌های مختلف ۳۰، ۴۵ و ۶۰ day، مجموع ۹۰ نمونه تهیه و جهت آنالیز به آزمایشگاه انتقال داده شد. همچنین پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، دما، نسبت کربن به ازت و نیترات در کیفیت کود حاصله مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که در روزهای اولیه تغییرات pH در تیمارهایی با درصد زئولیت کمتر چشمگیر بود؛ به طوری که از ۷/۹ به ۸/۵۷ رسید. همچنین تغییرات دما در فرآیند کمپوست‌سازی با افزودن زئولیت سبب ماندگاری دما در تیمارهای با درصد بالای زئولیت شد، علاوه بر این در فرآیند، میزان نیترات به میزان ۱۵ درصد افزایش یافت.

نتیجه گیری: نتایج به دست آمده بیانگر این است که افزودن زئولیت به کود سبب افزایش دما، تسریع در انجام فرآیند و کاهش زمان کودسازی می‌گردد. همچنین زئولیت سبب بهبود خواص فیزیکوشیمیایی کود حاصل از فرآیند بی‌هوازی شد.

Please cite this article as: Asghari F, Rastegar A, Saghi MH. Modification of anaerobic composting process using natural clinoptilolite zeolite on the quality of physical and chemical properties. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;17(4):691-704.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

مقدمه

اضافه نمودن موادآلی به خاک سبب افزایش قابلیت نگهداری، نفوذپذیری آب و ایجاد تهویه مناسب می‌شود و وزن ظاهری آن را کاهش می‌دهد. به‌علاوه این که میزان مواد غذایی، قابلیت تبادل کاتیونی و قابلیت کشت را بهبود می‌بخشد (۱). عمده‌ترین منابع تأمین‌کننده موادآلی عبارتند از: فضولات دامی، بقایای گیاهی، لجن فاضلاب و کمپوست پسماندهای شهری که امروزه با توجه به اهمیت کشاورزی ارگانیک و کاهش مشکلات محیط زیستی در کشاورزی پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۲). کاربرد موادآلی به ویژه کود گاوی علاوه‌بر تأمین‌بخشی از نیاز غذایی گیاه با اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاک دانه سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک همچون افزایش نفوذپذیری، کاهش جرم مخصوص ظاهری، رشد بهتر ریشه و به دنبال آن افزایش رشد گیاه می‌شود. با این حال، ضایعات خام حیوانی معمولاً به عنوان کودهای آلی یا تهویه کننده خاک مناسب نیستند (۳). ویروس‌ها، باکتری‌ها و انگل‌های مختلف از جمله عوامل بیماری‌زای موجود در فضولات دامی می‌باشند. در صورت استفاده از کودهای گیاهی و حیوانی معمولی، این عوامل بیماری‌زا در طبیعت پخش می‌گردند، در حالی که با استفاده از هاضم‌های بی‌هوازی و فرایند تولید بیوگاز قسمت عمده‌ای از این عوامل بیماری‌زا از بین می‌رود و خروجی نیروگاه‌های بیوگازی می‌تواند به عنوان کود بهداشتی مورد استفاده کشاورزان قرار گیرد. بررسی و کشت مواد ورودی و خروجی به دستگاه‌های بیوگاز نشان می‌دهد که تخم علف‌های هرز در اثر هضم بی‌هوازی تا میزان بسیار زیادی از بین می‌روند. لذا روی آوردن به هضم بی‌هوازی و تولید بیوگاز می‌تواند عاملی برای کنترل و نابودی بذر علف‌های هرز و جلوگیری از شیوع این نباتات خودرو و بی‌مصرف در مزارع، مراتع و باغات باشد (۴). محصولات اصلی هضم بی‌هوازی بیوگاز و مواد تثبیت شده (Stabilized materials) هستند. مواد تثبیت شده شامل زیست توده میکروبی، مواد آلی نیمه تخریب شده و ترکیبات غیرآلی است و بنابراین می‌تواند به عنوان بهساز خاک در زمین‌های کشاورزی استفاده گردد (۵). کودهای زیستی فرآورده‌هایی هستند که حاوی سلول‌های زنده یا سلول‌های نهفته از سویه‌های کارآمد میکروارگانیسم‌ها هستند که به گیاهان زراعی، جذب مواد مغذی از طریق فعل و انفعالات آنها در ریزوسفر از طریق بذر یا خاک کمک می‌کنند (۶). آنها فرآیندهای میکروبی خاصی را در خاک تسریع می‌کنند که میزان دسترسی به موادمغذی را به شکلی که به راحتی توسط گیاهان جذب شود افزایش می‌دهد و همچنین عناصرغذایی را از شکل غیرقابل استفاده به شکل قابل استفاده از طریق فرآیندهای بیولوژیکی تبدیل می‌کند (۷).

کمپوست کردن یکی از راه‌حل‌های پایدار برای بازیافت پسماندهای آلی است، اما دارای معایبی از قبیل از دست دادن نیتروژن، تحرک فلزات سنگین (Heavy Metals)، انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهره وری پایین و غنی‌سازی ژن‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک هستند. تهیه کو-کمپوست مانند افزودن زئولیت و دیگر مواد افزودنی در فرآیند کمپوست کردن (Composting) و تاثیر آن بر کیفیت کمپوست به اصلاح خاک، مدیریت مواد مغذی و رشد گیاهان کمک می کند (۸). با توجه به گزارش‌های منتشر شده، اصلاح مواد زائد آلی با زئولیت نه تنها خواص فیزیکوشیمیایی محصول کمپوست را بهبود می‌بخشد، بلکه فعالیت‌های میکروبی را با ترویج تجزیه موادآلی افزایش و مدت زمان فرآیند کمپوست‌سازی را کاهش می‌دهد (۹). Villasenor و همکاران در ۲۰۱۱ مشاهده کردند که تلقیح مواد افزودنی مانند زئولیت به توده کمپوست می‌تواند از دست دادن نیتروژن را کاهش دهد و فرآیندهای چرخش مواد مغذی را تنظیم می‌کند. زئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکاتی ریز متخلخل هستند که معمولاً توسط محققان مختلف در کمپوست‌سازی به عنوان جاذب و کاتالیزور تجاری استفاده می‌شوند، زیرا دارای توانایی کاهش شوری خاک، انتشار گازهای مختلف و تثبیت فلزات سنگین در طول کمپوست‌سازی است (۱۰). همچنین استفاده بالقوه زئولیت‌ها و کاربرد آن برای افزایش سرعت تخریب، کاهش تلفات آمونیاک و فلزات سنگین

