بررسی کارایی فرایند کمپوست‌سازی در حذف باکتری‌های شاخص و پاتوژن از مواد زائد شهری در کارخانه کمپوست شهر اصفهان

امیر حسین نافذ[۱]، مهناز نیک‌آئین[۲]، بی‌بی فاطمه نبوی[۳]، مریم حاتم‌زاده[۴]، اکبر حسن‌زاده[۵]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: برای تولید کمپوست مناسب، پایش میکروارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن ضروری است. این مطالعه با هدف بررسی باکتری‌های کلیفرم و *سالمونلا* **در** کمپوست‌سازی از زایدات شهری و پس از استفاده ازکمپوست بر روی خاک، انجام شد.

روش‌ها: نمونه‌برداری از ۵ قسمت شامل زباله خام، توده اولیه، مرحله فعال (ترموفیلیک)، خنک شدن و محصول (تثبیت)، در ماه‌های آذر، دی و بهمن ۱۳۹۰ به دفعات ۵ مرتبه انجام شد. پارامترهای بررسی شده عبارتند از: دما، رطوبت، C/N و pH، کلیفرم‌های کل و مدفوعی و *سالمونلا*. برای بررسی وضعیت کمپوست در خاک، ۵ کیلوگرم از کمپوست بر روی خاک پخش گردید و تا ۲۰ روز پس از استفاده، نمونه‌برداری و آزمایشات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک در فواصل ۵ روز یکبار انجام شد.

یافته‌ها: حداقل و حداکثر دما مربوط به زباله خام و مرحله ترموفیلیک با ۲۲ °C و ۶۱°C بود. میانگین کلیفرم‌های کل و مدفوعی از $۱/۷۱\times۱۰^{۷}$MPN/gDW و $۱/۰۲\times۱۰^{۷}$ در زباله خام به $۲/۳\times۱۰^{۳}$ MPN/gDW و $۱/۱۸\times۱۰^{۳}$ در محصول کمپوست کاهش یافت. میانگین *سالمونلا* **در** زباله خام ۴۱۵ MPN/gDW بوده که مقدار آن به ۲۸MPN/gDW در کمپوست رسید. جمعیت کلیفرم‌های کل و مدفوعی پس از استفاده از کمپوست روند کاهشی داشته و پس از ۲۰ روز به حدود ۱۵۰ MPN/gDW و ۱۸ رسید. مقدار *سالمونلا* نیز از ۲۸ MPN/gDW در کمپوست در طول ۵ تا ۱۰ روز به نزدیک صفر رسید.

نتیجه‌گیری: این بررسی نشان داد مرحله ترموفیلیک بیش‌ترین تأثیر را بر روی کاهش باکتری‌های کلیفرم و مرحله تثبیت بیش‌ترین تأثیر را بر *سالمونلا* دارد؛ اما با توجه به آلودگی کمپوست استفاده‌شده بر روی زمین به دلیل بالاتر بودن مقادیر کلیفرم مدفوعی و *سالمونلا* **نسبت** به مقادیر استاندارد، بایستی برای کاربرد این کمپوست جهت محصولاتی که در تماس با زمین هستند فاصله زمانی مناسب بین استفاده از کمپوست و برداشت محصول در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: مواد زائد، کمپوست‌سازی، باکتری‌های شاخص و پاتوژن

ارجاع: نافذ امیرحسین، نیک‌آئین مهناز، نبوی بی‌بی، حاتم‌زاده مریم، حسن‌زاده اکبر. **بررسی کارایی فرایند کمپوست‌سازی در حذف باکتری‌های شاخص و پاتوژن از مواد زائد شهری در کارخانه کمپوست شهر اصفهان**. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۲؛ ۹(۸): ۸۳۷-۸۵۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۱۹**

۱. دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول) E.mail:Nikaeen@hlth.mui.ac.ir

۳. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۴. کارشناس میکروبیولوژی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۵. مربی، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

مقدمه

در بین گزینه‌های مختلف مدیریت مواد زائد، کمپوست‌سازی یکی از مؤثرترین راه‌های کاهش پاتوژن‌ها و تولید یک ماده ارزشمند برای مصارف کشاورزی است؛ اما مشکلاتی در فرایند تهیه کمپوست وجود دارد که عبارتند از: تولید بو، باقی‌ماندن پاتوژن‌های اولیه در کمپوست تولیدی، انتشار پاتوژن‌های ثانویه مثل آسپرژیلوس فومیگاتوس و سایر آلرژن‌های منتقله از طریق هوا و کیفیت نامناسب محصول از نظر میزان فلزات. بوهای نامطبوع ناشی از کارخانجات کمپوست‌سازی مهمترین دلیل اعتراضات مردمی و بسته شدن کارخانجات کمپوست می‌باشد (۱–۳).

میکروارگانیسم‌های پاتوژن زیادی در مواد زائد وجود دارند که برای از بین بردن این پاتوژن‌های باکتریایی و ویروسی در فرایند کمپوست‌سازی، دمای توده باید حداقل به مدت ۱۵ روز بیشتر از ۵۵ درجه سانتی‌گراد باشد. همچنین ویروس‌ها و تخم کرم‌ها پس از رسیدن به شرایط دمایی ذکر شده نمی‌توانند رشد مجدد داشته باشند (۴–۵). در برخی مواقع امکان رشد مجدد ناگهانی برخی پاتوژن‌ها وجود دارد. برای جلوگیری از رشد مجدد *سالمونلا* باید کمپوست کاملا پایدار شده و ۴ تا ۶ هفته پس از کمپوست‌سازی ذخیره شود. با اینکه تحقیقات نشان می‌دهد که *سالمونلا* مدتی پس از رشد مجدد از بین می‌رود ولی با این حال رشد مجدد *سالمونلا* در کمپوست موجب نگرانی است (۶). کمپوست‌سازی یک فرایند استریلیزاسیون نیست و یک محصول کمپوست مناسب حاوی جمعیتی از میکروارگانیسم‌های مفید است که با پاتوژن‌ها رقابت می‌کنند (۷).

