19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025
نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

بهبود کیفیت کمپوست پسماند جامد شهری با استفاده از افزودنی‌های مختلف

کمال خلخال[۱]*، عادل ریحانی تبار[۲]،شاهین اوستان[۳] و ناصر علی‌اصغرزاد[۴]

۱* دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز **k.khalkhal@tabrizu.ac.ir**

۲، ۳ و ۴ استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده:

مدیریت پسماند جامد شهری یک نگرانی جهانی است. کمپوست‌سازی از نقطه نظر اقتصادی با صرفه‌جویی در هزینه دفع، یک راه حل امیدوارکننده برای مدیریت بخش آلی پسماند جامد شهری است. در این پژوهش بخش آلی پسماند جامد شهری با بیوچار ۲ تا ۴ میلی‌متر (B_{2-4mm})، بیوچار ۱ تا ۲ میلی‌متر (B_{1-2mm})، بیوچار ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر ($B_{0.5-1mm}$)، بیوچار فعال‌شده با H_2SO_4 (AB-H_2SO_4) و NaOH (AB-NaOH)، زئولیت اصلاح شده با سولفات منزیم ($MgSO_4$-zeolite) و لئوناردیت برای تهیه کمپوست مشترک مخلوط و به مدت ۹۰ روز اجرا شد. چندین شاخص پایداری و رسیدگی درطول کمپوست‌شدن مشترک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در کمپوست مشترک نهایی، تیمار (5,10%) NaOH-AB، (10%) H_2SO_4-AB و B_{1-2mm} (10%) به دلیل دما و طول دوره ترموفیلی بالاتر، غلظت ماده آلی و شاخص جوانه‌زنی بالاتر، غلظت آمونیوم، نیترات و شاخص نیتریفیکاسیون (NH_4^+/NO_3^-) پایین‌تر موثرترین تیمارها بودند. بنابراین استفاده از بیوچار در اندازه ریز (۰/۵ تا ۲ میلی‌متر) و بیوچار فعال‌شده در سطح ۱۰٪ می‌تواند به عنوان بهترین گزینه برای تولید کمپوست درجه یک با کیفیت بالا در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: بیوچار، رسیدگی، زئولیت، کمپوست مشترک، فعال‌سازی

مقدمه:

مدیریت پسماندهای جامد شهری یک نگرانی جهانی است. در سراسر جهان به ازای هر نفر در روز به طور متوسط ۰/۷۴ کیلوگرم زباله تولید شده اما به طور گسترده از ۰/۱۱ تا ۴/۵۴ کیلوگرم متغیر است که ۵۳ درصد و ۵۷ درصد آن را پسماندهای آلی به ترتیب در کشورهای با درآمد متوسط و کم تشکیل می‌دهند (Kaza et al., 2018). کمپوست‌سازی به عنوان یک راه حل در شهرهای پرجمعیت در حال توسعه است. کمپوست از نقطه نظر اقتصادی باعث صرفه‌جویی در هزینه دفع زباله و همچنین یک راه حل امیدوارکننده برای مدیریت بخش آلی عمل می‌کند (Bhattacharjee et al., 2023). با این حال، تولید و کاربرد کمپوست با مشکلاتی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای (CH_4، CO_2 و N_2O)، بوی بد، از دست دادن نیتروژن و آلودگی منابع خاک و آب با فلزات سنگین همراه است (Li et al., 2023). برخی پژوهشگران بر این باورند که می‌توان جنبه‌های منفی کمپوست‌شدن را با افزودن افزودنی‌های مختلف به مواد اولیه در حال تبدیل به کمپوست محدود کرد. این افزودنی ها ممکن است آلی، معدنی، زیستی یا ترکیبی از افزودنی‌های مختلف باشند. اگرچه در چند سال اخیر تحقیقات محدودی در مورد کمپوست مشترک[۱] بیوچار و زئولیت انجام گرفته است اما درخصوص استفاده از بیوچار فعال‌شده با NaOH و H_2SO_4 و زئولیت

