

امکان سنجی کاهش بو در فرآیند کمپوست پسماند آلی شهری با افزودن ترکیبات کاهنده بو

سمانه جلالی^۱ ID، سید نادعلی علوی بختیاروند^۱ ID، رضا سعیدی^۲ ID، مهرانوش ابطحی^{۳*} ID^۱ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران^۲ گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران^۳ مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: انتشار بو در تأسیسات تولید کمپوست چالش مهمی در زمینه زیست محیطی و بهداشتی است. این مطالعه به بررسی میزان کاهش بو با سه افزودنی سولفات مس، کلرور فریک و لجن تصفیه خانه آب حاوی کلرور فریک پرداخته است.

مواد و روش ها: در این مطالعه، اثر مواد افزودنی در راکتورهای کمپوست هوادهی شده شامل یک تیمار شاهد و غلظت های مختلف افزودنی ها بررسی شدند. فرآیند کمپوست برای هر یک از تیمارها در شرایط یکسان و بهینه از نظر فرآیندهای بیولوژیکی انجام شد. نمونه برداری از گازها در روزهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ فرآیند کمپوست با استفاده از دستگاه پرتابل فوچک و ایمپینجر انجام شد. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته ها: با افزودن کلرور فریک به مقدار ۷/۵ گرم به ازای هر کیلوگرم پسماند، میزان عدد بو از ۲۲/۲۸ در تیمار شاهد به ۱۱/۰۷ OU/m³ (۶۷٪) کاهش یافت. کاهش بوی ناشی از H₂S در تیمار با غلظت ۷/۵ گرم کلرور فریک و ۲۵ گرم لجن تصفیه خانه به ازای هر کیلوگرم پسماند، به ترتیب ۴۱ و ۴۵ درصد بیشتر از سایر تیمارها بود. افزودنی ها همچنین شدت بوی با درجه متمایز در تیمار شاهد را به دسته ضعیف و خیلی ضعیف در تیمارهای آزمون تغییر دادند.

نتیجه گیری: افزودن مقادیر بهینه از افزودنی ها به گونه ای که تأثیری بر مکانیسم فرآیند کمپوست نگذارد، به طور مؤثری در کاهش انتشار بو نقش داشته است. نتایج نشان داد که اگرچه افزودن سولفات مس در کاهش انتشار بو مؤثر بود، اما تأثیر آن در مقایسه با کلرور فریک و لجن تصفیه خانه کمتر مشاهده شد.

کلید واژه ها: کمپوست، پسماند آلی، کاهش بو، مواد افزودنی

Please cite this article as: Jalali S, Alavi Bakhtiarvand SN, Saeedi R, Abtahi M. Feasibility study on odor reduction in the composting process of municipal organic waste by adding odor-reducing compounds. Journal of Health in the Field 2024; 12(3):22-31. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i3.44797>.

*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: mehrabtahi@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، رشد اقتصادی و توسعه زندگی شهرنشینی تولید پسماند غذایی افزایش قابل توجهی داشته است و این موضوع به یکی از چالش‌های زیست محیطی در جهان تبدیل شده است [۱]. طبق برآوردها ۵۶ درصد از کل پسماندهای شهری به زائدات غذایی اختصاص می‌یابد که میزان آن بیش از ۶۰ میلیون تن در سال تخمین زده شده است [۲]. پسماندهای غذایی دارای مقدار زیادی ترکیبات آلی تجزیه‌پذیر و غنی از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و مخلوطی از نوترینت‌های معدنی هستند؛ با توجه میزان بالای رطوبت، محتوای بالای ترکیبات آلی و معدنی و ارزش حرارتی پایین، پسماندهای غذایی به عنوان پسماندهای آلی در نظر گرفته می‌شوند [۳، ۴]. طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) یک چهارم تا یک سوم کل مواد غذایی تولید شده در جهان به پسماند تبدیل می‌شود. افزایش تولید پسماند غذایی، کشورهای جهان را در مدیریت پسماند با چالش‌های زیست محیطی و اقتصادی زیادی مواجه نموده است. به دلیل محدودیت فضای زمین، انتشار بو و گازهای گلخانه‌ای، بکارگیری لندفیل و پسماندسوز، برای مدیریت پسماندهای آلی پیشنهاد نمی‌شوند [۵]. ضمن اینکه قوانین اتحادیه اروپا نیز بر روش‌های تصفیه بیولوژیکی با دربرداشتن مزایایی مانند تولید گاز متان و کمپوست تأکید می‌کند [۳]. در حوزه مدیریت پسماندهای آلی، فرآیند کمپوست هوازی با برخورداری از پتانسیل بازیابی و بازچرخش مواد مغذی به خاک مورد توجه زیادی قرار گرفته است؛ اما تولید بو به عنوان یک چالش مهم در این فرآیند در نظر گرفته می‌شود [۶]. واکنش‌های بیوشیمیایی در فرآیند کمپوست منجر به انتشار بخار آب و گازهای آمونیاک (NH_3)، دی‌اکسید کربن (CO_2)، متوکسید کربن (CO)، متان (CH_4)، اکسیدنیتروس (N_2O)، سولفید هیدروژن (H_2S)، اکسیدهای نیتروژنه (NO_x) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) می‌شوند [۷]. گازهای NH_3 ، H_2S و VOCs زمینه‌ساز انتشار بوی نامطبوع هستند و سایر گازها در پدیده اثر گلخانه‌ای و گرمایش زمین نقش دارند. طبق گزارش هیئت بین دولتی تغییرات اقلیم (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)، پتانسیل گرمایش CH_4 و N_2O به ترتیب ۲۱-۳۴ و ۲۶۵-۳۱۰ برابر بیشتر از CO_2 است؛ لذا در بین گازهای گلخانه‌ای، از CO_2 که جزء فرآورده‌های اصلی تجزیه بیولوژیکی است و به مقدار فراوانی در طبیعت تولید می‌شود در مقایسه با N_2O و CH_4 چشم‌پوشی شده است [۸]. کمپوست مرغوب به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک بایستی از عناصر مغذی غنی باشد در حالیکه انتشار گازها در فرآیند تولید کمپوست علاوه بر مشکلات بهداشتی، زیست محیطی و انتشار بو موجب کاهش کیفیت محصول نهایی نیز می‌گردد [۹]. از دست رفت نیتروژن در فرآیند کمپوست از طریق انتشار گاز آمونیاک، اکسیدهای نیتروژن، اکسید نیتروس و دی نیتروژن اتفاق می‌افتد و میزان کل اتلاف نیتروژن در