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

در طول فرآیند کمپوست‌سازی توسط Chan ManTing و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شده است (۱۱). Rehakova و همکاران (۲۰۲۱) به کاربرد زئولیت طبیعی در کشاورزی پرداختند. آنان به این نتیجه رسیدند که ساختار کلینوپتیلولیت طبیعی برای فرآیندهای جذب و تبادل یونی ایده‌آل است. با توجه به ساختار و ویژگی‌های آن، این ماده طبیعی، خنثی و غیر سمی می‌تواند به عنوان حامل آزاد کننده کود و همچنین سایر ترکیبات فعال شیمیایی، دارویی و بیوشیمیایی از جمله ضدعفونی‌کننده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. زئولیت طبیعی همچنین می‌تواند برای بهبود خواص فیزیکی خاک و برای درمان خاک‌های آلوده استفاده شود. همچنین استفاده از آن در مقادیر بسیار کم، به عنوان افزودنی برای تغذیه حیوانات مناسب است (۱۲). Taheri Soudejani و همکاران (۲۰۱۹) در یک مطالعه مروری به کاربرد زئولیت ها در کمپوست‌سازی پسماندهای آلی پرداختند. اصلاح کمپوست پسماند شهری، افزایش فعالیت‌های میکروبی، کاهش مدت زمان فرآیند کمپوست سازی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آمونیاک در فرآیند کمپوست سازی، کاهش شوری، حفظ آب و جلوگیری از تلفات مواد مغذی خاک از مزایای استفاده از زئولیت است (۱۳) Taghdisi Heydariyan و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر زئولیت و کود گاوی بر برخی پارامترهای فیزیکی خاک پرداختند. آنها دریافتند که افزایش مقدار زئولیت، سبب افزایش درصد رطوبت اشباع (تخلخل کل خاک)، رس قابل پراکنش در آب، کاهش جرم مخصوص ظاهری و میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها (الک خشک) می‌گردد (۱۴). با توجه به اینکه خواص زئولیت‌ها در کاهش شوری، کاهش فلزات سنگین و بهبود کیفیت خواص فیزیکوشیمیایی کود موثر است و از طرفی ترکیب کود گاوی و پسماندهای قابل تجزیه دارای شوری بالا بوده و در کیفیت محصولات کشاورزی تاثیرگذار می‌باشد؛ از این رو به دلیل عدم مطالعه مشابه در این زمینه، می‌توان از آن برای بهبود کیفیت کود بیوگاز بهره برد. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت با در نظر گرفتن متغیرهایی همچون درصد زئولیت اضافه شده، دما، تعداد روز و pH بر خواص فیزیکوشیمیایی، کاهش شوری خاک و افزایش میزان آمونیاک کود حاصل از فرآیند بی‌هوازی است.

مواد و روش‌ها

ـ تهیه زئولیت

این مطالعه از نوع بنیادی-کاربردی است که در سال ۱۴۰۰ در شرکتی در سبزوار انجام شد. زئولیت طبیعی با وزن مخصوص ۱/۹۱ g/cm^3، ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۴۷ meq / ۱۰۰ g، قطر میانگین میکرو حفرات ۱/۸۵ nm، حجم حفرات ۰/۱۵ g/cm^3 و سطح ویژه ۲۴۰۰۰ m^2/kg خریداری شد. میزان Al_2O_3 و SiO_2 موجود در ترکیب، به ترتیب ۱۰/۸۲ و ۶۷/۸۷ درصد بود.

ـ آماده سازی زئولیت و ساخت راکتور

به منظور حذف ناخالصی‌های محلول، زئولیت‌های طبیعی به وسیله آب مقطر شسته و سپس در دمای محیط به مدت ۳۶ h قرار گرفت تا خشک گردد.

در ابتدای فرایند کمپوست‌سازی ۵ مخزن از جنس پی وی سی با قطر ۳۰ cm، ارتفاع ۴۰ cm و حجم ۳۰ L تهیه و جهت یکنواخت شدن محتوا، یک مخلوط کن داخل مخازن نصب گردید. به منظور خروج گاز تشکیل شده در حین فرآیند، بر روی درب هر یک از مخازن منفذی ایجاد و به کمک یک شلنگ گازی، گاز تشکیل شده به درون یک تیوپ هدایت شد. درنهایت درب هر یک از مخازن به کمک چسب آکواریوم و گچ عایق گردید.

ـ تهیه کود بیوگاز

در این آزمایش از کود بیوگازی که قبلا در شرکت کیمیا تهیه شده بود، استفاده گردید. بدین منظور مقداری کود گاوی با نسبت ۱:۳ با آب مخلوط و رقیق سازی نموده و به منظور افزایش سرعت تجزیه از باکتری Effective Micro Organism استفاده شد. این باکتری‌ها شامل ترکیب طبیعی از باکتری‌های

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

اسید لاکتیک، باکتری‌های فتوسنتز کننده و مخمرها همچون Heterotrophic، Actinomycetes group، Pseudomonad group، Anaerobic و ... می‌باشند که در ملاس نیشکر و آب ترکیب شده‌اند. بسته به حجم مخزن مقدار مناسبی از سوسپانسیون باکتری اضافه گردید. بعد از تهیه ترکیب و بستن درب مخزن، با گذشت مدت زمان لازم کودسازی انجام شد. درنهایت به کمک یک پمپ ترکیبی از سوسپانسیون خارج گردید.