[۱] Co-compost

اصلاح شده با $MgSO_4$ و همچنین لئوناردیت در کمپوست‌سازی پسماند جامد شهری بدون تنظیم نسبت C/N در ابتدای فرایند اطلاعات چاپ شده‌ای وجود ندارد. هدف این پژوهش مطالعه تأثیر اندازه ذرات و فعال‌سازی بیوچار با NaOH و H_2SO_4، زئولیت اصلاح شده با $MgSO_4$ و همچنین لئوناردیت بر برخی شاخص‌های رسیدگی و پایداری، در کمپوست پسماند شهری با C/N اولیه و پایین بود.

مواد و روش‌ها:

پسماند جامد کلانشهر تبریز جمع‌آوری و بعد از تفکیک کامل به اندازه کمتر از ۵ سانتی‌متر خرد شد. بیوچار به روش پیرولیز آهسته در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد از زیست‌توده ضایعات حاصل از هرس درخت آلو و انار در شرایط بدون اکسیژن با زمان ماندگاری یک ساعت تهیه شد. بیوچار تهیه شده با استفاده از الک در اندازه‌های ۰/۵ تا ۱ ($B_{0.5\text{-}1mm}$)، ۱ تا ۲ ($B_{1\text{-}2mm}$) و ۲ تا ۴ میلی‌متر ($B_{2\text{-}4mm}$) تفکیک شد. بیوچار تهیه شده ($B_{0.5\text{-}1mm}$) با محلول NaOH و H_2SO_4 ۲ مولار با نسبت ۲:۱ (بیوچار۱: محلول ۲) به مدت ۲ ساعت فعال‌سازی شد (اصلاح شده روش Fan et al., 2010).

زئولیت طبیعی با استفاده از الک ۰,۵ تا ۱ میلی‌متری تهیه و با آب مقطر شسته شد (نسبت ۱:۱۰) تا ناخالصی‌هایی مانند نمک، خاکستر و ... از بین برود و سپس در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. زئولیت خشک شده با محلول سولفات منیزیم ۲ مولار ($MgSO_4.7H_2O$) با نسبت جامد به محلول ۱:۵ (w/v) و به مدت ۲۴ ساعت اصلاح شد (اصلاح شده روش Huang et al., 2014). زئولیت از از معدن سمنان توسط شرکت افرازند و لئوناردیت از شرکت قیزیل توپراق سهند تهیه شد.

این آزمایش به صورت طرح آماری سنجه‌های تکراری[۲] با دو فاکتور (انواع افزودنی و زمان) در سه سطح بیوچار (۰، ۵ و ۱۰ ٪) و دو تکرار به مدت ۳ ماه اجرا شد. بدین منظور بخش آلی پسماند جامد شهری با سه سطح ۰، ۵ و ۱۰ درصد از $B_{0.5\text{-}1mm}$، $B_{1\text{-}2mm}$، $B_{2\text{-}4mm}$، بیوچار فعال‌شده با اسید سولفوریک ($AB_{0.5\text{-}1mm}\text{-}H_2SO_4$) و بیوچار فعال‌شده با سود ($AB_{0.5\text{-}1mm}$-NaOH)، زئولیت اصلاح شده با سولفات منزیم ($MgSO_4$-zeolite) و لئوناردیت برای تهیه کمپوست مشترک مخلوط و به مدت ۹۰ روز در داخل بشکه‌های پلاستیکی ۱۰۰ لیتری با وزن تقریبی ۷۰ کیلوگرم بهم زده و نگه‌داری شدند. دمای توده کمپوست روزانه اندازه‌گیری شد. هفته‌ای یک بار توده کمپوست همزده و کاملاً مخلوط شد. رطوبت تیمارها تا پایان آزمایش در محدوده ۶۰-۵۰ درصد وزنی نگه‌داری شد. نمونه‌برداری در روزهای ۱، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲، ۵۶، ۷۰ و ۹۰ انجام و هربار حداقل ۵۰۰ گرم نمونه از اعماق مختلف بشکه برداشته شد و ضمن اختلاط، یک نمونه مرکب بدست آمد. شاخص‌های پایداری کمپوست و رسیدگی براساس روش‌های رایج آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها به روش سنجه‌های تکراری، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD (سطح احتمال ۹۵ درصد) با استفاده از نرم‌افزار SPSS 27.0 و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Origin انجام شد.

نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس در طول کمپوست‌شدن نشان داد که اختلاف بین تیمارها، زمان و همچنین برهمکنش تیمار×زمان در مورد دما، هدایت الکتریکی (EC)، محتوای ماده آلی (OM)، شاخص جوانه‌زنی، غلظت آمونیوم و نیترات، نسبت NH_4^+/NO_3^- و نسبت C/N معنادار بود ($p<0.01$).

نتایج دما نشان داد به غیر از شاهد، تیمار لئوناردیت (۵٪) و H_2SO_4-AB 5% که طول دوره ترموفیلی آنها ۵ روز بود، بقیه تیمارها طول دوره ترموفیلی بیشتری (۶ و ۷ روز) داشتند. در روز اول دوره ترموفیل، پایین‌ترین دما (54.5 °C) مربوط به تیمار شاهد و بالاترین دما (71.5 °C) و طولانی‌ترین دوره ترموفیلی (۷ روز) مربوط به تیمار AB-NaOH 5% بود (شکل ۱a) که این

[۲] Repeated Measures

اختلاف احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت میکروبی ناشی از حضور بیوچار فعال‌شده با NaOH با سطح ویژه بالا و گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن زیاد است. نتایج این تحقیق نشان داد که اندازه ذرات بیوچار بر دمای مرحله ترموفیلی تأثیر معناداری نداشت ($P>0.05$). در این پژوهش تیمارهای مورد استفاده نسبت به شاهد با تحریک فعالیت میکروبی منجر به شروع زودهنگام فاز ترموفیلی، افزایش دما و طولانی‌تر شدن این مرحله شدند که موافق با نتایج دیگر محققان نیز می‌باشد (Behera & Samal., 2022; Manu et al., 2021).

هدایت الکتریکی (EC) توده‌های در حال کمپوست‌شدن در هفته اول دارای کمترین مقدار بود، ولی با گذشت زمان به دلیل تجزیه سریع مواد آلی، معدنی‌شدن عناصر و از دست دادن آب، مقادیر EC شروع به افزایش کرد (شکل ۱b). این روند افزایش EC در دوره ترموفیلی شدیدتر بود که به دلیل افزایش فعالیت ریزجاندارن و تجزیه سریع‌تر مواد آلی است. در پایان فرایند کمپوست‌شدن تیمارهای سطح ۵ درصد نسبت به شاهد به صورت میانگین ۶/۷۱ درصد (۲,۳۶ الی ۲۰,۱۷ درصد) و تیمارهای سطح ۱۰ درصد نسبت به شاهد به صورت میانگین ۱۶/۳۹ درصد (۱۳,۵۲ الی ۲۰,۵۵ درصد) کاهش EC داشتند که نشان‌دهنده اثر رقت بود. در کمپوست نهایی تیمار شاهد بیشترین EC (۹,۳۲ dS/m) و تیمار (10%) $B_{1\text{-}2mm}$ کمترین EC (۷,۴۱ dS/m) و بیشترین کاهش EC (۲۰/۵۵ درصد) را نسبت به شاهد داشت. با توجه استاندارد تعیین شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، کمپوست درجه ۱ دارای EC کمتر از ۸ و کمپوست درجه ۲ دارای EC ۱۴ الی ۸ dS/m می‌باشد به عبارت دیگر در این تحقیق کمپوست‌های شاهد، (5%) $B_{0.5\text{-}1mm}$، (5%) $B_{1\text{-}2mm}$، (5,10%) $B_{2\text{-}4mm}$، (10%) NaOH-AB، (5%) H_2SO_4-AB، لئوناردیت (۵٪) و (5%) $MgSO_4$-zeolite کمپوست درجه ۲ بوده و کمپوست‌های (10%) $B_{0.5\text{-}1mm}$، $B_{1\text{-}}$ $_{2mm}$ (10%)، (10%) H_2SO_4-AB، لئوناردیت (۱۰٪) و (10%) $MgSO_4$-zeolite از نظر EC کمپوست درجه یک می باشند.