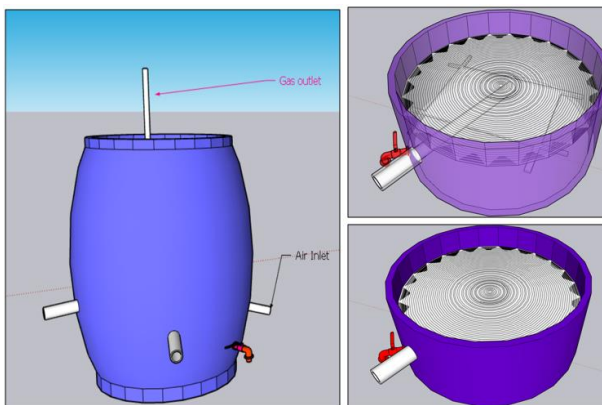
فرآیند کمپوست بطور متوسط ۷۰-۴۰٪ تخمین زده شده است [۱۰]. طبق مطالعات انجام شده حدود ۹۴-۷۹٪ اتلاف نیتروژن در فرآیند کمپوست مربوط به انتشار گاز NH_3 و ۹/۹-۲/۰٪ آن مربوط به انتشار گاز N_2O می‌باشد. انتشار CH_4 در فرآیند کمپوست باعث اتلاف ۱/۸٪ کل محتوای کربن آلی در توده کمپوست می‌شود [۲، ۱۱، ۱۲]. انتشار ترکیبات گوگردی فرار در فرآیند کمپوست، در مقایسه با گازهای گلخانه‌ای و آمونیاک، از میزان کمتری برخوردار است؛ اما آستانه بویایی این ترکیبات بسیار پایین می‌باشد و در غلظت‌های بسیار کم نیز بوی ناخوشایندی ایجاد می‌کنند [۱۳]. ترکیبات سولفیدی شناسایی شده در فرآیند کمپوست شامل سولفید هیدروژن (H_2S)، کربن دی‌سولفید (CS_2)، دی‌متیل سولفید (DMS)، متیل مرکپتان (MeSH) و دی‌متیل دی‌سولفید (DMDS) است. میزان انتشار ترکیبات سولفیدی فرار ۴/۵-۲/۲۴٪ کل گوگرد (TS) موجود در ترکیب پسماند در حال کمپوست تخمین زده شده است [۱۴]. بر اساس مطالعات انجام شده، ترکیبات آلی فراری که در فرآیند کمپوست شناسایی شدند، شامل ترکیبات سولفیدی فرار، اسیدهای چرب فرار، الکل‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها، ترپن‌ها و هیدروکربن‌های آروماتیک هستند [۱۵، ۱۶]. تولید و انتشار ترکیبات گازی بودار در فرآیند کمپوست امری اجتناب‌ناپذیر است؛ اما می‌توان با تدابیری میزان آن را کنترل و کاهش داد. جنبه مقبولیت تولید بو نزد عموم مردم به قدری حائز اهمیت است که در مواردی موجب تعطیلی تأسیسات کمپوستی گردیده و در موارد دیگر حتی از ساخت کارخانه جدید جلوگیری شده است؛ لذا مطالعه در خصوص کنترل و کاهش تولید بو در فرآیند کمپوست ضرورت پیدا می‌کند. تاکنون به منظور کنترل و کاهش انتشار ترکیبات بودار از فرآیند کمپوست مطالعات متعددی انجام شده است. این مطالعات در دو گروه بهسازی فرآیند و استفاده از افزودنی‌ها با هدف کاهش تولید بو در فرآیند کمپوست قرار می‌گیرند. در خصوص اقدامات کنترلی در فرآیند تولید کمپوست، می‌توان به یافتن محدوده بهینه برای هر یک از عوامل مؤثر بر فرآیند کمپوست اشاره نمود. اما با توجه به ماهیت بیولوژیکی فرآیند کمپوست و حساسیت میکروارگانیسم‌ها، دامنه تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی که فرآیند کمپوست متأثر از آن‌ها است؛ برای کاهش ترکیبات گازی بودار محدود می‌باشد و حتی ممکن است در این روش تغییر یک عامل در جهت کاهش انتشار یک گاز، تولید گاز دیگر را تشدید کند. ضمن اینکه بکارگیری فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی جهت کنترل بو هزینه زیادی به دنبال خواهد داشت. از این‌رو استفاده از مواد افزودنی با هدف کاهش بو در فرآیند تولید کمپوست از پسماند آلی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۷، ۱۸].

کلروفریک و سولفات مس به عنوان عوامل ترسیب‌کننده شیمیایی در کاهش انتشار گازهای آمونیاک و سولفید هیدروژن مؤثر گزارش شده‌اند [۱۹]. کلروفریک همچنین در حذف آمونیاک از فاضلاب بصورت

غذایی انجام شد. در ادامه، جزئیات هر تیمار و نحوه اجرای آزمایشات به تفصیل توضیح داده خواهد شد. رعایت ملاحظات اخلاقی از جمله رعایت اصول ایمنی کار در آزمایشگاه در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

مشخصات پایلوت

راکتور کمپوست هوادهی شده در این مطالعه یک محفظه پلی اتیلنی و به حجم حدود ۱۲۰ لیتر، قطر بدنه ۴۶ سانتی متر، قطر دهانه ۴۰ سانتی متر و ارتفاع ۸۲ سانتی متر بود. در قسمت پایینی محفظه راکتور، در فاصله ۵ سانتی متری بالاتر از کف آن یک صفحه توری از جنس پلاستیک با قطر منافذ ۱ سانتی متر تعبیه شده بود که گردش هوای ورودی از طریق لوله‌های متصل شده به راکتور را ممکن می‌ساخت. این صفحه ضمن پشتیبانی از پسماند و مواد حجیم کننده، باعث گردش بهتر هوا در داخل راکتور و جداسازی شیرابه از پسماند می‌شود. به منظور خروج شیرابه و جمع‌آوری آن از راکتور یک شیر قسمت پایین راکتور تعبیه گردید. برای کنترل دمای محیط استقرار راکتور یک ترمومتر در بدنه خارجی راکتور نصب گردید. شکل شماره ۱، شمایی از راکتور مورد استفاده در این مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- راکتور کمپوست
Figure1- Compost reactor

ترکیب پسماند ورودی به راکتور کمپوست

ترکیب پسماند غذایی مورد مطالعه در تهیه کمپوست مطابق با ترکیب پسماند غذایی گزارش شده توسط علوی و همکاران در تهران در سال ۲۰۲۲ بوده و شامل ۸۳٪ زائدات گیاهی و پوست میوه، ۲٪ پسماند گوشت و ۱۵٪ مخلوط نان و برنج بود [۲۳]. پس از آماده‌سازی و اختلاط پسماندها، به جهت یکنواخت شدن اندازه اجزاء، پسماندها با دستگاه خردکن در ابعاد تقریبی ۲ تا ۵ سانتی متر خرد شد و به منظور چرخش مناسب هوا در توده پسماند، تعدیل نسبت C/N و رطوبت، به میزان ۵ درصد وزنی از کاه به عنوان عامل حجیم‌کننده در فرآیند کمپوست استفاده گردید. در ابتدا و انتهای هر ران به منظور اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه ورودی و کمپوست نهایی نمونه‌برداری از

گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و یک منعقدکننده مؤثر در فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی به شمار می‌رود. طبق مطالعه‌ی انجام شده در سال ۲۰۱۱ استفاده از کلروفریک در تصفیه شیرابه لندفیل باعث کاهش انتشار نیتروژن آمونیاکی شیرابه به میزان ۴۰٪ شده است [۲۰]. در مطالعه Park و همکاران (۲۰۱۳) استفاده از کلروفریک به میزان ۱/۲۵ w/w در یک هاضم بی‌هوازی در کاهش انتشار گاز H_2S مؤثر گزارش شده است. در مطالعه‌ای توسط Yuan و همکاران (۲۰۱۵) استفاده از کلروفریک در فرآیند کمپوست پسماند غذایی، میزان انتشار H_2S و NH_3 به ترتیب ۴۲٪ و ۷۶٪ کاهش داده است [۴،۲۱]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر استفاده از سولفات مس به عنوان یک عامل گوگرد زدا در جریان گاز خروجی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن نشان داده است که واکنش ترسیب سولفات‌های فلزی از جمله سولفات مس با گاز H_2S بطور موفقیت‌آمیزی در حذف گوگرد از جریان گازی مؤثر عمل می‌نماید. در خصوص حذف سولفید هیدروژن بوسیله یون‌های فلزی دو ظرفیتی از جمله مس این فرضیه وجود دارد که این مکانیسم به علت حالیت ناپذیری سولفیدها در ترکیب با یون‌های فلزی است [۲۲]. با توجه به توسعه تصفیه‌خانه‌های آب کشور و اهمیت مدیریت لجن، بکارگیری لجن در فرآیند کمپوست باعث کاهش هزینه‌های مربوط به دفع لجن در تصفیه‌خانه‌ها خواهد گردید. مضاف بر اینکه مطالعات، اثربخشی کلروفریک را در کنترل بوی ناشی از گاز سولفید هیدروژن و آمونیاک تأیید کردند. در این مطالعه به دلیل لزوم انتخاب یک ماده زائد و مقرون به صرفه در کنترل بو منتشره از فرآیند کمپوست و از طرفی اطمینان نسبی از اثربخشی ماده کلروفریک در مدیریت و کاهش بو، از لجن حاوی کلروفریک به عنوان افزودنی فرآیند کمپوست استفاده گردید. همچنین به جهت بررسی اثر فلز دو ظرفیتی مس در کاهش تولید بو از ترکیب سولفات مس به عنوان ماده افزودنی دیگر در این مطالعه استفاده گردید. هدف این مطالعه تأثیر دو افزودنی کلروفریک بصورت خالص و ناخالص و سولفات مس در انتشار گازهای H_2S ، NH_3 و VOCs به منظور کاهش بو در فرآیند کمپوست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طراحی مطالعه