_ راه اندازی راکتور و انجام فرآیند

ابتدا مقدار مساوی از کود در ۵ مخزن طراحی شده ریخته شد (شکل ۱). با توجه به حجم هر مخزن، درصد متفارت ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ از زئولیت اضافه و درنهایت با افزودن آب به میزان ۸۰ درصد ازحجم هر مخزن، درب مخازن بسته و فرآیند آغاز گردید. پس از تشکیل گاز و پر شدن تیوپ‌ها فرآیند کامل و نمونه‌برداری انجام گردید. مدت زمان نمونه‌برداری بعد از تشکیل گاز ۳۰، ۶۰ و ۹۰ day درنظر گرفته شد. نسبت کربن به ازت اولیه ۲۳/۴۶ اندازه‌گیری شد.

شکل ۱- راه اندازی راکتور و انجام فرآیند

_نمونه‌گیری

در هر بار از نمونه‌برداری، دمای مخزن به کمک یک دماسنج اندازه‌گیری شد و درنهایت کود خارج شده از هر مخزن به طور کامل همزده و با استفاده از سرند، جامدات از مایع جدا گردید. سپس جامدات جدا شده در مجاورت هوا خشک گردید و از کود مایع زیر سرند جداگانه نمونه‌برداری و به آزمایشگاه انتقال داده‌شد. در هر بار نمونه‌برداری ۳۰ نمونه و در مجموع ۹۰ نمونه جهت آنالیز گرفته شد.

_ تجهیزات مورد استفاده و روش انجام آزمایشات

در انجام آزمایشات، از دماسنج لیزری دیجیتالی و دماسنج میله‌ای جهت اندازه‌گیری میزان دما در مخازن، pH متر رومیزی مدل AZ جهت اندازه‌گیری قلیاییت، دستگاه سنجش هدایت الکتریکی (EC) مدل T-cond 720 جهت اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی، از کوره مدل L ECOTEC ۲/۵ با قابلیت تولید دما تا ۱۲۰۰ °C جهت اندازه‌گیری میزان کربن به روش کاهش احتراق و ترازوی دیجیتالی ۰/۰۱ مدل AND-HL100 جهت توزین مواد به منظور محاسبه شاخص جوانه‌زنی (GI) استفاده گردید. همچنین به دلیل نداشتن تجهیزات کافی در دانشگاه به منظور اندازه‌گیری میزان نیترات به روش کجلدال نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال و سپس میزان نیترات اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

_ انجام آزمایشات

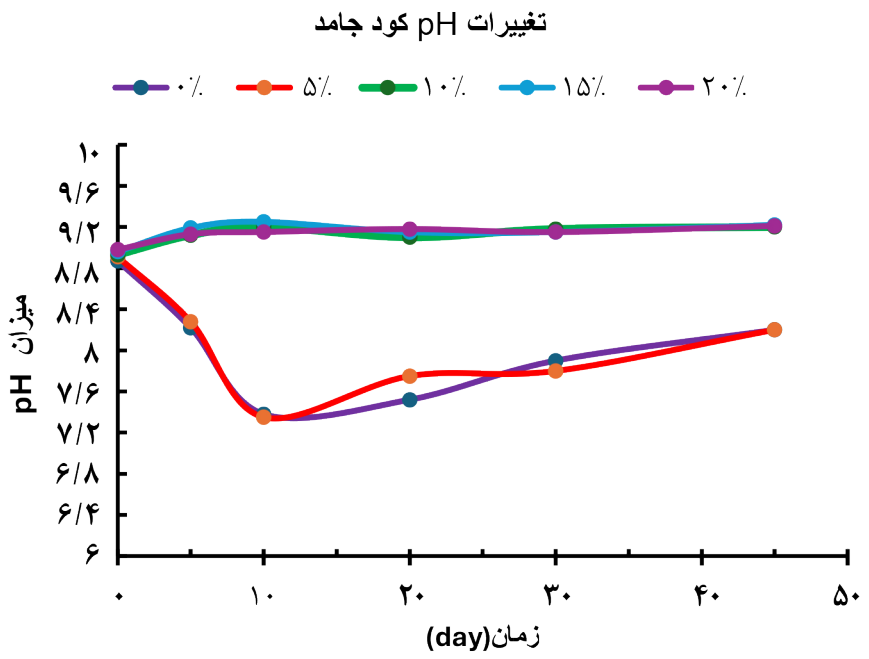
در آزمایشگاه پارامترهای دما، EC، pH، کربن، ازت و میزان رشد گیاه اندازه‌گیری شد. درنهایت ۱۰ تیمار از یک خاک یکسان تهیه و میزان شوری خاک قبل از افزودن نمونه‌ها به خاک اندازه‌گیری شد و سپس از هر ۱۰ نمونه کود گرفته شده که حاوی درصد مختلفی از زئولیت بودند به نمونه خاک یکسان افزوده و بعد از گذشت مدت زمان لازم، میزان شوری محاسبه گردید.

در این مطالعه به منظور اندازه‌گیری شاخص جوانه‌زنی ابتدا کمپوست آماده شده بعد از ۱۱ هفته به گونه‌ای که ذرات کمتر از ۲ mm باشند، الک گردید. سپس در دو ظرف در مجاورت هم و در شرایط فیزیکی کاملا مشابه، که یکی با خاک ترکیبی با کود ۰ درصد زئولیت و دیگری با خاک ترکیبی با کود ۱۰ درصد زئولیت آماده شده بود، به میزان مساوی تخم سبزی تره تیزک کاشته و آبیاری هر دو ظرف به صورت یکسان انجام گرفت (۱۳).