پایش میکروارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن در طول فرآیند کمپوست‌سازی، ما را قادر می‌سازد که کارآیی فرآیند را در سالم سازی محصول مورد ارزیابی قرار دهیم. حرارت تولیدی ناشی از فعالیت متابولیک میکروارگانیسم‌های گرمادوست، نقش مهمی در غیرفعال‌سازی پاتوژن‌ها دارد. به همین دلیل، مهمترین معیار مورد استفاده در اغلب نقاط دنیا برای اطمینان از ایمنی میکروبیولوژیکی کمپوست، معمولاً شرایط زمان ـ دما می‌باشد. ولی دیدگاه زمان ـ دما برای اطمینان از غیرفعال‌سازی پاتوژن‌ها در داخل توده کمپوست همیشه کافی نیست (۸–۹). برای مثال، *سالمونلا* تیفی موریوم گونه Q حداقل به مدت ۹ روز در ۶۰–۷۰°C در داخل کمپوست حاصل از زایدات مواد غذایی و ۵ روز در کمپوست حاصل از لجن فاضلاب باقی می‌ماند (۱۰). همچنین ترکیب مواد خام یکی از پارامترهایی است که می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم در طول کمپوست‌سازی بر روی غیرفعال‌سازی پاتوژن‌ها تأثیر داشته باشد. برای مثال، بررسی بر روی مقاومت حرارتی *سالمونلا* نشان داد که برخی اسیدهای آمینه و قندها باعث افزایش مقاومت حرارتی می‌شوند، درحالی که سایر ترکیبات مثل سیستئین و گلوتاتیون باعث کاهش مقاومت حرارتی می‌گردند (۸). به عقیده برخی از محققین، تولید کمپوست عاری از پاتوژن‌ها امری غیرمنطقی است، ولی به جای آن کمپوست باید دارای یک حد قابل قبول از نظر کاهش یا غیرفعال سازی میکروب‌های شاخص باشد. از سوی دیگر به دلیل پتانسیل رشد مجدد *سالمونلا* در مواد کمپوست شده‌ای که در معرض گرمای کافی قرار نگرفته‌اند یا حاوی مقادیر ناکافی از فلورهای میکروبی رقیب هستند، تولید کمپوست‌های عاری از پاتوژن بایستی به عنوان هدف در نظر گرفته شود (۱۱).

طی سالیان اخیر مطالعات زیادی در زمینه تأثیر پارامترهای مختلف بر روی کاهش پاتوژن‌های موجود در کمپوست دراکثر کشورهای جهان و از جمله در ایران انجام‌شده است. بر اساس مطالعه Hay بر روی ۷۲ کارخانه تولید کمپوست مشخص شد که علیرغم تأمین حرارت و زمان کافی، بیش از نیمی از کمپوست تولیدی در این کارخانجات آلوده به *سالمونلا* بوده است (۱۲). در بررسی دیگری که بر روی کمپوست‌های تولیدی در کشور یونان توسط Lasaridiو همکاران انجام شد، در هیچ یک از نمونه‌ها *سالمونلا* یافت نشد ولی مقدار میکروارگانیسم‌های شاخص در کلیه نمونه‌ها از استانداردهای کشور یونان و اتحادیه اروپا بیشتر بود (۱۳).

همچنین نتایج حاصل از بررسی انجام‌شده توسط Chroni و همکاران نشان داد که در فرایند کمپوست‌سازی علاوه بر زمان رسیدن به مرحله ترموفیلیک، مقدار حداکثر دما و طول نگهداری این دما در داخل توده‌ها بر روی توالی میکربی و از بین بردن پاتوژن‌ها اهمیت زیادی دارد (۶). در مطالعه انجام شده توسط آرین نژاد و همکاران که نمونه‌گیری میکروبی در مراحل مختلف از کلیه توده‌های کمپوست کارخانه کمپوست شهر مشهد صورت گرفت، افزایش دما تا ۶۸ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و پس از پایان مراحل کمپوست‌سازی در کمپوست نهایی، میکروارگانیسم‌های شاخص شامل: کلیفرم مدفوعی و *سالمونلا*، درحد استاندارد اندازه‌گیری شدند و در عین حال هیچ عامل بیماری زایی یافت نشد (۱۴).

عدم رعایت استاندارد های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی در فرآیند تولید کمپوست می‌تواند مشکلات کوچک و بزرگی را در این عرصه ایجاد نماید .از جمله این مشکلات می‌توان به ایجاد مشکلات بهداشتی و ایجاد بوی نامطبوع و مشمئز کننده در محل‌های استفاده کمپوست اشاره کرد .اگرچه کمپوست، بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را برای رشد گیاه بهبود می‌بخشد، ولی جنبه آلوده‌کنندگی این ماده نیز باید در نظر گرفته شود .باکتری‌های موجود در کمپوست می‌توانند همراه آب باران یا آبیاری در خاک نفوذ کرده، خود را به آب‌های زیرزمینی رسانده و سبب آلوده شدن آنها شوند. با توجه به اینکه بخشی از کمپوست تولیدی در کشور ما توسط شهرداری‌ها در پارک‌ها و فضاهای عمومی و بخشی دیگر در کشاورزی محصولات خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی جمعیت‌های میکروبی و تغییرات آن به ویژه پاتوژن‌های موجود درکمپوست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین شناخت عوامل مؤثر بر بقاء و سرنوشت پاتوژن‌های موجود در کودهای آلی باعث بهبود کیفیت این مواد با ارزش می‌گردد .در این مطالعه تغییرات جمعیت باکتری‌های شاخص و پاتوژن روده‌ای شامل کلیفرم‌های کل، کلیفرم‌های مدفوعی و *سالمونلا* در طول مراحل مختلف کمپوست‌سازی از مواد زائد شهری در کارخانه کمپوست شهر اصفهان و همچنین تغییرات جمعیت این باکتری‌ها پس از استفاده از محصول نهایی کمپوست بر روی خاک مورد مطالعه قرار گرفت.

روش‌ها

به منظور تهیه نمونه‌های کمپوست به کارخانه کمپوست اصفهان مراجعه شد و نمونه‌ها از ۵ قسمت مختلف فرایند برداشته شد که عبارتند از: ۱- زباله خام (ورودی کارخانه) ۲- توده اولیه (مزوفیلیک اولیه) ۳- مرحله فعال (ترموفیلیک) ۴- خنک شدن (مزوفیلیک ثانویه) ۵- محصول نهایی (مرحله تثبیت). بر اساس مطالعات انجام‌شده برای تهیه نمونه‌های یکنواخت، از ۳ قسمت مختلف از هر یک از توده‌های ذکر شده مقدار یک کیلوگرم نمونه برداشته شده و پس از اختلاط با یکدیگر از این مخلوط یکنواخت به میزان ۱ کیلوگرم آن به آزمایشگاه منتقل گردید و مورد آزمایشات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قرار گرفت. مراحل ذکر شده در طول ماه‌های آذر، دی و بهمن ۱۳۹۰ به فاصله هر ۱۴ روز یکبار، به دفعات ۵ مرتبه انجام شد و در نهایت ۲۵ نمونه به دست آمد. به منظور بررسی تغییرات جمعیت میکروبی پس از استفاده از کمپوست بر روی خاک، مقدار ۵ کیلوگرم از محصول نهایی بر روی قسمتی از فضای سبز در اطراف دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان پخش گردید و تا ۲۰ روز پس از پخش بر روی زمین در فواصل ۵ روز یک بار، نمونه‌ها برداشت شده و مورد آنالیز فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت.