روند تغییرات ماده آلی کاهشی بود که به دلیل مصرف کربن توسط ریزجانداران در طول فرایند کمپوست‌شدن می‌باشد (شکل ۱c). پس از دوره ترموفیلی روند کاهشی در ماده آلی کند شد. در این مرحله دما کاهش یافته و فعالیت میکروبی به دلیل کاهش مواد آلی به راحتی تجزیه‌پذیر، کاهش یافت. در کمپوست نهایی بالاترین درصد ماده آلی (۳۷,۹۳٪) مربوط به $B_{1\text{-}2mm}$ (10%) و کمترین درصد ماده آلی (۱۸,۵۹٪) مربوط به تیمار (10%) MgSO4-Zeolite بود ($p<0.05$). همانند نتایج Wang et al. (۲۰۱۷) غلظت ماده آلی در افزودنی‌های آلی (بیوچار) بیشتر از افزودنی‌های معدنی (زئولیت و لئوناردیت) بودند. در بین تیمارها، میزان تجزیه زیستی و کاهش مقدار OM بدین ترتیب biochar, activated biochar >Leonardite =control >MgSO4-Zeolite بود. بیوچار به دلیل مقاومت شیمیایی ساختار آروماتیک آن در طول کمپوست‌شدن دچار تجزیه زیستی شدید نمی‌شود (Behera and Samal, 2022). لذا در بین تیمارها، میزان تجزیه زیستی و کاهش مقدار OM برای تیمارهای بیوچار ۱۰٪ > تیمارهای بیوچار ۵٪ > شاهد بود. کاهش مواد آلی در تیمار (10%) H_2SO_4-AB بیشترین (۱۲/۲۶٪) و در لئوناردیت (۵٪) کمترین (۳/۲۴٪) بود. مقدار کاهش مواد آلی در تیمارهای بیوچار بیشتر از زئولیت و لئوناردیت بود که نشان‌دهنده توانایی بیشتر بیوچار فعال شده در افزایش فعالیت میکروبی است که منجر به تجزیه و معدنی‌کردن بهتر ماده آلی توسط بیوچار نسبت به زئولیت و لئوناردیت شد. بر اساس مقدار مشخص شده در سازمان استاندارد ملی ایران کمپوست‌های بیوچار در سطح ۱۰ درصد (10%) H_2SO_4-AB، (10%) NaOH-AB، (10%) $B_{1\text{-}2mm}$ و (10%) $B_{0.51mm}$ به عنوان کمپوست درجه ۱ (حداقل ۳۵٪ ماده آلی) و بقیه کمپوست درجه ۲ (حداقل ۲۵٪ ماده آلی) به حساب می آیند (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۶).

شاخص جوانه‌زنی در ابتدا برای تمامی تیمارها پایین بود و این به دلیل تجزیه سریع مواد آلی در مراحل اولیه کمپوست، تولید مقادیر زیادی اسیدهای چرب فرار (VFAs[۳]) و آمونیوم است که برای جوانه‌زنی بذر سمی هستند (Jiang et al. 2018). با پیشرفت کمپوست‌شدن، مقادیر شاخص جوانه‌زنی روند افزایشی داشت (شکل ۱d). بر اساس مقدار استاندارد ملی ایران تمام تیمارها کمپوست درجه ۱ حساب می‌شوند (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۶). در کمپوست نهایی، شاخص جوانه‌زنی به ترتیب زیر بود ($p<0.05$) که همه آنها با بیش از ۸۰٪ به بلوغ رسیدند که نشان دهنده عدم وجود سمیت گیاهی بود.