یافته‌ها

_ بررسی تغییرات pH کود جامد نسبت به زمان

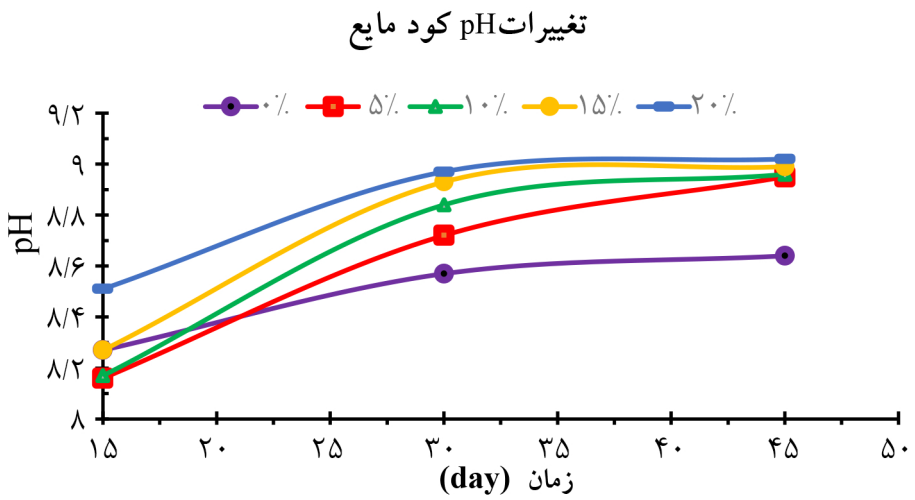
نمودار ۱ تغییرات pH در فرآیند کودسازی را نشان می‌دهد. در تیمار با درصد زئولیت کمتر (۵ درصد)، در روزهای اولیه تغییرات pH مشاهده ولی برای تیمارهایی با درصد زئولیت بالاتر (۱۰ تا ۲۰ درصد) تغییرات چندانی مشاهده نشد؛ به طوری که این تغییرات برای تیمار با درصد زئولیت ۰ و ۵ درصد در روزهای اول کودسازی شدید بوده و در ۱۰ day به کمترین مقدار pH = ۷/۳۵ رسید. بعد از طی زمان ۱۰ day، روند تغییرات pH به صورت افزایشی و سپس ثابت گردید. pH محصول نهائی در تیمارهایی با درصد زئولیت ۱۰ و ۲۰ درصد به ۹/۲۱ رسید؛ که در مقایسه با تیمارهای ۰ و ۵ درصد بالاتر بود.



نمودار ۱- بررسی تغییرات pH کود جامد نسبت به زمان

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

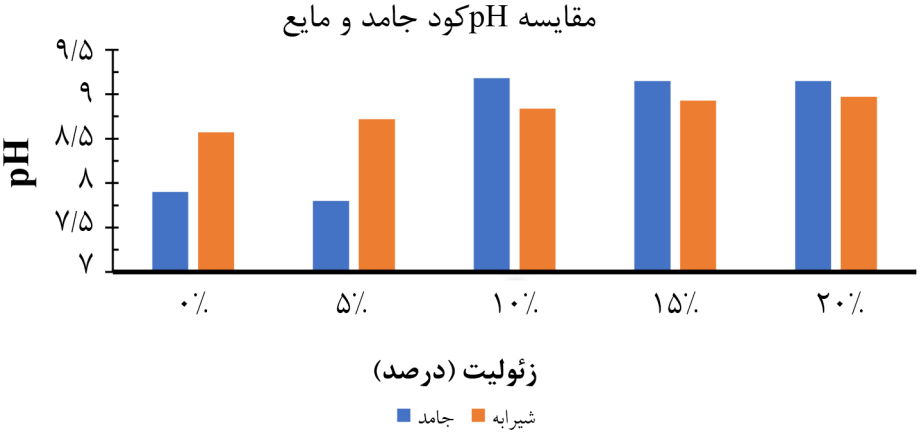
نمودار ۲ تغییرات کود مایع (شیرابه) از day ۱۵ را نشان می‌دهد. میزان pH کود مایع بدون زئولیت (۰ درصد)، با افزایش زمان تغییر چندانی نداشته ولی با افزودن زئولیت، pH کود جامد تا day ۳۰ افزایش یافت و سپس ثابت گردید.



نمودار ۲- بررسی تغییرات pH کود مایع نسبت به زمان

_ مقایسه pH کود جامد و مایع

نمودار ۳ مقایسه pH کود جامد و مایع را نشان می‌دهد. pH کود جامد بدون زئولیت (۰ درصد) ۷/۹ و pH کود مایع بدون زئولیت (۰ درصد) ۸/۵۷ بوده که با افزودن زئولیت، مقدار pH کود جامد تغییرات چشمگیری داشته؛ به طوری که از ۷/۹ به ۹/۱۸ در تیمار ۱۰ درصد رسیده ولی تغییرات قابل چشمگیری در کود مایع مشاهده نگردید. این افزایش در نمونه‌های کود جامد بیشتر از کود مایع بود.