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

آزمایشات فیزیکی وشیمیایی شامل دما، رطوبت، نسبت C/N و pH بود. دمای هر توده توسط دما سنج میله‌ای اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای اندازه گیری pH، پس از تهیه مخلوط کمپوست در آب مقطر به نسبت۱/۱۰ وزنی به حجمی، از pH متر دیجیتال(EUTECH PH1500, Singapoore) استفاده شد. به منظور تعیین رطوبت کمپوست، میزان کاهش وزن پس از ۲۴ ساعت در ۱۰۵°C اندازه‌گیری شده و بر اساس آن مقدار ماده خشک مشخص شد. برای اندازه‌گیری کربن آلی از روش وزن‌سنجی استفاده شد. در این روش

کاهش وزن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت به عنوان جامدات فرار در نظر گرفته شد (۱۵). مقدار کربن آلی برابر است با مقدار جامدات فرار تقسیم بر عدد ۱/۸. آنچه از این رابطه به دست می‌آید مقدار دقیقی نیست ولی درصد خطای پایینی (۱۰-۲٪) داشته و توسط اکثر محققان به عنوان روش مناسب برای تعیین میزان کربن آلی مورد پذیرش قرار گرفته است. مبنای استفاده از این نسبت، این فرضیه است که ۵۸٪ مواد آلی خاک را کربن تشکیل می‌دهد (۱۶).

معمولا برای تعیین ازت کجلدال که در مخرج کسر نسبت کربن به ازت قرار می‌گیرد، از روش هضم استفاده می‌شود. در این مطالعه نیز با توجه به امکان قرائت ازت کجلدال توسط دستگاه اسپکتروفتومتر DR 5000 مدل Hach LANGE از دستورالعمل راهنمای تعیین مقدار ازت کجلدال در لجن برای تعیین ازت کجلدال در کمپوست استفاده شد (۱۶).

آزمایش‌های میکروبی

آزمایشات مربوط به گروه کلیفرم کل و کلیفرم‌های مدفوعی، بر اساس روش تخمیر چند لوله‌ای ذکر شده در کتاب استاندارد متد (۱۷) انجام شد. برای انجام آزمون‌های میکربی مقدار ۲۰ گرم مخلوط کمپوست را در ۱۸۰ میلی‌لیتر محلول آب نمک ۰/۸٪ ریخته و به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه با استفاده از شیکر مخلوط شد. سپس از دوغاب تولیدی به روش ترقیق چند مرحله‌ای رقت‌های مناسب تهیه شده و آزمون‌های میکروبی مورد نظر انجام گردید.

اندازه‌گیری کلیفرم‌های کل و مدفوعی به روش تخمیر چند لوله‌ای با استفاده از محیط‌های لاکتوز براث (احتمالی)، برلیان گرین براث (تائیدی) و EC براث (تکمیلی) انجام شد. دمای انکوباسیون برای مراحل احتمالی و تائیدی، ۳۷ °C و برای کلیفرم‌های مدفوعی ۴۴ °C به مدت ۴۸-۲۴ ساعت بود. برای تعیین مقدار *سالمونلا* به ترتیب از محیط کشت‌های سلنیت F، XLD آگار، Triple Sugar Iron agar (slants) TSI و اوره آگار استفاده شد. دمای انکوباسیون در کلیه مراحل اندازه‌گیری مقدار *سالمونلا* ۳۷ °C به مدت ۲۴ ساعت بود. در پایان نتایج به دست آمده برای آزمون‌های میکربی به صورت MPN/gDWثبت گردید (۱۰).

آزمون‌های آماری

به منظور بررسی میزان همبستگی پارامترهای اندازه‌گیری شده در فرایند کمپوست‌سازی، آزمون همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. همچنین برای مقایسه بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در مراحل مختلف کمپوست‌سازی از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. P-value کمتر از ۰/۰۵ نشان‌دهنده ارتباط معنادار داده‌ها با یکدیگر است. برای ترسیم نمودارها، نرم‌افزار اکسل ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهایی که مورد آنالیز آماری قرار گرفتند عبارتند از: دما، رطوبت، pH، نسبت C/N، کلیفرم‌های کل، کلیفرم‌های مدفوعی و *سالمونلا*.

یافته‌ها

مقادیر میانگین و انحراف معیار مربوط به پارامترهای فیزیکی وشیمیایی و میکروبی سنجش شده در جداول ۱ و ۲ ارایه شده است. حداقل دما مربوط به زباله خام با ۲۲° C و حداکثر دما مربوط به مرحله فعال (ترموفیلیک) با ۶۱°C بود. لازم به ذکر است که میانگین دمای هوای محیط در طول انجام این مطالعه حدود ۹ درجه سانتی‌گراد بوده است.

میانگین تعداد کلیفرم‌های کل و مدفوعی به ترتیب از $۱/۷۱\times۱۰^{۷}$ MPN/gDW و $۱/۰۲\times۱۰^{۷}$ در زباله خام به $۲/۳\times۱۰^{۳}$ MPN/gDW و $۱/۱۸\times۱۰^{۳}$ در محصول نهایی کاهش یافت. مقدار میانگین *سالمونلا* در زباله خام ۴۱۵ MPN/gDW بوده است که طی دو مرحله کاهش نهایتاً به ۲۸MPN/gDW در محصول کمپوست رسید، در مرحله اول تعداد این باکتری از ۴۱۵MPN/gDW در زباله خام به220 MPN/gDW و ۱۹۵ در توده اولیه و مرحله فعال کاهش یافت ولی مجدداً در پایان مرحله فعال تعداد آن

به ۳۰۱ MPN/gDW افزایش یافته و نهایتا در کمپوست نهایی به ۲۸MPN/gDW رسید.