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سه افزودنی شامل لجن حاوی کلروفریک، کلروفریک خالص و سولفات مس در کاهش بوهای منتشره از فرآیند کمپوست طراحی شد. تمرکز اصلی تحقیق بر ارزیابی اثر این افزودنی‌ها بر کاهش انتشار گازهای آمونیاک (NH_3)، هیدروژن سولفید (H_2S) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) بود. فرآیند کمپوست در این مطالعه در راکتورهای هوادهی شده انجام شد. به‌طور کلی، آزمایش‌ها در ۸ ران مختلف صورت گرفت که هر کدام از آنها تحت شرایط مشخص و با افزودن ترکیبات مختلف افزودنی به پسماندهای

چهارم فرآیند یکبار در هفته بود. لجن مورد استفاده به عنوان افزودنی بصورت آبیگری شده از تصفیه خانه آب جلالیه تهران تأمین گردید. در جدول شماره ۱، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه فرآیند کمپوست ارائه شده است.

محتویات راکتورها انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کاه و لجن نیز مورد بررسی قرار گرفت. مجموعاً در ۸ ران بارگذاری انجام شد. راکتورها پس از بارگذاری به مدت ۴ هفته در آزمایشگاه پسماند دانشکده بهداشت و ایمنی و در دمای محیط نگهداری شدند. تناوب همزدن بصورت دستی در هفته اول تا سوم فرآیند، ۲ بار در هفته و در هفته

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد خام ورودی راکتور

Table 1- Physico-chemical properties of materials used in composting

مشخصات تیمارها	رطوبت (%)	pH	EC (mS/cm)	کربن آلی کل (%)	نیترژن کل (%)	فسفر (%)	آهن (ppm)	مس (ppm)	C/N	گوگرد (%)
پسماند غذایی B	۷۰/۶	۵/۸۳	۳/۷۵	۴۲/۶	۱/۷۵	۰/۷۵	۴/۸۵	۱۰/۷۱	۲۴/۳۴	—
پسماند غذایی C1	۷۴/۳۵	۵/۷	۳/۲۴	۳۹/۷	۱/۶۷	۰/۷۶	—	۸/۸۶	۲۳/۷۷	۰/۱۳۷
پسماند غذایی C2	۷۲/۵۶	۵/۱۲	۳/۵۶	۳۷/۵	۱/۴۶	۰/۷۴	—	۱۴/۴۹	۲۵/۶۸	۰/۱۹۲
پسماند غذایی C3	۷۲/۵۶	۵/۱۲	۳/۵۶	۳۷/۵	۱/۴۶	۰/۷۴	—	۱۴/۴۹	۲۵/۶۸	۰/۱۹۲
پسماند غذایی F1	۷۱/۴۵	۶/۱۸	۳/۴۵	۳۸/۳	۱/۶۲	۰/۷۸	nd	—	۲۳/۶۴	—
پسماند غذایی F2	۷۱/۴۵	۶/۱۸	۳/۴۵	۳۸/۳	۱/۶۲	۰/۷۸	nd	—	۲۳/۶۴	—
پسماند غذایی F3	۷۲/۶۴	۶/۳۲	۳/۴۸	۳۹/۲۱	۱/۶۴	۰/۷۲	۳/۸۳	—	۲۳/۹	—
پسماند غذایی S	۷۲/۶۴	۶/۳۲	۳/۴۸	۳۹/۲۱	۱/۶۴	۰/۷۲	۳/۸۳	—	۲۳/۹	—
کاه گندم	۹/۷۵	۷/۲۴	۱/۴۷	۴۸/۲۱	۰/۵۶	۰/۵۴	۱۳۸/۵	۲/۸	۸۶/۱	—
لجن	۶۴	۷/۴۳	۲/۴۵	۱/۱۴	۰/۰۸۹۴	۰/۳۶	۳۸۷۲	—	۱۲/۷۷	—

از روش ها و دستگاه های استاندارد اندازه گیری شدند. همچنین در این مطالعه غلظت گازهای آمونیاک و سولفید هیدروژن با روش اسپکتوفتومتری نیز اندازه گیری گردید. اندازه گیری رطوبت در پسماند غذایی، توده در حال کمپوست و کمپوست نهایی مطابق با استاندارد ISO11465 انجام شد. اندازه گیری pH مطابق با استاندارد ASTM D 9045 انجام شد و pH متر مورد استفاده مدل 744 ساخت کمپانی Metrohm کشور آمریکا بود.

اندازه گیری EC مطابق با استاندارد ISO 11265 انجام شد و EC متر مورد استفاده مدل LF 90 ساخت کمپانی WTW آلمان بود. اندازه گیری میزان کربن آلی در پسماند غذایی و توده کمپوست نهایی به روش Walkley-Black انجام شد. اندازه گیری نیترژن به روش کلدال و با استفاده از دستگاه تقطیر و هضم کلدال ساخت کمپانی Gerhardts آلمان انجام شد.

اندازه گیری میزان گوگرد با دستگاه آنالیز عنصری CHNS انجام شد. برای اندازه گیری فسفر از روش Olsen استفاده شد و دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد استفاده مدل DR 5000 ساخت کشور آلمان بود. به منظور اندازه گیری فلزات آهن و مس در پسماند ورودی و کمپوست از دستگاه طیف سنجی نشر اتمی پلاسما میکروویو (MP-AES) استفاده گردید [۴، ۲۴].

تعیین شدت بو

متداولترین روش برای تعیین درک و توصیف بو استفاده از روش

تیمارهای مورد مطالعه و مقادیر افزودنی ها در فرآیند کمپوست
در مجموع ۸ تیمار در این مطالعه بررسی گردید. تمامی تیمارها شامل ۲۰ کیلوگرم پسماند غذایی و ۵ درصد کاه بودند. تیمار شاهد (B) بدون افزودنی بود، در حالی که تیمارهای حاوی سولفات مس (C₁، C₂ و C₃) و کلروفریک (F₁، F₂ و F₃) به ترتیب مقادیر ۲/۵، ۵ و ۷/۵ گرم از سولفات مس و کلروفریک به ازای هر کیلوگرم پسماند داشتند. تیمار S نیز ۲۵ گرم لجن تصفیه خانه آب حاوی کلروفریک به ازای هر کیلوگرم پسماند به عنوان افزودنی داشت.