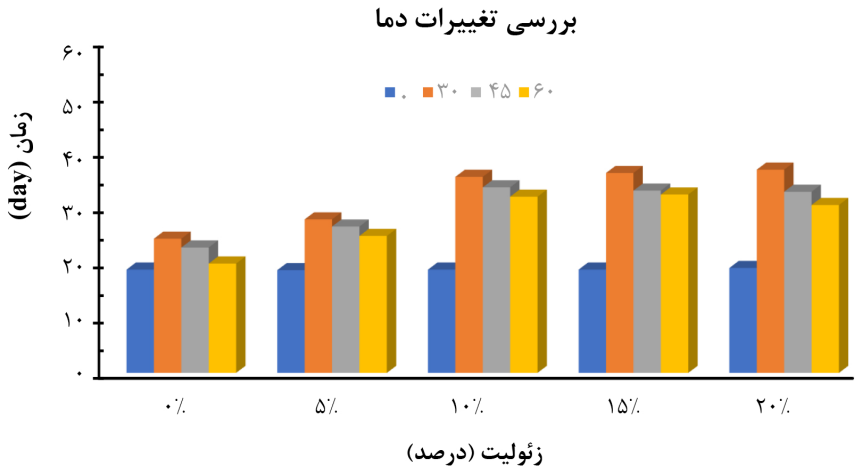


نمودار ۳- مقایسه pH کود جامد و مایع

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

_ *بررسی تغییرات دما در هر نمونه‌برداری*

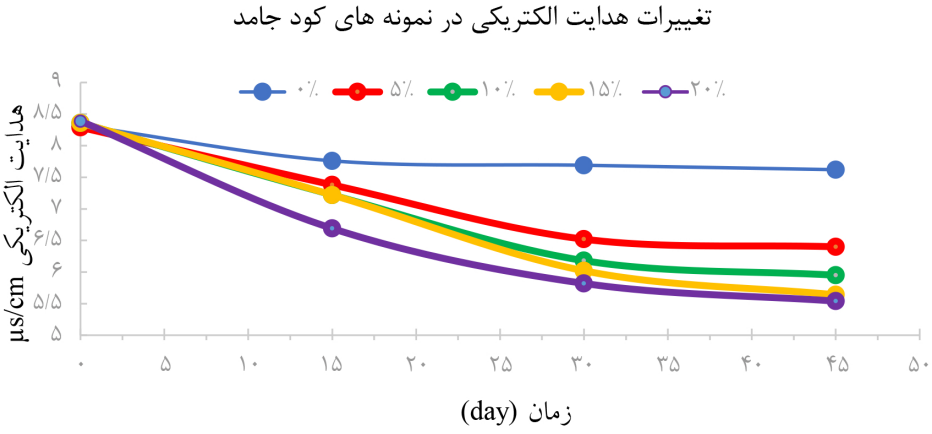
نمودار ۴ میزان دمای کود جامد در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. با شروع فرآیند، دمای راکتور افزایش و سپس با گذشت زمان، دما کاهش یافت؛ به‌طوری که در محصول نهایی به ۳۱/۹ رسید. در نمونه‌های بدون زئولیت (۰ درصد) دما ماندگار نبود ولی افزودن زئولیت باعث ماندگاری دما گردید.



نمودار ۴- بررسی تغییرات دما در هر نمونه‌برداری از کود جامد و مایع

_ *بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در کود جامد*

نمودار ۵ تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های کود جامد را نشان می‌دهد. میزان هدایت الکتریکی (µs/cm) در تمامی نمونه‌ها کاهش یافت؛ به طوری که این تغییرات برای کود ۰ و ۱۰ درصد در روز اول به ترتیب از ۸/۳۲ و ۸/۳۶ به ۷/۶۲ و ۵/۹۵ µs/cm در ۴۵ day تغییر یافت. این کاهش در درصدهای بالاتر بیشتر مشاهده گردید.

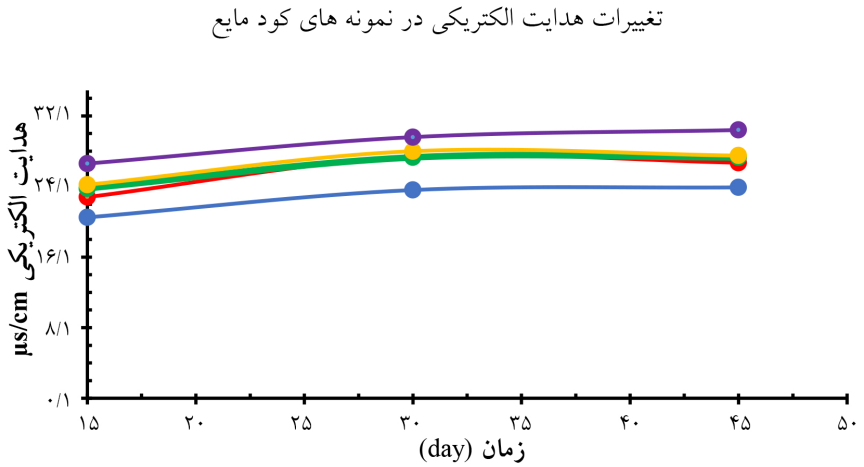


نمودار ۵- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های کود جامد

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

_ *بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در کود مایع*

نمودار ۶ تغییرات هدایت الکتریکی در کود مایع را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی در کود مایع با گذشت زمان افزایش و سپس ثابت گردید.



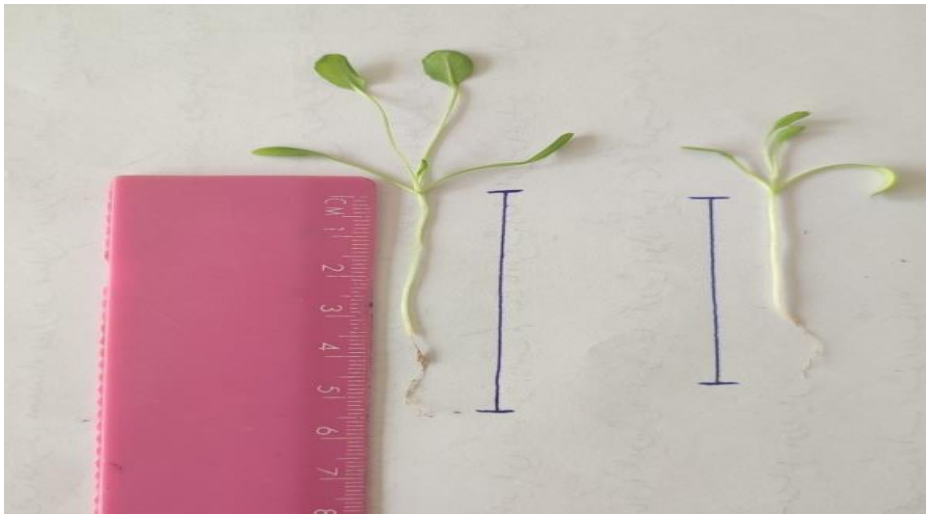
نمودار ۶- بررسی تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه‌های کود مایع

_ *تاثیر زئولیت بر خصوصیات شیمیایی کود*

میزان نیترات (درصد) درنمونه کودهای ۰ و ۱۰ درصد زئولیت به ترتیب ۱/۳۹۸ و ۱/۶۳۱ درصد اندازه گیری شد. با افزایش درصد زئولیت میزان نیترات افزایش یافت. همچنین میزان نسبت کربن به ازت در نمونه کودهای ۰ و ۱۰ درصد زئولیت به ترتیب ۲۳/۴۶ و ۱۳/۹۸ درصد می‌باشد که این نسبت در نمونه ۰ درصد بیشتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

_ *میزان رشد جوانه زنی*

شکل ۲ بیانگر جوانه‌زنی و رشد همزمان دو باغچه سبزی و بیانگر آن است که؛ سبزی رشد کرده در خاک کود جامد ۱۰ درصد زئولیت دارای ارتفاع ساقه بلندتری نسبت به سبزی با خاک ترکیبی با کود جامد ۰ درصد زئولیت دارد.