جدول ۱: مقدار میانگین و انحراف معیار برای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و میکربی در طول فرایند کمپوست‌سازی

فاز کمپوست‌سازی	دما (°C)	رطوبت (٪)	نسبت C/N	pH	کلیفرم (log_{10}MPN/gD (W[a]	کلیفرم مدفوعی (log_{10}MPN/gDW)	*سالمونلا* (MPN/gDW)
توده زباله خام	[b]۲۲/۲ (۳/۰۵)	۶۴/۶ (۱/۲۳)	۲۲/۸۴ (۲/۳۳)	۵/۴۱–۶/۳	۷/۲۳ (۶/۷۱)	۷/۰۱ (۶/۶۴)	۴۱۵/۸۴ (۲۹۸/۴۸)
توده اولیه	۴۳ (۴/۸۹)	۵۹/۲۲ (۲/۷)	۱۸/۲۵ (۱/۳۷)	۵/۳–۷/۳۶	۵/۱۶ (۴/۹۶)	۵/۱۱ (۴/۹۷)	۲۲۰/۳۲ (۱۱۹/۱۱)
ترموفیلیک	۶۱ (۱/۹۵)	۵۰/۴۸ (۲/۷۳)	۱۹/۵۲ (۲/۲۹)	۶/۷–۷/۴	۳/۹۸ (۳/۶۵)	۴/۳۳ (۴/۲)	۱۹۵/۴ (۶۱/۳)
مزوفیلیک ثانویه	۵۷ (۴/۸۲)	۴۳/۳۷ (۵/۹۵)	۱۶/۹۸ (۰/۶۹)	۶/۶–۷/۸۱	۴/۰۹ (۳/۸۴)	۳/۵۹ (۳/۲۳)	۳۰۱/۶۸ (۲۸۹/۶۱)
تثبیت	۳۶ (۲/۹۸)	۳۳/۱۷ (۱/۶)	۱۲/۶۸ (۱/۱۴)	۷/۱–۹/۴	۳/۳۶ (۳/۱۵)	۳/۰۷ (۲/۸۴)	۲۸/۲۱ (۲۲/۱۲)

a- گرم وزن خشک، b- مقادیر داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار می‌باشد، pH: گستره

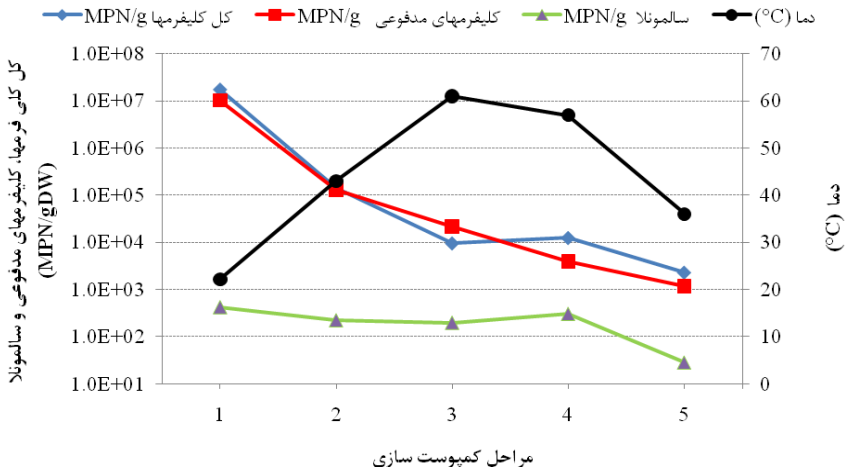
جدول ۲: مقدار میانگین و انحراف معیار برای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و میکربی پس از استفاده از کمپوست بر روی خاک

زمان (روز)	دمای هوا (°C)*	رطوبت (٪)	نسبت C/N	pH	کلیفرم (log_{10}MPN/gD (W[a]	کلیفرم مدفوعی (log_{10}MPN/gDW) (	*سالمونلا* MPN/gDW) (
۰	[b]۹/۲ (۲/۴۴)	۳۳/۱۷ (۱/۶)	۱۲/۶۸ (۱/۱۴)	۷/۱–۹/۴	۳/۳۶ (۳/۱۵)	۳/۰۷ (۲/۸۴)	۲۸/۲۱ (۲۲/۱۲)
۵	۸/۶ (۱/۸۳)	۲۰/۴ (۶/۳۸)	۱۳/۶ (۳/۹۷)	۶/۸–۸	۲/۱۱ (۱/۹۷)	۱/۸۸ (۱/۷)	۰
۱۰	۷/۴ (۱/۷۵)	۲۰/۶ (۵/۲۷)	۱۱/۴ (۰/۵۱)	۶/۸–۷/۵	۲/۷۹ (۲/۵۵)	۱/۶ (۱/۴۹)	۰
۱۵	۶/۸ (۳/۵۹)	۱۷/۷۵ (۶/۱۴)	۱۲/۷۵ (۰/۷۵)	۶/۸–۷/۷	۲/۵۴ (۲/۴۷)	۲/۱۳ (۲/۱)	۰
۲۰	۶/۲ (۲/۳۳)	۱۵ (۵/۹۶)	۱۰/۷۵ (۱/۹۳)	۶/۵–۷/۸	۲/۱۷ (۲/۰۷)	۱/۲۶ (۱)	۰

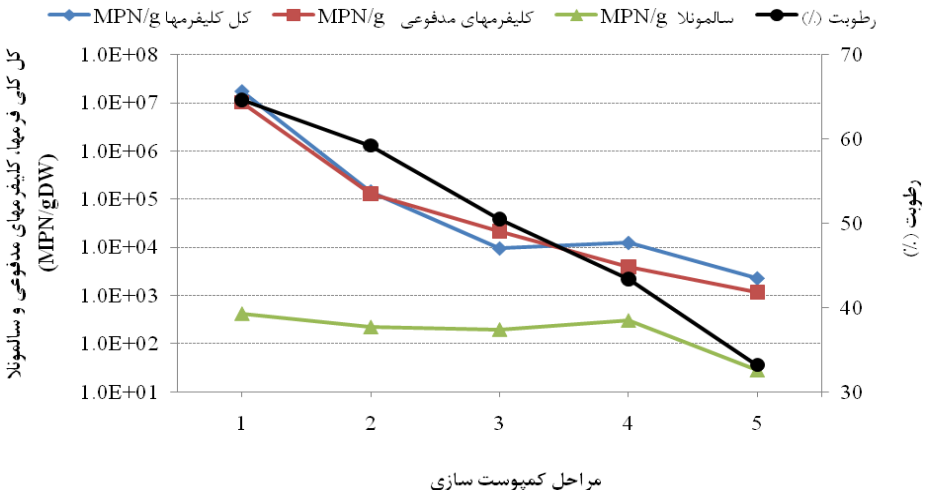
* دمای هوای محیط، a- گرم وزن خشک، b- مقادیر داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار می‌باشد، pH: گستره

در شکل ۱ تغییرات جمعیت *سالمونلا*، کلیفرم‌های کل و مدفوعی در طول مراحل مختلف کمپوست‌سازی با توجه به تغییرات دما، رطوبت، نسبت C/N و pH نشان داده‌شده است.