روش های نمونه برداری و آزمایش گازها

در این مطالعه، غلظت گازهای آمونیاک، سولفید هیدروژن و ترکیبات آلی فرار در فواصل زمانی ۵ روز یکبار در روزهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ از فرآیند کمپوست اندازه گیری شد. ترکیبات آلی فرار شامل ترکیبات اکسیژنه، هالوژنه، آروماتیک، احیا شده سولفیدی، ترپن ها و هیدروکربن ها بودند. نمونه برداری از محتویات راکتورها برای کنترل pH و رطوبت دو بار در هفته انجام شد و دمای توده روزانه ثبت گردید. برای آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی، نمونه ها از قسمت های مختلف راکتور برداشت شده و پس از مخلوط شدن، ۲۰۰ گرم از آنها برای آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت.

غلظت گازها با دستگاه فوچک مدل ITS09ATEX26890X ساخت شرکت Ion Science انگلستان اندازه گیری شد و سایر ویژگی ها از جمله pH، رطوبت، EC، کربن آلی، نیترژن، گوگرد و فسفر با استفاده

(۳/۴۹-۴/۵)، متمایز (۲/۴۹-۳/۵)، ضعیف (۲/۴۹-۱/۵)، خیلی ضعیف (۱/۴۹-۰/۵) و غیرقابل درک (<۰/۵) سنجیده می‌شود. شدت بو از رابطه شماره ۴، محاسبه می‌شود. مجموع شدت بو از لگاریتم مجموع ریشه ۱۰ شدت بوی آلاینده‌ها محاسبه می‌شود و معیاری یکسان برای مقایسه گروه ترکیبات بودار و مکان‌ها را بدست می‌دهد [۲۶، ۲۷].

$$I = 2.33 \log(C/Co) + \text{const} \quad (۴)$$

$$SOI = \log \sum 10^{OI_i} \quad (۵)$$

I = معیار شدت بو (بدون بعد)

C = غلظت ترکیب بودار

Co = غلظت آستانه بویایی

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیز آماری داده‌ها شامل غلظت گازها، نرخ انتشار، انتشار تجمعی و مشخصات بو انجام شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ تجزیه و تحلیل شدند. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس اختلاف میانگین‌ها با استفاده از آزمون‌های کروسکال-والیس، ANOVA و T-test انجام گردید. پس از انجام آزمایشات و جمع‌بندی نتایج، به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد. ملاحظات ایمنی و اخلاقی در این تحقیق رعایت گردید.

یافته‌ها

شکل‌های شماره ۲ تا ۴، عدد فعالیت بو (OAV) ناشی از گاز آمونیاک، سولفید هیدروژن و ترکیبات آلی فرار در تیمارهای مختلف را نمایش می‌دهد. همانطور که شرح داده شد؛ عدد فعالیت بو این ترکیبات براساس اندازه‌گیری غلظت این گازها و استفاده از روابط توسعه یافته به این منظور تعیین شده است.

الفکومتري و گروه پنل بویایی است؛ اما روش‌هایی برای تعیین مشخصات بو از غلظت‌های اندازه‌گیری شده نیز توسعه داده شده است. در این مطالعه تعیین مشخصات بو از غلظت‌های اندازه‌گیری شده گازها با محاسبه عدد فعالیت بو (Odor Activity Value: OAV)، مجموع اعداد فعالیت بو (Sum of the OAVs: SOAV)، شدت بو (Odor Intensity: OI) و مجموع شدت بو (Sum of the odor intensities: SOI) ارزیابی گردید. عدد فعالیت بو معیاری از اهمیت هر ترکیب به بوی نمونه است و از طریق تقسیم غلظت آلاینده بر عدد آستانه بویایی آلاینده محاسبه می‌گردد. روابط زیر محاسبه عدد فعالیت بو، مجموع اعداد فعالیت بو و سهم بو را ارائه می‌دهند [۱۴، ۲۵].

$$OAV = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{OT_i} \quad (۱)$$

OAV = مقدار فعالیت بو (ouE m-3)

Ci = غلظت ترکیب i (mg m-3)

OTi = آستانه بویایی ترکیب i (mg ouE-1)

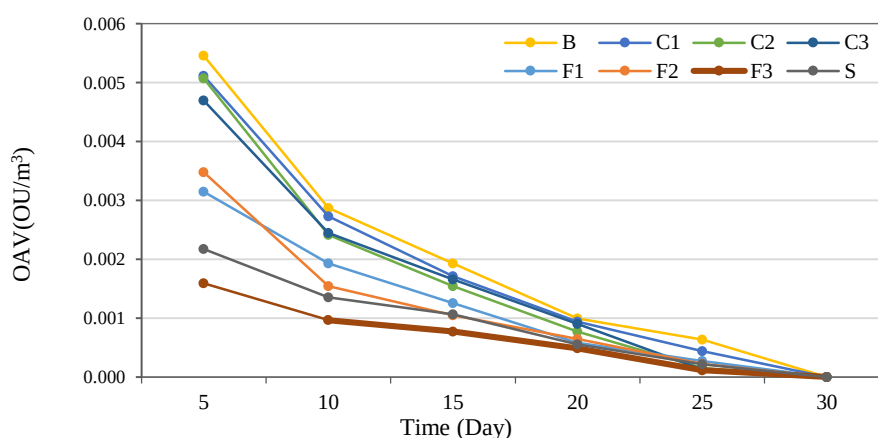
$$SOAV = \sum_{i=1}^n OAV_i \quad (۲)$$

SOAV = مجموع مقدار فعالیت بو (ouE m-3)

$$P_i = \frac{OAV_i}{SOAV} \quad (۳)$$

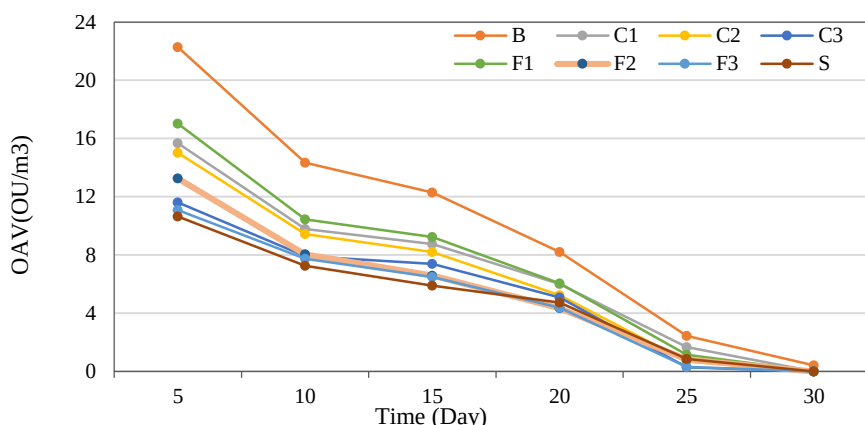
Pi = سهم بو از یک ترکیب منفرد یا گروه مواد شیمیایی

همچنین در تعیین میزان درک بو از معیار شدت بو نیز استفاده گردید. شدت بو عبارت است از شدت ادراک شده بو بیش از آستانه آن و با مقیاس‌های فوق‌العاده قوی (>۵/۵)، بسیار قوی (۴/۴۹-۵/۵)، قوی