NaOH-AB 5% (130.94%) > $B_{0.5-1mm}$ 10% (130.19%)> H_2SO_4-AB 10% (129.15%)> Leonardite 10% (128.68%)>MgSO4-Zeolite 10% (127.74%)> B_{1-2mm} 5% (124.19%)> NaOH-AB 10% (123.77%)> MgSO4-Zeolite 5% (122.64%)> B_{2-4mm} 10% (121.51%)> $B_{0.5-1mm}$ 5% (120.75%)> Leonardite 5% (118.11%)> B_{1-2mm} 10% (117.74%)> B_{2-4mm} 5% (114.72%)> H_2SO_4-AB 5% (108.68%)> Control (94.15%)

غلظت آمونیوم در ابتدای دوره ترموفیلی افزایش و سپس روند کاهشی داشت (شکل ۱e). افزایش اولیه می‌تواند به دلیل معدنی شدن سریع نیتروژن آلی و آمونیاکی‌شدن با افزایش دما و pH باشد (Awasthi et al., 2017). در کمپوست نهایی تیمار AB-NaOH 10% دارای کمترین غلظت آمونیوم (70 mg/kg) و همانند نتایج Awasthi و همکاران (۲۰۱۷) تیمار شاهد دارای بیشترین غلظت آمونیوم (153 mg/kg) بود و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت ($p<0.05$) که به معنی تأثیر مثبت تیمارهای مورد استفاده بر روی غلظت آمونیوم است. در پایان دوره کمپوست، محتوای NH_4^+ در تمام تیمارها کمتر از حد مجاز (۰,۴ گرم بر کیلوگرم) بود که نشان می‌دهد تمام کمپوست نهایی بالغ بوده است.

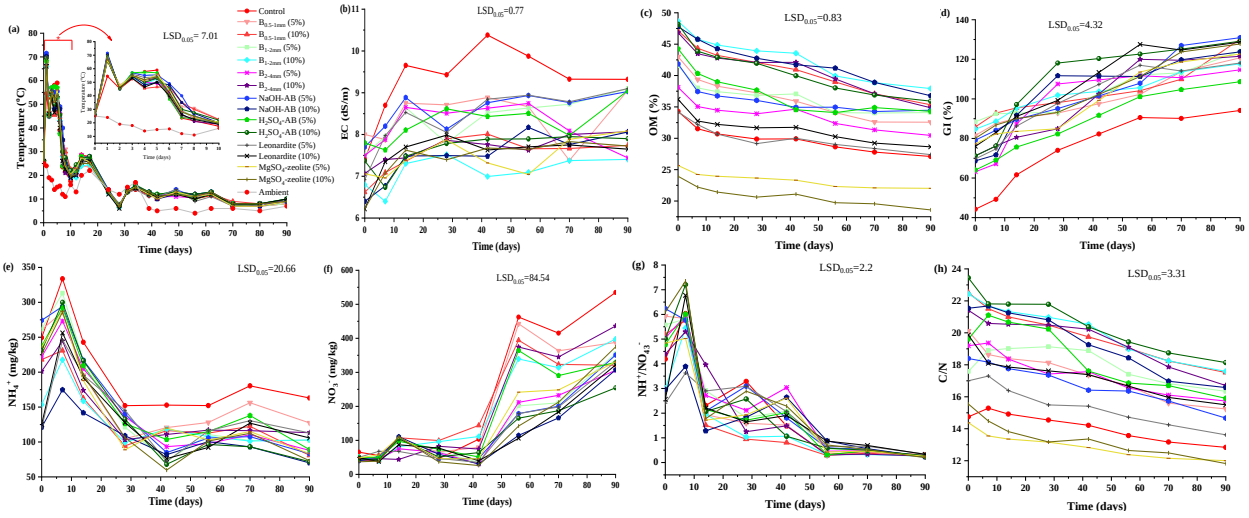
غلظت نیترات برعکس آمونیوم روند افزایشی داشت (شکل ۱g). چند هفته اول فرایند کمپوست‌شدن مشترک غلظت نیترات پایین بود و تغییرات آنچنانی در روند نیترات مشاهده نشد چرا که مقادیر دما، pH و غلظت NH_4^+ آنقدر بالاتر بودند که از فعالیت و رشد باکتری‌های نیترات‌ساز جلوگیری کنند (Wang et al, 2023). پس از کاهش غلظت آمونیوم و دمای کمپوست به تدریج روند افزایشی نیترات شروع و پس ۵۶ روز، NO_3^- به دلیل نیترات‌سازی به سرعت افزایش یافته و بعد به یک سطح نسبتاً ثابتی رسید. در کمپوست نهایی تیمار AB-H_2SO_4 10% کمترین غلظت نیترات (254.4 mg/kg) و مطابق با نتایج Manu et al (2021) شاهد بیشترین غلظت نیترات (534.95 mg/kg) را داشت ($p<0.05$) که از یک طرف نشان می‌دهد افزودنی‌های مورد استفاده در این پژوهش می‌توانند نیتریفیکاسیون را مهار کنند و از طرف دیگر تولید NO_3^- در تیمار شاهد به دلیل کمتر بودن دما و دوره فاز ترموفیل در این تیمار باشد که به نفع فرایند نیتریفیکاسیون بود. تخلخل و سطح ویژه بالای افزودنی‌ها می‌تواند به اتصال عناصر غذایی کمک کرده و از هدررفت نیتروژن به‌صورت آبشویی نیترات جلوگیری کند.