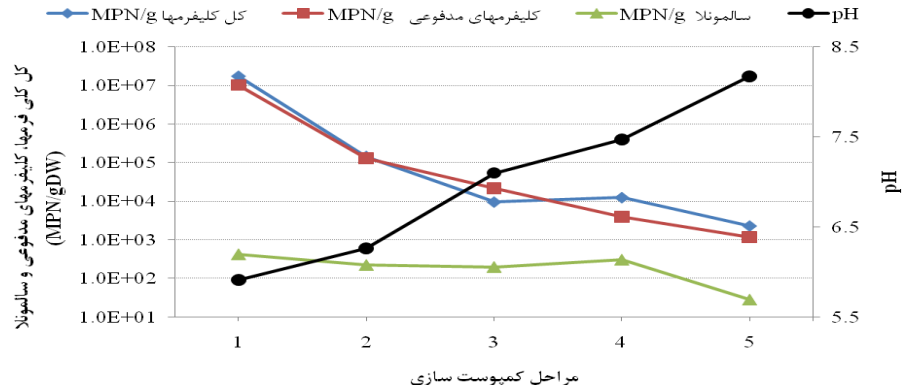
الف


کل کلیفرمها MPN/g
کلیفرمهای مدفوعی MPN/g
سالمونلا MPN/g
دما (°C)
کل کلی فرمها، کلیفرمهای مدفوعی و سالمونلا (MPN/gDW)
1.0E+08
1.0E+07
1.0E+06
1.0E+05
1.0E+04
1.0E+03
1.0E+02
1.0E+01
70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
مراحل کمپوست سازی

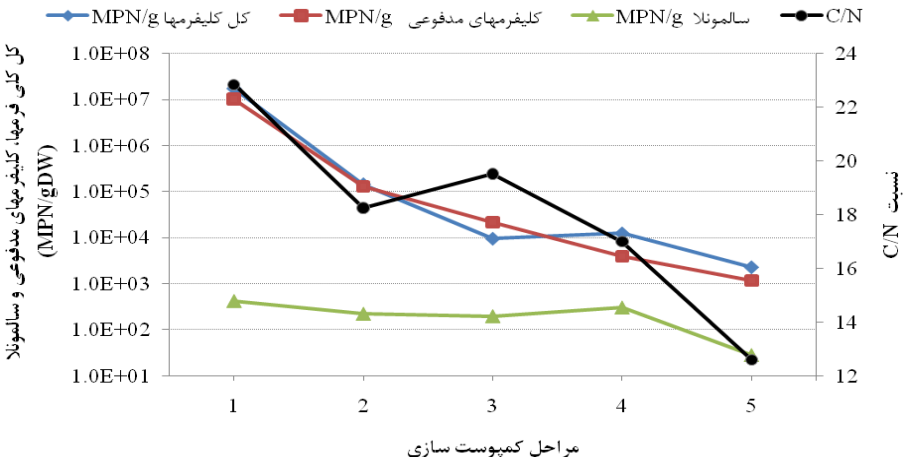
ب


کل کلیفرمها MPN/g
کلیفرمهای مدفوعی MPN/g
سالمونلا MPN/g
رطوبت (٪)
کل کلی فرمها، کلیفرمهای مدفوعی و سالمونلا (MPN/gDW)
1.0E+08
1.0E+07
1.0E+06
1.0E+05
1.0E+04
1.0E+03
1.0E+02
1.0E+01
70
60
50
40
30
1
2
3
4
5
مراحل کمپوست سازی

ج



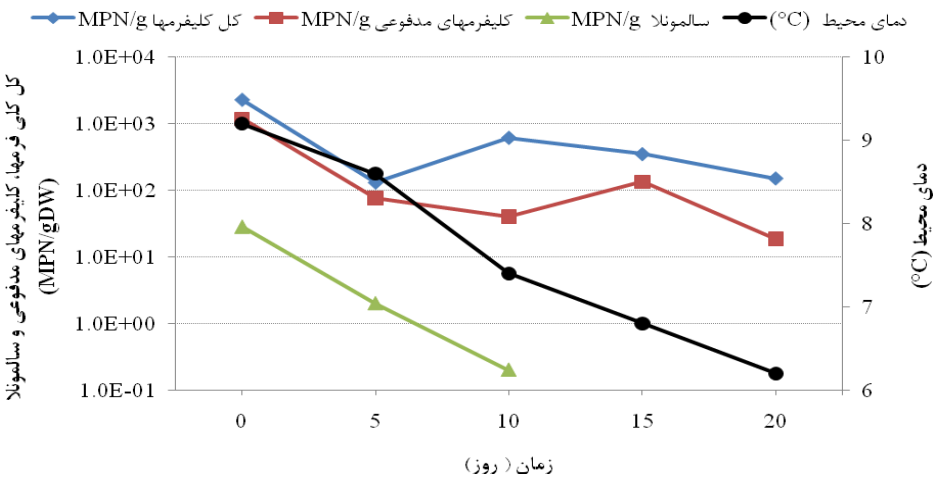
د



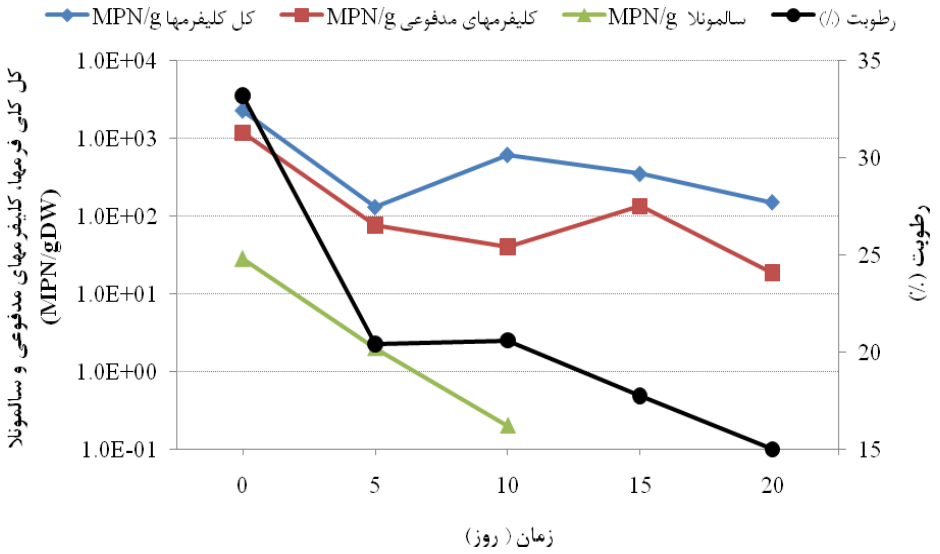
شکل ۱: تأثیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بر روی تغییرات جمعیت باکتری‌های شاخص و پاتوژن در طول فرایند کمپوست سازی.
(الف – دما، ب – رطوبت، ج – pH، د – نسبت C/N)

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده بر روی جمعیت‌های میکروبی مورد نظر در ارتباط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مختلف، پس از استفاده از کمپوست بر روی زمین در نمودارهای شکل ۲ ارایه شده است. مقدار pH در این نمونه‌ها بین ۷/۲ و ۸/۲ متغیر بوده است. همچنین میزان رطوبت به تدریج از ۳۳/۱٪ در روز اول به ۱۴/۹۴٪ در روز بیستم رسید. جمعیت باکتری‌های کلیفرم کل و کلیفرم‌های مدفوعی که در محصول کمپوست به ترتیب MPN/gDW $۲/۳\times۱۰^{۳}$ و $۱/۱۸\times۱۰^{۳}$ بود پس از استفاده از کمپوست بر روی خاک روند کاهشی داشته و پس از گذشت ۲۰ روز به حدود MPN/gDW ۱۵۰ و ۱۸ رسید. مقدار *سالمونلا* نیز از MPN/gDW ۲۸ در کمپوست نهایی در طول ۵ تا ۱۰ روز به حد غیر قابل تشخیص رسید.