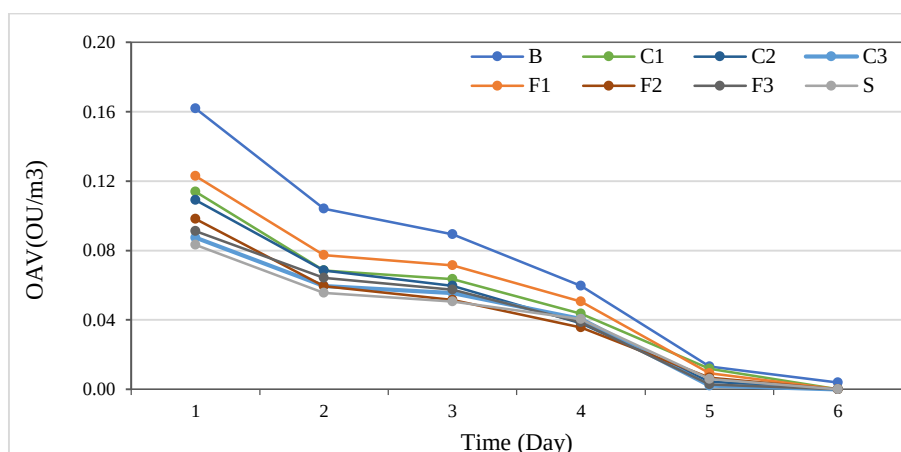
شکل ۲- مقایسه عدد فعالیت بو (OAV) آمونیاک در تیمارهای مختلف

Figure 2- Comparison of odor activity value (OAV) of ammonia in different treatments



شکل ۳- مقایسه عدد فعالیت بو (OAV) سولفید هیدروژن در تیمارهای مختلف

Figure 3- Comparison of odor activity value (OAV) of Hydrogen sulfide in different treatments



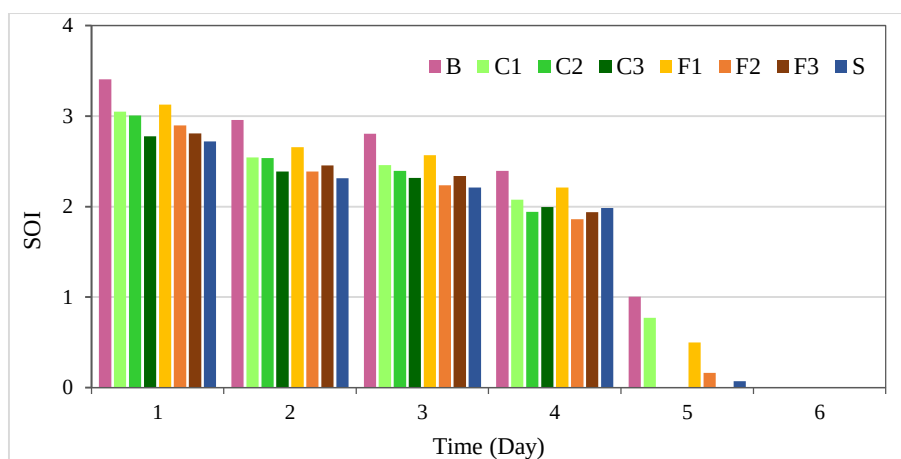
شکل ۴- مقایسه عدد فعالیت بو (OAV) ترکیبات آلی فرار در تیمارهای مختلف

Figure 4- Comparison of odor activity value (OAV) of volatile organic compounds in different treatments

نشان می‌دهد به‌طوری که تیمارهای کلروفریک در حذف بوی ناشی از آمونیاک بهتر از تیمارهای سولفات مس بوده‌اند. همچنین در تیمار لجن (S) با اختلاف در مقایسه با تیمار F₃ میزان کاهش عدد بو قابل توجه بود. در شکل شماره ۳ تأثیر ترکیبات افزودنی بر میزان بوی ناشی از سولفید هیدروژن نمایش داده شده است. عدد بو مربوط به سولفید هیدروژن در تیمارهای حاوی سولفات مس (C₃, C₂, C₁) و کلروفریک (F₃, F₂, F₁) با افزایش میزان افزودنی کاهش خوبی داشته است. کاهش عدد بو در تیمار F₃ و S در مقایسه با تیمار C₃ بیشتر بود. در نهایت در شکل شماره ۳ روند تغییرات عدد بو ناشی از ترکیبات آلی فرار با گذشت زمان در تیمارها ارائه شده است. میزان کاهش عدد بو ترکیبات آلی فرار در مقایسه با آمونیاک و ترکیبات سولفیدی فرار کمتر بود. بررسی تغییرات روند عدد بو در روزهای اول تا پنجم فرآیند در تیمارها نشان داد که با گذشت زمان در فرآیند کمپوست میزان بو کمتر می‌گردد و بیشترین میزان بو در ۱۰ روز ابتدای فرآیند کمپوست وجود داشته است. از طرفی به علت تفاوت عدد آستانه بو در ترکیبات مختلف میزان درک بو متفاوت خواهد بود.

عدد فعالیت بو معیاری از اهمیت هر ترکیب به بوی نمونه است. به عبارتی برای تعیین میزان مشارکت ترکیبات بودار شناسایی شده در مقدار بوی تولید شده به کار می‌رود. عدد فعالیت بو برای هر ترکیب به غلظت اندازه‌گیری شده و آستانه بویایی آن بستگی دارد.

از میان ترکیبات گازی اندازه‌گیری شده سولفید هیدروژن آستانه بویایی (۰/۰۰۵۷ mg/m³) پایین‌تری نسبت به سایر آلاینده‌ها دارد و با توجه به میزان اندازه‌گیری شده عدد بو آن برحسب OU/m³، در ایجاد بو نقش بیشتری داشته است. با توجه به نمودارهای OAV در شکل‌های ۲ تا ۴، در تمامی تیمارها، بیشترین شدت بو ناشی از ترکیبات آلاینده در روزهای اول تا پنجم فرآیند مشاهده شد که این امر به افزایش دما و سرعت بالای فعالیت‌های میکروبی نسبت داده می‌شود. همچنین، تا روزهای پایانی فرآیند کمپوست، بوی ناشی از آمونیاک و سولفید هیدروژن همچنان قابل تشخیص بود، اما پس از روز ششم، شدت بوی مرتبط با ترکیبات آلی فرار به میزان قابل توجهی کاهش یافت. شکل شماره ۲ روند تغییرات عدد فعالیت بو آمونیاک را در تیمارهای مختلف



شکل ۵- مقایسه مجموع شدت بو (SOI) ترکیبات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف

Figure 5- Comparison of total odor intensity (SOI) of compounds measured in different treatments

داشت. در تیمار شاهد (B) که بدون افزودنی بود، ۴ درصد شدت بو در دسته بوهای متمایز قرار داشت ولی در تیمارهای حاوی افزودنی، شدت بو به دسته ضعیف و خیلی ضعیف تغییر کرده بود. همچنین محاسبات عدد بو نشان داد که در همه تیمارها، بیش از ۹۹ درصد بوی قابل استشمام مربوط به ترکیبات احیاء شده سولفور است و از میان این ترکیبات سولفید هیدروژن به دلیل عدد آستانه بویایی پایین‌تر نقش پررنگ‌تری داشت. اعداد آستانه بویایی برای ترکیبات سولفیدی شامل سولفید هیدروژن، متیل مرکاپتان، دی‌متیل دی‌سولفید و دی‌متیل سولفید به ترتیب برابر با ۰/۰۰۵۷، ۰/۰۰۱۴، ۰/۰۰۸۴ و ۰/۰۰۶۹ mg/m^3 می‌باشد.

همانطور که اشاره شد، شدت بو معیاری است از شدت ادراک شده بو بیش از آستانه آن و با مقیاس‌هایی بین غیرقابل درک تا فوق‌العاده قوی سنجیده می‌شود. شکل شماره ۵، مجموع شدت بو (SOI) ناشی از ترکیبات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. بررسی نمودار شدت بو در تیمارها نشان داد که بیشترین و کمترین شدت بو به ترتیب در تیمار شاهد (B) و تیمار لجن (S) وجود داشته است و در روز پنجم فرآیند در تیمارهای B، C1، F1، F2 و S شدت بو بیش از حد آستانه آن ادراک شد.