از نسبت NH_4^+/NO_3^- به عنوان شاخص نیتریفیکاسیون برای بررسی رسیدگی و پایداری کمپوست استفاده می‌شود و مقدار کمتر از ۰/۵ کمپوست کاملاً بالغ، ۰/۵ تا ۳ کمپوست بالغ و بیشتر از ۳ به عنوان کمپوست نابالغ معرفی شده است. بر این اساس تمام کمپوست‌های تولید شده در این تحقیق از نظر شاخص نیتریفیکاسیون کمپوست کاملاً رسیده محسوب می‌شوند (شکل ۱g). پایین‌ترین نسبت در کمپوست نهایی مربوط به تیمار MgSO4-Zeolite (10%) (۰/۲) و بالاترین نسبت مربوط به تیمار Leonardite (5%) (۰/۳۴) بود. با توجه به نسبت NH_4^+/NO_3^- مشاهده شد که تیمارهای سطح ۱۰ درصد نسبت NH_4^+/NO_3^- پایین‌تری داشتند و زودتر به مرحله رسیدگی رسیدند. سازمان استاندارد ملی ایران نیز حد بهینه برای این نسبت

[۳] Volatile fatty acids

را بین ۰/۵ الی ۳ معرفی کرده است (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۶). بنابراین تمام کمپوست‌های تولید شده در این تحقیق از نظر نسبت NH_4^+/NO_3^- کمپوست کاملاً رسیده محسوب می شوند.