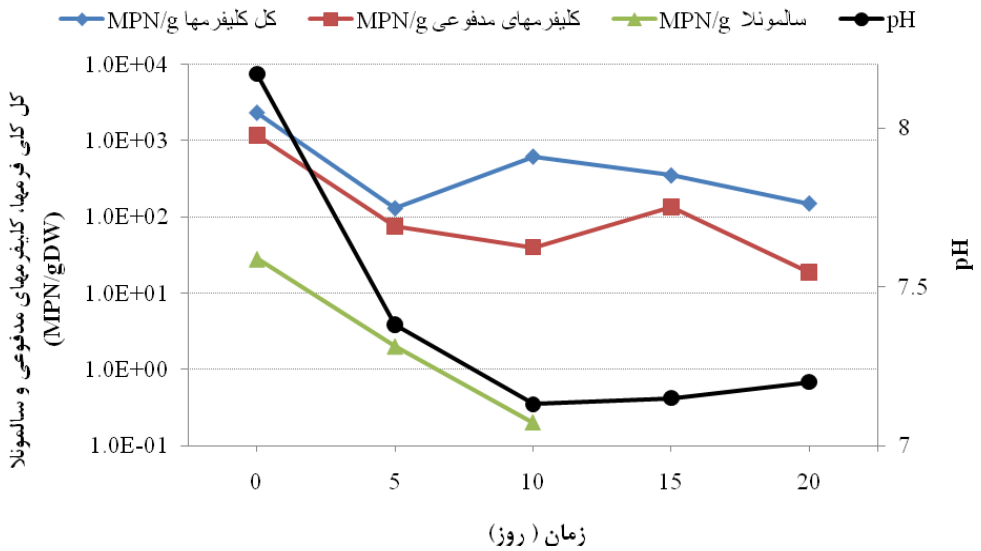
الف


کل کلیفرمها MPN/g
کلیفرمهای مدفوعی MPN/g
سالمونلا MPN/g
دمای محیط (°C)
1.0E+04
1.0E+03
1.0E+02
1.0E+01
1.0E+00
1.0E-01
10
9
8
7
6
0
5
10
15
20
زمان (روز)
کل کلی فرمها، کلیفرمهای مدفوعی و سالمونلا (MPN/gDW)
دمای محیط (°C)

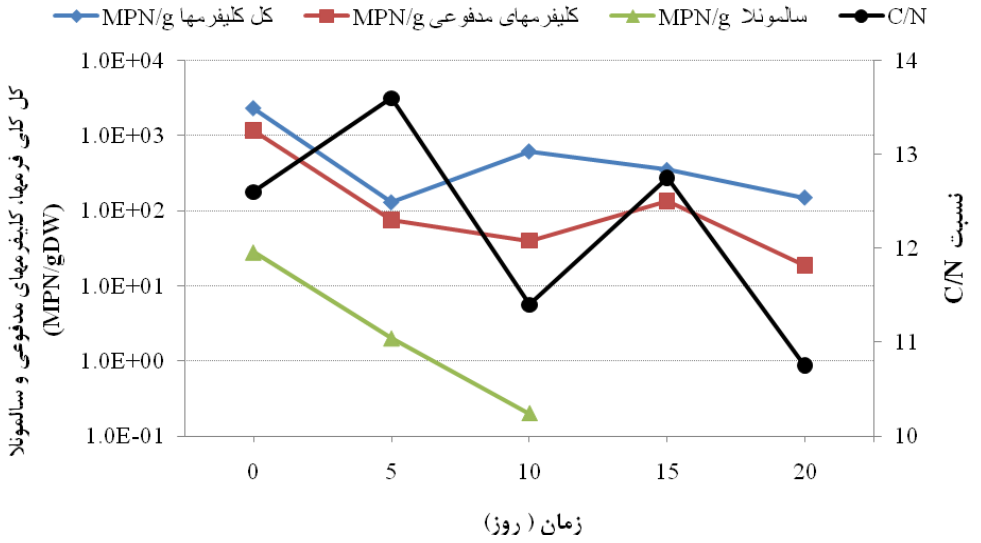
ب


کل کلیفرمها MPN/g
کلیفرمهای مدفوعی MPN/g
سالمونلا MPN/g
رطوبت (٪)
1.0E+04
1.0E+03
1.0E+02
1.0E+01
1.0E+00
1.0E-01
35
30
25
20
15
0
5
10
15
20
زمان (روز)
کل کلی فرمها، کلیفرمهای مدفوعی و سالمونلا (MPN/gDW)
رطوبت (٪)

ج



د



شکل ۲: تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیائی بر روی تغییرات جمعیت باکتریهای شاخص و پاتوژن پس از استفاده از کمپوست
الف – دما، ب– رطوبت، ج – pH، د – نسبت (C/N)

بحث

پایش میکروارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن در طول فرآیند کمپوست‌سازی، امکان بررسی کارآیی فرآیند را در سالم‌سازی محصول فراهم می‌کند. تغییرات دمایی یکی از مهمترین پارامترهای معیار در فرایند کمپوست‌سازی است که اثر مهمی برروی غیر فعال‌سازی پاتوژن‌ها دارد. دما در زباله خام به طور متوسط ۳/۰۵ ± ۲۲/۲ درجه سانتی‌گراد بود که در توده‌های کمپوست آماده‌سازی شده به حدود ۴۳±۴/۸۹ درجه سانتی‌گراد رسید و در مرحله ترموفیلیک به بالاترین حد خود یعنی ۶۱±۱/۹۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. علت بالا رفتن دما در توده کمپوست مصرف مواد آلی و رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های مزوفیل در چند روز اول و سپس رشد میکروارگانیسم‌های ترموفیل می‌باشد. میکروارگانیسم‌ها حدود دو سوم از انرژی تولیدی ناشی از مصرف مواد آلی را صرف سوخت و ساز سلولی کرده و حدود یک سوم از انرژی را به صورت مازاد در توده کمپوست رها می‌کنند (۱۸). این انرژی مازاد در حدی است که در درجات پایین هم سبب گرم شدن توده کمپوست و از بین بردن پاتوژن‌ها می‌شود؛ بنابراین پایش تغییرات درجه حرارت نقش بسیار مهمی از نظر اقتصادی و بهداشتی در کمپوست‌سازی دارد. همان طور که در جدول ۱ و نمودار ۱– الف مشاهده می‌گردد در طول مرحله ترموفیلیک بالاترین دمای به دست آمده بین ۵۷ و ۶۸°C در نوسان بوده است که تأثیر زیادی بر روی از بین بردن میکروارگانیسم‌های پاتوژن دارد.