در جدول شماره ۲، نتایج شدت بو محاسبه شده در تیمارهای مختلف ارائه شده است. بر اساس نتایج محاسبه شدت بو برای تیمارهای مورد مطالعه، ۹۲ درصد شدت بو محاسبه شده در دسته غیرقابل درک قرار

جدول ۲- دسته‌بندی شدت بو محاسبه شده در تیمارهای مورد مطالعه

Table 2- Classification of calculated odor intensity in the studied treatments

تیمار	B	C1	C2	C3	F1	F2	F3	S
دسته شدت بو								
فوق‌العاده قوی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بسیار قوی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
قوی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
متمايز	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ضعیف	۰	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
خیلی ضعیف	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
غیرقابل درک	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲

می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار شاهد (B) بالاترین مقدار عدد فعالیت بو را در کل دوره نشان می‌دهد و کمترین کاهش را تجربه کرده است. تیمارهای حاوی سولفات مس (C_1 ، C_2 ، C_3) با افزایش غلظت این ماده، کاهش قابل توجهی در عدد فعالیت بو داشته‌اند، به طوری که

بحث

مقایسه اثر افزودنی‌های کاهش‌دهنده بو بر عدد فعالیت بو آمونیاک، همان‌طور که در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است، روند کاهش تیمارها را به صورت $F_3 < F_2 < F_1 < S < C_3 < C_2 < C_1 < B$ نشان

ناشی از سولفید هیدروژن، هیدروکلریک اسید، عنصر گوگرد و رسوب آهن (II) کلرید نیز تشکیل می‌شود [۳۱]. در مطالعه Rincón و همکاران آمونیاک و ترکیبات سولفیدی فرار به عنوان ترکیبات آلاینده متداول هوا در فرآیند کمپوست بودند که به ترتیب ۵۵/۵ و ۲۰/۶ درصد را به خود اختصاص داده‌اند که در این مطالعه نیز میزان عدد بو مربوط به سولفید هیدروژن بالاتر بود [۳۲].

با بررسی شکل ۴ مربوط به عدد بو ترکیبات آلی فرار مشخص شد که میزان بو ناشی از ترکیبات آلی فرار در فرآیند کمپوست نسبت به بو ناشی از سولفید هیدروژن کمتر بوده و استفاده از عوامل افزودنی شیمیایی کلروفریک و سولفات مس در کاهش میزان بو ناشی از این ترکیبات تأثیر کمی داشت؛ به‌طوری که میزان عدد فعالیت بو در روزهای اول تا پنجم (مرحله اول نمونه‌برداری) در تیمارهای C_1 ، C_2 ، C_3 ، F_1 ، F_2 ، F_3 و S به ترتیب برابر با ۱۱۳۹/۰، ۱۰۹۱/۰، ۸۷۴/۰، ۱۲۳۰/۰، ۹۸۲/۰، ۰/۰۹۱۳ و 0.833 OU/m^3 بود در حالیکه این میزان در تیمار شاهد برابر با ۱۶۱۹/۰ بود.

González و همکاران در مطالعه‌ای در خصوص انتشار بو در فرآیند کمپوست بیان کردند که توزیع انتشار بو در فرآیند کمپوست نشان می‌دهد که بیش از ۶۴٪ انتشار گازها در فاز ترموفیل و همزمان با پیک فعالیت میکروبی اتفاق می‌افتد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. به عبارتی دما و فعالیت میکروبی از عوامل مؤثر در انتشار بو هستند به طوری که تجزیه ترکیبات آلی حاوی نیتروژن و سولفور در زمان پیک فعالیت میکروبی باعث انتشار گازهای آلاینده آمونیاک، سولفید هیدروژن و VOCs و متعاقباً بو می‌شوند. میزان بیشینه و کمینه بو در فرآیند کمپوست لجن فاضلاب در مطالعه آن‌ها به ترتیب 3200 OU/m^3 و ۲۸۰ اندازه‌گیری شد [۳۳]. Zho و همکاران در مطالعه‌ای اظهار داشتند که بیشترین میزان آمونیاک در زمان پیک دما در توده منتشر می‌گردد که در این زمان میزان اکسیژن توده به کمترین میزان می‌رسد و متعاقباً در شرایط بی‌هوازی انتشار ترکیبات سولفیدی آغاز می‌گردد [۳۴].

نتایج حاصل از بررسی شدت بو (شکل شماره ۴ و جدول شماره ۲) نشان داد که شدت بو در تیمارهای مختلف به طور معناداری متفاوت بود. به طور خاص، در تیمار بدون افزودنی (تیمار B)، شدت بو بیشتر در دسته بوهای متمایز قرار گرفت، در حالی که در تیمارهای حاوی افزودنی‌ها، شدت بو به دسته‌های ضعیف و خیلی ضعیف تغییر یافت. می‌توان نتیجه گرفت، این تغییرات ناشی از تأثیرات خاص افزودنی‌ها بر ویژگی‌های ترکیبات بویایی باشد که می‌تواند به کاهش تشخیص شدت بو کمک کند. علاوه بر این، محاسبات عدد بو نشان داد که بیش از ۹۹ درصد بوی قابل استشمام مربوط به ترکیبات احیاء شده سولفور است. این موضوع می‌تواند به دلیل آستانه بویایی پایین ترکیبات سولفید هیدروژن باشد، که در مقایسه با دیگر ترکیبات، نقش پررنگ‌تری در بوی قابل استشمام دارد. در مطالعه Gao و همکاران در خصوص انتشار بو در

عدد فعالیت بو آمونیاک در زمان اوج فعالیت میکروبی با افزایش میزان سولفات مس در تیمار C_3 عدد بو را از ۵۵/۰ در تیمار شاهد به 0.47 OU/m^3 کاهش داشت. تیمار S (لجن تصفیه‌خانه حاوی کلرور فریک)، به دلیل وجود ناخالصی‌های موجود در لجن، عدد فعالیت بوی بیشتری نسبت به تیمارهای حاوی کلرور فریک (F_1 ، F_2 ، F_3) نشان می‌دهد، اما کاهش بیشتری را نسبت به تیمارهای حاوی سولفات مس (C_1 و C_2) تجربه کرده است. در نهایت، تیمارهای حاوی کلرور فریک (F_1 ، F_2 ، F_3)، به‌ویژه تیمار F_3 ، بیشترین کاهش در عدد فعالیت بو را در میان تمامی افزودنی‌ها داشته است. در تیمار F_3 ، با افزایش میزان کلرور فریک، عدد فعالیت بوی آمونیاک به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته و به برابر با 0.16 OU/m^3 رسیده است. همچنین آنالیز آماری نیز نشان می‌دهد که میانگین غلظت گاز آمونیاک در تیمار B و تیمارهای C_1 و C_2 اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). میانگین غلظت گاز آمونیاک در تیمارهای C_3 ، F_1 ، F_2 و F_3 در مقایسه با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$). بدین معنا که تیمارهای C_3 ، F_1 ، F_2 و F_3 در کاهش میزان گاز آمونیاک تأثیر مثبتی داشتند. در مطالعه Yuan و همکاران نیز استفاده از کلرورفریک در فرآیند تولید کمپوست از پسماند غذایی در کاهش میزان گاز آمونیاک و سولفید هیدروژن مؤثر گزارش شده است [۴]. در خصوص اثر سولفات مس بر کاهش میزان بوی آمونیاکی از طریق کاهش انتشار گاز آمونیاک می‌توان گفت که واکنش آمونیوم هیدروکسید در بستر کمپوست و سولفات مس، رسوب کمپلکس تترا آمین مس (II) سولفات تشکیل می‌شود. این فرآیند باعث به دام افتادن آمونیاک در بستر می‌گردد [۲۸]. همچنین، حذف گاز آمونیاک با استفاده از کلرور فریک به دلیل واکنش‌های ترسیب صورت می‌گیرد، که طی آن گاز آمونیاک به شکل رسوب آمونیوم کلرید از بستر جدا می‌شود [۲۹].