شکل ۲- مقایسه جوانه‌زنی تره تیزک در خاک ترکیبی با کود جامد ۰ درصد زئولیت و خاک ترکیبی با کود جامد حاوی زئولیت ۱۰ درصد

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

همچنین وزن ۱۰ عدد از سبزی رشد کرده در خاک با کود ۱۰ درصد زئولیت با وزن ۱۰ عدد از سبزی رشد کرده در خاک با کود ۰ درصد زئولیت مقایسه گردید و ۰/۲ g اختلاف وزن داشتند.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن زئولیت میزان دما را افزایش داده؛ به طوری که در تیمارهایی با درصد زئولیت بالا میزان ماندگاری دما در مقایسه با تیمارهایی با درصد زئولیت پایین بیشتر بود. علت افزایش و نگهداری بالای دما در نمونه‌های دارای زئولیت، به دلیل افزودن زئولیت و افزایش ظرفیت متابولیسم باکتریایی می‌باشد و کیفیت کمپوست‌سازی را به علت ایجاد بستر رشد و افزایش منابع نیتروژنی بهبود می‌بخشد. نتایج این مطالعه با مطالعه Montalvo و همکاران (۲۰۱۹) درخصوص جانشینی عملکرد متابولیک آلی جامعه باکتریایی درپاسخ به افزودن قالب‌های کرم خاکی و زئولیت در کاه ذرت کمپوست‌سازی مشابهت داشت (۱۵). همچنین با نتایج Mardini و همکاران (۲۰۱۶) درخصوص تأثیر زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) بر انتشار آمونیاک باقیمانده از کمپوست‌سازی با پوسته برنج در مرحله اولیه فرآیند ترموفیلیک مطابقت داشت (۱۶).

افزودن زئولیت باعث افزایش pH کود مایع شده است. این افزایش به دلیل pH قلیایی زئولیت می‌باشد که به طور قابل توجهی افزایش یافته است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که افزودن زئولیت معمولاً منجر به افزایش pH خاک و کمپوست می‌گردد، زیرا زئولیت‌ها تا حدودی قلیایی هستند (۱۷-۲۰). Ravali و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد که مقادیر pH بالاتر ثبت شده پس از ترکیب کود نیتروژن با غلظت‌های مختلف زئولیت، ممکن است نتیجه نرخ‌های بالاتر زئولیت باشد که قادر به حفظ یون‌های آمونیوم از خاک در منافذ آن است (۲۱). Ahmed و همکاران پیشنهاد کردند که کاربرد زئولیت‌ها در کشت ذرت تاثیر مشابهی بر روی pH خاک داشت (۲۲).

میزان هدایت الکتریکی حاکی از شوری کمپوست است و در هنگام استفاده از کمپوست برای رشد گیاهان، غلظت نمک بالاتر می‌تواند برای جوانه‌زنی بذرها و گیاهان خطرناک باشد. شوری بیش از حد باعث سمیت سلولی می‌شود که میزان آن بسته به نوع گیاه متفاوت است. در این مطالعه میزان هدایت الکتریکی در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان کاهش یافت. این کاهش در نمونه‌های دارای زئولیت بیشتر بوده و با افزایش درصد زئولیت نسبت مستقیم داشته، به طوری که در درصدهای بالاتر، این کاهش بیشتر بود. افزودن زئولیت اثر قابل توجهی در کاهش هدایت الکتریکی دارد. زئولیت طبیعی به علت جذب بارهای منفی و متعادل سازی کاتیونی می‌تواند یک تله برای کاتیون‌های مثبت مثل پتاسیم یا آمونیوم باشد. زئولیت‌ها توانایی جذب یون و تبادل یون با هم را دارا می‌باشند. ساختار متخلخل زئولیت‌ها یک سطح بزرگ ایجاد کرده که در به دام انداختن کلر در حفره‌ها نقش داشته و به دلیل تبادل یون، سدیم را دفع و سبب کاهش شوری و هدایت الکتریکی می‌گردد. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه Taheri Soudejani و همکاران (۲۰۱۹) درخصوص بهبود کیفیت کمپوست پسماندهای شهری از طریق Mg-زئولیت اصلاح‌شده همخوانی داشت (۱۳). Latifah و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه بلوغ کمپوست و در دسترس بودن نیتروژن با کمپوست کردن پوسته شلتوک و کود مرغ اصلاح شده با زئولیت کلینوپتیلولیت تایید کردند که استفاده از زئولیت به دلیل میل ترکیبی بالای زئولیت به کاتیون‌ها، شوری کمپوست را کاهش می‌دهد که با نتایج این مطالعه همخوانی داشت (۲۳). همچنین نتایج با مطالعه Sánchez-Monedero و همکاران (۲۰۰۱) درخصوص تبدیل نیتروژن در طی کمپوست سازی پسماندهای آلی توسط سیستم راتگرز و اثرات آن بر pH، EC و بلوغ مخلوط‌های کمپوست کننده همخوانی داشت (۲۴).

نسبت کربن به ازت، برای تأیید سرعت فرآیند کمپوست

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

سازی و همچنین بلوغ محصول نهایی یکی از پرکاربردترین پارامترهاست. در طی فرآیند کمپوست سازی میزان TOC به دلیل از دست دادن CO_2 کاهش و میزان TKN به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در زئولیت‌ها افزایش می‌یابد؛ بنابراین نسبت C/N کاهش می‌یابد. دراین مطالعه نسبت C/N کاهش یافت که نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه Venglovsky و همکاران در سال ۲۰۰۵ مطابقت داشت (۲۵). همچنین با مطالعه Turan و همکاران (۲۰۰۸) درخصوص بهبود کیفیت کمپوست پسماند شهری با استفاده از پرلیت منبسط شده و زئولیت طبیعی مطابقت داشت (۲۶).