در مطالعه انجام‌شده توسط Bustamante و همکاران مشخص شد دماهای زیاد در داخل توده کمپوست باعث از بین رفتن بسیاری از گروه‌های میکروبی مانند کلیفرم‌های کل و مدفوعی می‌گردد ولی نوع مواد زائد مورد استفاده جهت کمپوست‌سازی نیز تأثیر زیادی در میزان پاتوژن‌های کمپوست نهایی دارد (۴).

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مقدار کلیفرم‌های کل و مدفوعی در توده زباله خام (مرحله ۱) در حدود 10^{7} MPN/gDW بوده است که در پایان مرحله ترموفیلیک مقدار آنها به میزان تقریبا ۴log کاهش‌یافته اما هنوز کمی بالاتر از مقدار استاندارد محیط زیست کشور ایران و سازمان EPA)کمتر از ۱۰۰۰ MPN/gDW) می‌باشد. *سالمونلا* نیز که مقدار آن در زباله خام خیلی کمتر از باکتری‌های گروه کلیفرم است در مرحله ترموفیلیک و تثبیت به ترتیب تقریبا ۵۵٪ و ۹۳٪ کاهش‌یافته است. کاهش زیاد پاتوژن‌ها در طی این دو مرحله نشان‌دهنده اهمیت تأمین دمای مناسب در مرحله ترموفیلیک و مدت زمان کافی در مرحله تثبیت جهت از بین بردن پاتوژن‌ها در طول کمپوست‌سازی می‌باشد (۹).

با توجه به نمودار شکل ۱– ب تغییرات رطوبت در طول کمپوست‌سازی به صورت کاهشی بوده است که ناشی از تولید حرارت ناشی از تجزیه مواد آلی و تبخیر آب موجود در داخل توده می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد کلیفرم‌های کل و مدفوعی در برابر کاهش رطوبت حساس بوده و همزمان با کاهش میزان رطوبت، مقدار آنها نیز در طول کمپوست‌سازی به تدریج کاهش می‌یابد، ولی تغییرات رطوبت تأثیر زیادی بر روی *سالمونلا* نداشته است.

مقدار متوسط کلیفرم‌های مدفوعی در محصول نهایی در حدود ۱۰۰۰ MPN/gDW می‌باشد و تنها در دو مورد نمونه‌برداری، مقدار این پارامتر بیشتر از مقدار استاندارد ایران و EPA بوده است. در مطالعه انجام‌شده توسط Bustamante و همکاران و Hess و همکاران نیز به این موضوع اشاره شده است (۴، ۱۱). در این مطالعات نشان داده‌شده که کلیفرم‌های مدفوعی (E.Coli) پس از کاهش در مرحله ترموفیلیک مجدداً در دماهای کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد رشد می‌کنند و حتی در دماهای تا ۶۶ درجه سانتی‌گراد نیز این میکروارگانیسم به طور کامل از بین نمی‌رود. همچنین با اینکه *سالمونلا* جزو میکروارگانیسم‌های مقاوم در برابر حرارت نیست ولی برخی از گونه‌های آن در دماهای بیشتر از ۵۰ درجه هم زنده می‌مانند که این موضوع با نتایج سایر مطالعات نیز مطابقت دارد (۴، ۱۹).

مقدار C/N در توده زباله خام۲/۳۳ ±۲۲/۸۴ بوده است که در طول کمپوست‌سازی روند کاهشی داشته و در محصول کمپوست تولیدی این نسبت به ۱/۱۴± ۱۲/۶۸ رسیده است (شکل ۱- د). آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد مقدار C/N در مراحل مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و روند کاهشی دارد که نشان‌دهنده مصرف ترکیبات کربنه و تولید ترکیبات ازته در مراحل مختلف کمپوست‌سازی است. انحراف معیار زیاد توده زباله خام نشان‌دهنده ترکیب نامتجانس زباله در ابتدای فرایند می‌باشد که به تدریج با مصرف مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها، ترکیب نهایی محصول کمپوست از نظر میزان کربن و ازت یکنواخت‌تر می‌شود. پس از پخش کردن کمپوست بر روی خاک، نسبت C/N در طول نمونه‌برداری ۲۰ روزه تغییر چندانی نداشت و آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین نسبت C/N در کمپوست استفاده‌شده بر روی زمین در طول روزهای مختلف نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. عدم وجود تغییرات در نسبت C/N کمپوست پخش‌شده بر روی زمین نشان‌دهنده تثبیت مناسب مواد آلی در طول کمپوست‌سازی است.