عدد فعالیت بو سولفید هیدروژن در روزهای اول تا پنجم فرآیند در تیمارهای $B < F_1 < C_1 < C_2 < F_2 < C_3 < F_3 < S$ به ترتیب برابر با $22/28$ ، $17/01$ ، $15/68$ ، $15/02$ ، $13/25$ ، $11/61$ ، $11/07$ و $11/07 \text{ OU/m}^3$ بود که نشان می‌دهد تیمارهای F_3 و S که حاوی کلرورفریک بودند در کاهش بوی ناشی از ترکیبات احیا شده سولفیدی موفق‌تر عمل نموده‌اند. در خصوص غلظت گاز دی‌سولفید هیدروژن اختلاف معنی‌داری بین میانگین غلظت‌ها در تیمارهای C_1 و C_2 ، C_3 ، F_1 ، F_2 و F_3 و S در مقایسه با تیمار شاهد وجود داشت ($P < 0.05$) و در نهایت میانگین غلظت کل ترکیبات آلی فرار در تیمارهای C_3 ، F_2 و F_3 و S در مقایسه با تیمار شاهد اختلاف معناداری داشتند اما در تیمارهای C_1 و F_1 نتایج معنی‌دار نبود. اثر سولفات مس بر حذف گاز سولفید هیدروژن نیز در ارتباط با واکنش‌های ترسیب می‌باشد به‌طوری که از واکنش سولفید هیدروژن و سولفات مس رسوب سولفید مس تشکیل می‌شود [۳۰]. در اثر استفاده از افزودنی کلرورفریک با هدف حذف بو

انتشار بو در فرآیند کمپوست بررسی شد. طبق یافته‌های این مطالعه عدد بو آمونیاک در تیمارهای حاوی کلروفریک کاهش بیشتری داشته است و این تیمارها در حذف گاز آمونیاک موفق‌تر بودند. میزان کاهش بو آمونیاک در تیمار F_3 و S به ترتیب برابر با ۶۷ و ۵۵٪ بود. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودنی کلروفریک خالص و در ترکیب با لجن در حذف بو ناشی از سولفید هیدروژن و ترکیبات آلی فرار موفق عمل می‌کند؛ به طوری که میزان کاهش بو تیمار S به ترتیب برابر ۵۱ و ۴۵٪ و در تیمار F_3 به ترتیب برابر با ۵۰ و ۴۱٪ بود. در خصوص میزان بهینه افزودنی‌ها در این مطالعه، غلظت ۷/۵ گرم سولفات مس و کلروفریک به ازای هر کیلوگرم از پسماند نتایج بهتری در کاهش بو داشت.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان بررسی امکان کاهش انتشار گازهای منتسب به ایجاد بو در فرآیند کمپوست پسماند آلی شهری با افزودن ترکیبات کاهنده بو در مقطع کارشناسی ارشد با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1400.036 است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی اجرا شده است. بدین وسیله از همه کسانی که در انجام پایان‌نامه مساعدت کردند، تقدیر و تشکر می‌شود.

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

References

- 1-Tan C, Zhang X, Liao C, Huang Y, Zheng J, Chen H, et al. Optimization of fishbone biochar preparation process based on adsorption performance. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 2023; 32:101015.
- 2-Shan G, Li W, Gao Y, Tan W, Xi B. Additives for reducing nitrogen loss during composting: A review. *Journal of Cleaner Production* 2021; 307:127308.
- 3-Blazy V, de Guardia A, Benoist JC, Daumoin M, Lemasle M, Wolbert D, et al. Odorous gaseous emissions as influence by process condition for the forced aeration composting of pig slaughterhouse sludge. *Waste Management* 2014; 34:1125–38.
- 4-Yuan J, Yang Q, Zhang Z, Li G, Luo W, Zhang D. Use of additive and pretreatment to control odors in municipal kitchen waste during aerobic composting. *J Environ Sci (China)* 2015; 37:83-90.
- 5-Deng Y, Chen X, Adam NGTS, Xu J. A multi-objective optimization approach for clean treatment of food waste from an economic-environmental-social perspective: A case study from China. *Journal of Cleaner Production* 2022; 357:131559.
- 6-Hussain A, Huang W-Y, Lin C-Y, Ahsan WA, Lin C. Mitigation of ammonia emissions during food waste composting through acetic acid addition: A promising

فرآیند کمپوست، ترکیبات دی‌متیل سولفید، متیل مرکاپتان، دی‌متیل دی‌سولفید، کربونیل سولفید، متیل مرکاپتان و اتیل مرکاپتان به عنوان ترکیبات سولفیدی فرار متداول در فرآیند کمپوست شناسایی شدند. استفاده از افزودنی اکسید آهن سه ظرفیتی (Fe_2O_3) به میزان ۱/۵٪ وزن مرطوب با محصورسازی عنصر گوگرد و ممانعت از احیا سولفات، انتشار ترکیبات سولفیدی فرار را به میزان ۸۰/۹-۴۶/۷٪ کاهش داد. همچنین ارزیابی مشخصات بو نشان داد که استفاده از این افزودنی شدت بو را کاهش می‌دهد؛ به طوری که شدت بو ناشی از دی‌متیل سولفید و دی‌متیل دی‌سولفید در تیمار شاهد در گروه قوی قرار داشت و در تیمارهای حاوی اکسید آهن سه ظرفیتی (Fe_2O_3) به عنوان افزودنی شدت بو ناشی از این ترکیبات به سطح متوسط کاهش یافت. ارزیابی عدد فعالیت بو در مطالعه GaO نشان داد که دی‌متیل دی‌سولفید و دی‌متیل سولفید بیشترین سهم در ایجاد بو داشته‌اند و میزان مشارکت آن‌ها در ایجاد بو به ترتیب برابر با ۹۰ و ۸/۱٪ بود [۳۵]. در مطالعه Han و همکاران آمونیاک و ترکیبات سولفیدی فرار عوامل اصلی ایجاد کننده بوی ناخوشایند در فرآیند کمپوست بودند. سهم بو ترکیبات دی‌متیل دی‌سولفید، دی‌متیل سولفید و آمونیاک در مطالعه آن‌ها به ترتیب برابر با ۴۱/۲۱، ۳۳/۲۰ و ۲۴/۸۲ درصد بود [۳۶].

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر دو افزودنی سولفات مس و کلروفریک در کاهش

- strategy for sustainable waste management. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 2023; 36:101324.
- 7-Adhikari BK, Trémier A, Barrington S, Martinez J, Daumoin M. Gas emissions as influenced by home composting system configuration. *Journal of environmental management* 2013; 116:163-71.
 - 8-Liebig MA, Bergh EL, Archer DW. Variation in methodology obscures clarity of cropland global warming potential estimates. *Journal of environmental quality* 2023; 52(3):549-57.
 - 9-Zhang X, Ma D, Lv J, Feng Q, Liang Z, Chen H, et al. Food waste composting based on patented compost bins: Carbon dioxide and nitrous oxide emissions and the denitrifying community analysis. *Bioresource Technology* 2022; 346:126643.
 - 10-Caceres R, Malinska K, Marfa O. Nitrification within composting: A review. *Waste Manag* 2018; 72:119-37.
 - 11-Li M, Li S, Chen S, Meng Q, Wang Y, Yang W, et al. Measures for controlling gaseous emissions during composting: a review. *International journal of environmental research and public health* 2023; 20(4):3587.
 - 12-Zhang Z, Liu D, Qiao Y, Li S, Chen Y, Hu C.