از دست دادن آمونیاک، از طریق تولید NH_3، در فرآیند کمپوست سازی مشکلی است که نه تنها ارزش زراعی محصول نهایی را کاهش می‌دهد، بلکه به آلودگی محیط زیست نیز کمک می‌کند. زئولیت طبیعی به دلیل خاصیت تبادل یونی بالا، به راحتی نیتروژن اضافی در طی فرآیند را به دام انداخته و نیتروژن آمونیاکی (NH_3-N) را کاهش و آمونیوم (NH_4-N) را جهت استفاده مجدد جذب می‌نماید و بدین ترتیب از اتلاف نیتروژن جلوگیری می‌نماید. در این مطالعه، با افزایش زئولیت میزان نیتروژن افزایش یافت. نتایج این مطالعه با مطالعه Taheri Soudejani و همکاران (۲۰۱۹) درخصوص بهبود کیفیت کمپوست پسماندهای شهری از طریق منیزیم-زئولیت اصلاح شده همخوانی داشت (۱۳). همچنین با مطالعه Montalvo و همکاران (۲۰۱۲) درخصوص کاربرد زئولیت طبیعی در فرآیندهای هضم بی‌هوازی همخوانی داشت (۲۷).

شوری زیاد منجر به کاهش شاخص جوانه‌زنی دانه‌ها می‌شود. EC میزان شوری در کمپوست سازی را نشان می‌دهد، و این یک شاخص احتمالی سمیت کود است که بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. EC رابطه منفی معنی‌داری با شاخص جوانه‌زنی دانه‌ها دارد. در این مطالعه با توجه به تاثیر زئولیت بر کاهش میزان شوری، افزایش شاخص رشد جوانه‌زنی در خاک دارای زئولیت مشاهده گردید. نتایج این مطالعه با مطالعه Chan ManTing و همکاران (۲۰۱۶) درخصوص کاهش از دست دادن نیتروژن و شوری در طول "استرووویت" کمپوست پسماندهای غذایی توسط زئولیت مطابت داشت (۱۱).

نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داد که زئولیت می‌تواند برای افزایش کیفیت کودسازی به روش بی‌هوازی استفاده گردد. اصلاح کود با زئولیت مزایای متعددی مانند افزایش تخلخل برای هوادهی بهتر، تجزیه میکروبی و حفظ نیتروژن با کاهش انتشار NH_3 را به همراه داشت؛ به طوری که میزان نیترات را تا ۱۵ درصد افزایش داد. علاوه براین، دوزهای بالاتر زئولیت، سبب افزایش حفظ نیترات گردید. نتایج هدایت الکتریکی شیرابه حاصل از فرآیند، نشان می‌دهد که زئولیت بر ماهیت EC کود جامد و شیرابه تاثیر داشته‌است؛ به طوری که سبب کاهش EC کود جامد و افزایش شیرابه حاصل از فرآیند شده‌است؛ که خود می‌تواند به دلیل نقش تبادل یونی زئولیت باشد. آینده پژوهی باید بر اندازه‌گیری فاکتورهای میکروبی به منظور ارزیابی دقیق‌تر زمان رسیدن کمپوست تمرکز کند. علاوه بر این، به کمپوست مخلوط با زئولیت به منظور دستیابی به نسبت بهتر C/N در حین فرآیند منابع کربنی افزوده گردد، تا جنبه‌های سودمند اصلاح زئولیت در کمپوست سازی کود گاوی ترسیم گردد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. این مطالعه با کد اخلاق IR.MEDSAB.REC.1402.051 به تصویب رسیده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی سبزوار تحت عنوان "بررسی تاثیر زئولیت کلینوپتیلولیت بر کیفیت خواص فیزیکی و شیمیایی کود زیستی حاصل از فرآیند بی‌هوازی" می‌باشد که بدون دریافت هرگونه کمک مالی انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از کلیه افرادی که در فراهم نمودن اطلاعات مورد نیاز تحقیق مشارکت نموده‌اند تشکر نمایند.

References

1. Hartmann M, Frey B, Mayer J, Mäder P, Widmer F. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. The ISME Journal. 2015;9(5):1177-94.

2. Jonidi Jafari A, Rastegar A, Farzadkia M, Rezaee Kalantary R, Rezaee Gozalabad Z. Survey of the effects of soil type on the leaching and adsorption of heavy metals (chromium, lead and cadmium) after compost application on the soils. Iranian Journal of Health and Environment. 2014;6(4):523-34 (in Persian).

3. Islam S, Raihan A. Exploring the effectiveness of human waste compost in improving agricultural soil: a comparative study with poultry manure, cow dung, and vermicompost. Journal of Agriculture Sustainability and Environment. 2024;2997:271X.

4. Ahmadi Pirlou M, Ebrahimi Nik M, Khojastehpour M, Ebrahimi S. Effect of alkaline pretreatment on improvement of biodegradability of organic fraction of municipal solid wastes and biogas production in anaerobic digestion. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;9(4):481-92 (in Persian).

5. Mdlambuzi T, Muchaonyerwa P, Tsubo M, Moshia M. Nitrogen fertiliser value of biogas slurry and cattle manure for maize (Zea mays L.) production. Heliyon. 2021;7(5):e07077.

6. Tallou A, Haouas A, Jamali MY, Atif K, Amir S, Aziz F. Review on cow manure as renewable energy. In: Patnaik S, Sen S, Mahmoud M, editors. Smart village technology: concepts and developments. Modeling and optimization in science and technologies. Berlin: Springer; 2020. p. 341-52.

7. Haque MA, Kabir A, Hashem MA, Azad MAK, Bhuiyan M, Rahman MM. Efficacy of biogas production from different types of livestock manures. International Journal of Smart Grid. 2021;5(4):158-66.

8. Hamid NJA, Kadir AA, Sarani NA, Hassan MIH, Hashar NNH, Hashim AA, et al. Overview on use of zeolites as bulking agent to optimize organic waste composting process. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2nd International Conference on Green Environmental Engineering and Technology; Malaysia: IOP Publishing; 2020. p. 012050.