نسبت C/N در توده کمپوست کاهش یافت (شکل ۱h). این کاهش نسبت C/N در طول کمپوست‌شدن به دلیل معدنی‌شدن و افزایش نیتروژن کل به دنبال تجزیه زیستی کربن بود. بعد از ۵۶ روز تمام کمپوست‌ها از لحاظ شاخص C/N رسیده و به کمتر از ۲۰ کاهش یافتند. تغییرات و کاهش نسبت C/N در تیمار شاهد و زئولیت-Mg کمتر از تیمارهای بیوچار و لئوناردیت بود، اما پایین بودن نسبت C/N در تیمار زئولیت-Mg برخلاف تیمار شاهد به خاطر ماهیت معدنی زئولیت و پایین بودن مقدار کربن و نیتروژن در زئولیت می‌باشد. نسبت C/N در ابتدای فرایند کمپوست‌شدن در تیمار شاهد و زئولیت بسیار پایین بوده که مناسب نمی‌باشد و باعث می‌شود که N معدنی بیش از حد تولید شود و این نیتروژن می‌تواند توسط تصاعد آمونیاک یا با آبشویی نیترات از توده کمپوست هدر رود. محدوده بهینه نسبت‌های اولیه C/N برای نگهداری نیتروژن و کیفیت کمپوست بسته به نوع پسماند و روش کمپوست متفاوت و بین ۲۰ تا ۳۰ است. با توجه کم بودن نسبت C/N در پسماند جامد شهری و محتوای کربن بالا در تیمارهای بیوچار (۵۱-۶۴ ٪) نسبت به زئولیت (۱٪>) و لئوناردیت (۲۳٫۵٪) و لزوم تنظیم نسبت C/N به دامنه مناسب ۲۰-۳۰ برای جلوگیری از هدررفت N، توصیه می‌شود که بیوچار و بیوچار فعال شده در سطح ۱۰ درصد به عنوان تیمار و درصد مناسب به پسماندهای جامد شهری برای بهبود رسیدگی کمپوست و کاهش هدررفت نیتروژن در نظر گرفته شود چرا که افزایش نسبت C/N مخلوط‌های کمپوست با استفاده از بیوچار ممکن است بر حفظ نیتروژن تأثیر مثبت بگذارد و انتشار آمونیاک و بو را کاهش دهد. سازمان استاندارد ملی ایران نسبت C/N را برای کمپوست درجه یک ۱۵ تا ۲۰ و برای کمپوست درجه ۲ در محدوده ۱۰ تا ۱۵ معرفی کرده است (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۶). با توجه به این محدوده می‌توان گفت غیر از تیمار شاهد، لئوناردیت (۵٪)، NaOH-AB (5%) و MgSO4-zeolite (5,10%) که کمپوست درجه ۲ محسوب می شوند بقیه تیمارها کمپوست درجه ۱ به حساب می آیند.



شکل۱. تغییرات دما (a)، EC (c)، محتوای ماده آلی (d)، شاخص جوانه‌زنی (e)، غلظت NH_4^+ (f) و NO_3^- (g)، نسبت NH_4^+/NO_3^- (h) و نسبت C/N (j) در طول فرایند کمپوست‌شدن مشترک.

نتیجه‌گیری:

نتایج نشان داد که تیمار B_{1-2mm} (10%) با در نظر گرفتن همه شاخص‌های رسیدگی، کمپوست درجه یک محسوب می‌شود. همچنین تیمارهای NaOH-AB (5, 10%) و H_2SO_4-AB (10%) به ترتیب از لحاظ شاخص‌های پایداری و رسیدگی کمپوست

و همچنین به دلیل کربن بالا برای تنظیم نسبت C/N پسماند جامد شهری در ابتدای کمپوستینگ، افزودنی‌های برتر بودند. تیمار $MgSO_4$-zeolite نیز باعث بهبود شاخص‌های پایداری و رسیدگی کمپوست شد اما به دلیل مقدار ناچیز کربن و نیتروژن زئولیت بهتر است در تحقیقات آینده همراه با افزودنی‌های همچون بیوچار به‌صورت مخلوط بررسی شود. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان راهکاری عملی برای مدیریت پایدار پسماند جامد شهری و کاهش آلایندگی‌های زیست محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

استاندارد ملی ایران. (۱۳۸۶). کمپوست-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی. چاپ اول. شماره ۱۰۷۱۶.

Awasthi, M. K., Wang, M., Chen, H., Wang, Q., Zhao, J., Ren, X., Li, D. sheng, Awasthi, S. K., Shen, F., Li, R., & Zhang, Z. (2017). Heterogeneity of biochar amendment to improve the carbon and nitrogen sequestration through reduce the greenhouse gases emissions during sewage sludge composting. Bioresource Technology, 224, 428–438.

Behera, S., & Samal, K. (2022). Sustainable approach to manage solid waste through biochar assisted composting. Energy Nexus, 7, 100121.