- Mitigation of carbon and nitrogen losses during pig manure composting: A meta-analysis. *Science of The Total Environment* 2021; 783:147103.
- 13-Scaglia B, Orzi V, Artola A, Font X, Davoli E, Sanchez A, et al. Odours and volatile organic compounds emitted from municipal solid waste at different stage of decomposition and relationship with biological stability. *Bioresour Technol* 2011; 102(7):4638-45.
- 14-Gao X, Yang F, Cheng J, Xu Z, Zang B, Li G, et al. Emission of volatile sulphur compounds during swine manure composting: Source identification, odour mitigation and assessment. *Waste Manag* 2022; 153:129-37.
- 15-Nie E, Zheng G, Shao Z, Yang J, Chen T. Emission characteristics and health risk assessment of volatile organic compounds produced during municipal solid waste composting. *Waste Manag* 2018; 79:188-95.
- 16-Zhang H, Schuchardt F, Li G, Yang J, Yang Q. Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW). *Waste Management* 2013; 33(4):957-63.
- 17-Andraskar J, Yadav S, Kapley A. Challenges and Control Strategies of Odor Emission from Composting Operation. *Appl Biochem Biotechnol* 2021; 193(7):2331-56.
- 18- Jalali S, Bakhtiarvand SNA, Khaloo SS, Abtahi M. Odor emission in the composting process and its reduction strategies: A review. *Journal of Health in the Field* 2024; 11(4) (In Persian).
- 19-Zhang H, Li G, Yuan J, Zang B, Yang Q. Nitrogen fixation additive reducing emission of NH₃ and H₂S during composting of kitchen waste and cornstalk. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 2013; 29(23):173-78.
- 20-Adlan MN, Palaniandy P, Aziz HA. Optimization of coagulation and dissolved air flotation (DAF) treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology (RSM). *Desalination* 2011; 277(1-3):74-82.
- 21-Park CM, Novak JT. The effect of direct addition of iron (III) on anaerobic digestion efficiency and odor causing compounds. *Water science and technology* 2013; 68(11):2391-96.
- 22-Termaat H, Hogendoorn J, Versteeg G. The removal of hydrogen sulfide from gas streams using an aqueous metal sulfate absorbent Part I. The absorption of hydrogen sulfide in metal sulfate solutions. *Separation and Purification Technology* 2005; 43(3):183-97.
- 23-Alavi N, Majlessi M, Amanidaz N, Zamanzadeh M, Rafiee M, Gholizadeh A, et al. Enhanced biological hydrogen production through the separation of volatile fatty acids and ammonia based on microbial bipolar electrodialysis during thermal dark fermentation. *Journal of Cleaner Production* 2022; 330:129887.
- 24-Villasenor J, Rodriguez L, Fernandez FJ. Composting domestic sewage sludge with natural zeolites in a rotary drum reactor. *Bioresour Technol* 2011; 102(2):1447-54.
- 25-Association AIH. Odor thresholds for chemicals with established health standards. Virginia: American Industrial Hygiene Association 2013.
- 26-Liu Y, Yang H, Lu W. VOCs released from municipal solid waste at the initial decomposition stage: Emission characteristics and an odor impact assessment. *Journal of Environmental Sciences* 2020; 98:143-50.
- 27-Kim K-H. Experimental demonstration of masking phenomena between competing odorants via an air dilution sensory test. *Sensors* 2010; 10(8):7287-302.
- 28-Yu Y, Chen J, Wang J, Chen Y. Performances of CuSO₄/TiO₂ catalysts in selective catalytic reduction of NO_x by NH₃. *Chinese Journal of Catalysis* 2016; 37(2):281-87.
- 29-Adlan MN, Palaniandy P, Aziz HA. Optimization of coagulation and dissolved air flotation (DAF) treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology (RSM). *Desalination* 2011; 277(1-3):74-82.
- 30-Yan G, Weng H, Yang J, Bao W, Gao Y, Yin Y. Hydrogen sulfide removal by copper sulfate circulation method. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2016; 33(8):2359-65.
- 31-Dhar BR, Youssef E, Nakhla G, Ray MB. Pretreatment of municipal waste activated sludge for volatile sulfur compounds control in anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 2011; 102(4):3776-82.
- 32-Rincón CA, De Guardia A, Couvert A, Soutrel I, Guezal S, Le Serrec C. Odor generation patterns during different operational composting stages of anaerobically digested sewage sludge. *Waste Management* 2019; 95:661-73.
- 33-González D, Guerra N, Colón J, Gabriel D, Ponsá S, Sánchez A. Characterization of the gaseous and odour emissions from the composting of conventional sewage sludge. *Atmosphere* 2020; 11(2):211.
- 34-Zhu Y-l, Zheng G-d, Gao D, Chen T-b, Wu F-k, Niu M-j, et al. Odor composition analysis and odor indicator selection during sewage sludge composting. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2016; 66(9):930-40.
- 35-Gao X, Yang F, Cheng J, Xu Z, Zang B, Li G, et al. Emission of volatile sulphur compounds during swine manure composting: Source identification, odour mitigation and assessment. *Waste Management* 2022; 153:129-37.
- 36-Han Z, Qi F, Wang H, Li R, Sun D. Odor assessment of NH₃ and volatile sulfide compounds in a full-scale municipal sludge aerobic composting plant. *Bioresource Technology* 2019; 282:447-55.



Journal homepage: <https://journals.sbmu.ac.ir/jhf>



Shahid Beheshti University of Medical Sciences
School of Public Health and Safety

Feasibility study on odor reduction in the composting process of municipal organic waste by adding odor-reducing compounds

Samaneh Jalali¹ , Seyed Nadali Alavi Bakhtiarvand¹ , Reza Saeedi² , Mehrnoosh Abtahi^{1, 3*} 

¹Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran

²Department of Health, Safety, and Environment (HSE), School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran

³Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: Odor emission in compost production facilities is a significant environmental and health challenge. This study investigates the extent of odor reduction using three additives: copper sulfate, ferric chloride, and wastewater treatment sludge containing ferric chloride.

Materials and Methods: In this study, the effects of additives were examined in aerated compost reactors, including a control group and various concentrations of the additives. The composting process for each treatment was conducted under identical and optimized conditions in terms of biological processes. Gas sampling was performed on days 5, 10, 15, 20, 25, and 30 of the composting process using a portable Phoccheck device and an impinger. Ethical considerations were taken into account at all stages of the study implementation.

Results: By adding 7.5 grams of ferric chloride per kilogram of waste, the odor number decreased from 22.28 in the control treatment to 11.07 OU/m³ (a reduction of 67%). The reduction in odor caused by H₂S in the treatment with a combination of 5.7 grams of ferric chloride and 25 grams of sewage sludge per kilogram of waste was 41% and 45% higher than in the other treatments, respectively. Additionally, these additives altered the intensity classification from strong odor levels in controls to mild or very mild classifications in test treatments.

Conclusion: The addition of optimal amounts of these additives effectively reduced odor emissions without adversely affecting the composting mechanism. The results indicated that while copper sulfate was effective in reducing odor emissions, its impact was less significant compared to ferric chloride and wastewater sludge.

Keywords: Compost, Organic waste, Odor reduction, Additives

Please cite this article as: Jalali S, Alavi Bakhtiarvand SN, Saeedi R, Abtahi M. Feasibility study on odor reduction in the composting process of municipal organic waste by adding odor-reducing compounds. Journal of Health in the Field 2024; 12(3):22-31. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i3.44797>.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.

Email: mehrabtahi@gmail.com

Received: 2 March 2024

Accepted: 11 December 2024