9. Keenum I, Williams RK, Ray P, Garner ED, Knowlton KF, Pruden A. Combined effects of composting and antibiotic administration on

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

cattle manure–borne antibiotic resistance genes. Microbiome. 2021;9:1-16.

10. Villasenor J, Rodriguez L, Fernandez F. Composting domestic sewage sludge with natural zeolites in a rotary drum reactor. Bioresource Technology. 2011;102(2):1447-54.

11. Chan MT, Selvam A, Wong JW. Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite'food waste composting by zeolite amendment. Bioresource Technology. 2016;200:838-44.

12. Rehakova M, Čuvanová S, Dzivak M, Rimár J, Gaval'Ová Z. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science. 2004;8(6):397-404.

13. Soudejani HT, Kazemian H, Inglezakis VJ, Zorpas AA. Application of zeolites in organic waste composting: A review. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019;22:101396.

14. Taghdisi Heydariyan SZ, Khorassani R, Emami H. Effect of zeolite and cow manure on some physical properties of soil. Journal of Water and Soil Conservation. 2018;25(5):149-66.

15. Montalvo S, Huiliñir C, Borja R, Sánchez E, Herrmann C. Application of zeolites for biological treatment processes of solid wastes and wastewaters–a review. Bioresource Technology. 2020;301:122808.

16. Madrini B, Shibusawa S, Kojima Y, Hosaka S. Effect of natural zeolite (clinoptilolite) on ammonia emissions of leftover food-rice hulls composting at the initial stage of the thermophilic process. Journal of Agricultural Meteorology. 2016;72(1):12-19.

17. Ferretti G, Alberghini M, Galamini G, Medoro V, Faccini B, Balzan S, et al. Exploring the Combined Effects of Different Nitrogen Sources and Chabazite Zeolite-Tuff on Nitrogen Dynamics in an Acidic Sandy-Loam Soil. Soil Systems. 2024;8(1):16.

18. Ferretti G, Rosinger C, Diaz-Pines E, Faccini B, Coltorti M, Keiblinger KM. Soil quality increases with long-term chabazite-zeolite tuff amendments in arable and perennial cropping systems. Journal of Environmental Management. 2024;354:120303.

19. Rădulescu H. Soil treatment effects of zeolitic volcanic tuff on soil fertility. Research Journal of Agricultural Science. 2013;45(2):238-44.

20. Ramesh V, Jyothi JS, Shibli S. Effect of zeolites on soil quality, plant growth and nutrient uptake efficiency in sweet potato (Ipomoea batatas L.). Journal of Root Crops. 2015;41(1):25-31.

21. Ravali C, Rao KJ, Anjaiah T, Suresh K. Effect of zeolite on soil physical and physico-chemical properties. Multilogic in Science. 2020;10:776-81.

22. Ahmed O, Sumalatha G, Muhamad AN. Use of zeolite in maize (Zea mays) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. International Journal of the Physical Sciences. 2010;5(15):2393-401.

23. Latifah O, Ahmed OH, Susilawati K, Majid NM. Compost maturity and nitrogen availability by co-composting of paddy husk and chicken manure amended with clinoptilolite zeolite. Waste Management & Research. 2015;33(4):322-31.

24. Sanchez Monedero M, Roig A, Paredes C, Bernal M. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Bioresource Technology. 2001;78(3):301-08.

25. Venglovsky J, Sasakova N, Vargova M, Pacajova Z, Placha I, Petrovsky M, et al. Evolution of temperature and chemical parameters during composting of the pig slurry solid fraction amended with natural zeolite. Bioresource Technology. 2005;96(2):181-89.

26. Turan NG, Ergun ON. Improving the quality of municipal solid waste compost by using expanded perlite and natural zeolite. Clean–Soil, Air, Water. 2008;36(3):330-34.

27. Montalvo S, Guerrero L, Borja R, Sanchez E, Milan Z, Cortes I, et al. Application of natural zeolites in anaerobic digestion processes: A review. Applied Clay Science. 2012;58:125-33.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Modification of anaerobic composting process using natural clinoptilolite zeolite on the quality of physical and chemical properties

Fariba Asghari[1], Ayoob Rastegar[1,2], Mohammad Hossien Saghi[1,*]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnord, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 07 October 2024
Revised: 25 December 2024
Accepted: 30 December 2024
Published: 08 March 2025

Keywords: Zeolite, Compost, Anaerobic process, Modified fertilizer

ABSTRACT

Background and Objective: Composting is a sustainable solution for recycling organic solid waste (OSW). Various compounds can be used to enhance the quality of compost. This study aimed to investigate the effects of zeolite on the physical and chemical characteristics of compost produced through the anaerobic process.

Materials and Methods: This analytical study was conducted in 1402 at Kimia Sabzevar Company, located 5 km from Rudab Road. Cow manure and natural clinoptilolite zeolite were used in varying proportions (0%, 5%, 10%, 15%, and 20% of the total reactor volume) to prepare fertilizer via the anaerobic method. After 30, 45, and 60 days, a total of 90 samples were collected and sent to the laboratory for analysis. Parameters such as pH, electrical conductivity, temperature, carbon-to-nitrogen ratio, and nitrate content were measured to evaluate the quality of the fertilizer product.

Results: The results showed that in the early stages, pH changes were less pronounced in treatments with varying zeolite percentages, ranging from 7.9 to 8.57. The addition of zeolite in the composting process influenced temperature dynamics, with higher zeolite percentages maintaining elevated temperatures. Moreover, the nitrate content increased by 15% during the process.

Conclusion: The findings indicate that adding zeolite to fertilizer enhances temperature stability, accelerates the composting process, and reduces the time required for fertilization. Additionally, zeolite improved the physicochemical properties of the fertilizer produced through the anaerobic process.

***Corresponding Author:**
saghi9@gmail.com

Please cite this article as: Asghari F, Rastegar A, Saghi MH. Modification of anaerobic composting process using natural clinoptilolite zeolite on the quality of physical and chemical properties. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;17(4):691-704.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-03-12]