Bhattacharjee, S., Panja, A., Kumar, R., Ram, H., Meena, R. K., & Basak, N. (2023). Municipal solid waste compost: a comprehensive bibliometric data-driven review of 50 years of research and identification of future research themes. Environmental Science and Pollution Research, 30(37), 86741–86761.

Das, M., Uppal, H. S., Singh, R., Beri, S., Mohan, K. S., Gupta, V. C., & Adholeya, A. (2011). Co-composting of physic nut (Jatropha curcas) deoiled cake with rice straw and different animal dung. Bioresource Technology, 102(11), 6541–6546.

Fan, Y., Wang, B., Yuan, S., et al. (2010). Adsorptive removal of chloramphenicol from wastewater by NaOH modified bamboo charcoal. Bioresource Technology, 101, 7661-7664.

Huang, H., Xiao, D., Pang, R., Han, C., & Ding, L. (2014). Simultaneous removal of nutrients from simulated swine wastewater by adsorption of modified zeolite combined with struvite crystallization. Chemical Engineering Journal, 256, 431–438.

Kaza, S., Lisa, Y., Perinaz, B.-T., & Frank, V. W. (2018). What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank.

Li, D., Manu, M. K., Varjani, S., & Wong, J. W. C. (2023). Role of tobacco and bamboo biochar on food waste digestate co-composting: Nitrogen conservation, greenhouse gas emissions, and compost quality. Waste Management, 156, 44–54.

Manu, M. K., Wang, C., Li, D., Varjani, S., Xu, Y., Ladumor, N., Lui, M., Zhou, J., & Wong, J. W. C. (2021). Biodegradation kinetics of ammonium enriched food waste digestate compost with biochar amendment. Bioresource Technology, 341, 125871.

Wang, Q., Awasthi, M. K., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Wang, Z., Chen, H., Wang, M., & Zhang, Z. (2017). Comparison of biochar, zeolite and their mixture amendment for aiding organic matter transformation and nitrogen conservation during pig manure composting. Bioresource Technology, 245, 300–308.

Wang, Z., Xu, Y., Yang, T., Liu, Y., Zheng, T., & Zheng, C. (2023). Effects of biochar carried microbial agent on compost quality, greenhouse gas emission and bacterial community during sheep manure composting. Biochar, *5*(1), 3.

Improving Municipal Solid Waste Composting Quality Using Various Additives

Kamal Khalkhal*[1], Adel Reyhanitabar[2], Shahin Oustan[3] and Naser Aliasgharzad[4]

1. PhD Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. k.khalkhal@tabrizu.ac.ir

2, 3, 4. Prof, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Abstract

Municipal solid waste (MSW) management is a universal concern. From an economic perspective, composting presents a promising solution for managing the organic fraction of municipal solid waste by reducing disposal costs. In this research, the municipal solid waste (MSW) was co-composted with various additives: 2-4 mm biochar ($B_{2\text{-}4mm}$), 1-2 mm biochar ($B_{1\text{-}2mm}$), 0.5-1 mm biochar ($B_{0.5\text{-}1mm}$), H_2SO_4-activated biochar (AB-H_2SO_4), NaOH-activated biochar (AB-NaOH), $MgSO_4$-modified zeolite ($MgSO_4$-zeolite), and leonardite for co-composting over 90 days. Several stability and maturity indices were measured during the co-composting process. The results demonstrated that in the final co-compost, the treatments of NaOH-AB (5%,10%), H_2SO_4-AB (10%), and $B_{1\text{-}2mm}$ (10%) were the most effective. These treatments showed higher thermophilic temperatures and longer thermophilic phases, greater organic matter content and germination index, along with lower ammonium, nitrate concentrations, and nitrification index (NH_4^+/NO_3^-). Therefore, the use of biochar (0.5-2mm)

and activated biochar at 10% application rate can be recommended as the optimal choice for producing high-quality, Grade A compost."

Keywords: Additives, Composting, maturity.