آنالیز آماری نتایج نشان داد که بین C/N در توده‌های کمپوست و تعداد کلیفرم‌های کل، ارتباط مستقیم وجود دارد. ولی بین نسبت C/N و جمعیت کلیفرم‌های مدفوعی و *سالمونلا* رابطه‌ای وجود ندارد. همچنین بین رطوبت و pH توده‌های کمپوست و جمعیت کلیفرم‌های کل و مدفوعی ارتباط معکوس وجود دارد ولی بین رطوبت و pH و جمعیت *سالمونلا* رابطه‌ای مشاهده نگردید که احتمالاً به دلیل وجود گونه‌های مختلف باکتریایی در این گروه می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که مرحله ترموفیلیک باعث کاهش جمعیت باکتری‌های شاخص و پاتوژن در کمپوست می‌گردد. همچنین بین مقادیر دما در مراحل مختلف کمپوست‌سازی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. کاهش مشهودی در تعداد باکتری‌های شاخص و پاتوژن به ویژه کلیفرم‌های کل و مدفوعی در طول کمپوست‌سازی مشاهده شد. مقدار pH در طول فرایند، روند افزایشی داشته و از ۵/۹ در زباله خام به ۸/۱۷ در کمپوست نهایی رسید که نشان‌دهنده مصرف اسیدهای آلی تولیدی و تولید مواد قلیایی در طول فرایند می‌باشد. همان طور که در نمودارهای شکل ۱ ملاحظه می‌گردد تغییرات جمعیت کلیفرم‌های کل و مدفوعی به صورت کاهشی می‌باشد و پس از مرحله ترموفیلیک و در محصول نهایی به حداقل مقدار خود می‌رسد. به طور کلی بین جمعیت کلیفرم‌های کل و مدفوعی در توده‌های کمپوست و زباله خام ورودی (نمونه ۱) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که جمعیت *سالمونلا* در طول مراحل مختلف کمپوست‌سازی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در نتیجه می‌توان گفت فرایند کمپوست‌سازی بر روی *سالمونلا* تأثیر کمتری نسبت به کلیفرم‌ها دارد و افزایش ناگهانی جمعیت این پاتوژن پس از مرحله ترموفیلیک نشان‌دهنده وجود گونه‌های مقاوم از این باکتری در توده‌های کمپوست است (۹). همچنین با بررسی تأثیر دما و pH بر روی گروه *سالمونلا* مشخص شد تأثیر دمای ایجادشده در مرحله ترموفیلیک کمتر از pH می‌باشد زیرا جمعیت این پاتوژن پس از مرحله ترموفیلیک مجدداً افزایش می‌یابد ولی در محصول نهایی احتمالاً به دلیل ایجاد شرایط نسبتاً قلیایی و وجود میکروارگانیسم‌های رقیب تعداد *سالمونلا* به کمترین مقدار خود یعنی ۲۸ MPN/gDW می‌رسد که خیلی بیشتر از مقدار استانداردهای ملی و بین‌المللی است و با سایر مطالعات انجام‌شده در زمینه غیر فعال‌سازی *سالمونلا* در کمپوست‌های مختلف منطبق می‌باشد. به نظر می‌رسد از بین رفتن *سالمونلا* در دماهای پایین مرحله تثبیت، بهتر صورت می‌گیرد که احتمالاً به دلیل رشد قارچ‌ها و باکتری‌های رقیب در این شرایط می‌باشد.

بر اساس استانداردهای اتحادیه اروپا مقدار *سالمونلا* در ۲۵ گرم از کمپوست نهایی باید صفر بوده و تعداد کلیفرم‌های مدفوعی نیز باید کمتر از ۱۰۰۰MPN/g باشد. در رهنمودهای سازمان EPA نیز مقدار *سالمونلا* کمتر از ۳MPN در ۴ گرم کمپوست خشک و مقدار کلیفرم‌های

مدفوعی ۱۰۰۰MPN/g پیشنهاد گردیده است که استانداردهای سازمان محیط زیست کشور ایران نیز بر اساس رهنمودهای سازمان EPA می‌باشد (۲۰).

با توجه به شکل ۲- ب که تغییرات جمعیت *سالمونلا*، کلیفرم‌های کل و مدفوعی را نسبت به رطوبت، پس از استفاده از کمپوست بر روی زمین نشان می‌دهد ملاحظه می‌گردد که مقدار این باکتری‌ها که در محصول کمپوست بیشتر از مقادیر استاندارد بودند همچنان کاهش‌یافته و تنها پس از گذشت ۵ روز، به کمتر از حد استاندارد رسیدند. با اینکه فرایند کمپوستسازی تأثیر زیادی در کاهش مقدار *سالمونلا* به حدود استاندارد نداشت، ولی همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، مقدار این پاتوژن پس از استفاده بر روی زمین در طول ۵ روز به نزدیک صفر می‌رسد و می‌توان گفت این کاهش در اثر ایجاد شرایط نامناسب محیطی مانند کاهش رطوبت و دما بوده است.

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان گفت فرایند کمپوستسازی از مواد زائد شهری بر روی کاهش باکتری‌های گروه کلیفرم موثر بوده ولی برای *سالمونلا* بایستی در طول فرایند تأثیر سایر فاکتورها به جز گرما نیز مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این بررسی نشان داد که در بین مراحل مختلف فرایند کمپوستسازی، مرحله ترموفیلیک بیش‌ترین تأثیر را بر روی باکتری‌های گروه کلیفرم و مرحله تثبیت بیش‌ترین تأثیر را بر روی باکتری‌های گروه *سالمونلا* دارد. همچنین با توجه به آلودگی کمپوست در طول ۵ روز اول استفاده بر روی خاک، بهتر است برای محصولاتی که در تماس با زمین هستند فاصله زمانی مناسب بین استفاده از کمپوست و برداشت محصول در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان این مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه مطبوع به دلیل تأمین بودجه طرح تحقیقاتی به شماره ۱۹۱۰۱۳ تشکر می‌نمایند.

References

1. Domingo JL, Nadal M. Domestic waste composting facilities: A review of human health risks. Environment international 2009; 35(2):382-9.
2. Brinton FW. Compost Quality Standards and Guidelines: an International View. New York State Association of Recyclers: New York: Wood End Research Laboratory; 2000. 15-72.
3. Déportes I, Benoit-Guyod JL, Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. Science of the Total Environment 1995;172 (2-3):197-222.
4. Bustamante MA ,Moral R, Paredes C, Vargas-García MC, Suárez-Estrella F, Moreno J. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes. Bioresource technology 2008; 99(15):7299-306.
5. Chica A, Arcos M, Hobbis P, Stentiford E. Position of the thermophilic stage in the composting process time and process efficiency. Proceeding of the Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italy: Sardinia; 2007. Available from: http://warrr.org/id/eprint/333.
6. Chroni C, Kyriacou A, Georgaki I, Manios T, Kotsou M, Lasaridi K. Microbial characterization during composting of biowaste. Waste Manag 2009; 29(5):1520-5.

7. Chroni C, Kyriacou A, Manios T, Lasaridi KE. Investigation of the microbial community structure and activity as indicators of compost stability and composting process evolution. Bioresour Technol 2009; 100(15): 3745-50.
8. Erickson MC, Liao J, Ma L, Jiang X, Doyle MP. Inactivation of *Salmonella spp.* in cow manure composts formulated to different initial C: N ratios. Bioresour Technol 2009; 100 (23): 5898-903.
9. Gong C. Microbial safety control of compost material with cow dung by heat treatment. J Environ Sci (China) 2007; 19(8):1014-9.
10. Goyal S, Dhull SK, Kapoor KK. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresour Technol 2005; 96(14):1584-91.
11. Hess TF, Grdzelishvili I, Sheng H, Hovde CJ. Heat inactivation of E. coli during manure composting. Compost science & utilization 2004; 12(4): 314-22.
12. Hay JC. Pathogen destruction and biosolids composting. Biocycle 1996; 37(6): 67-76.
13. Lasaridi K ,Protopapa I, Kotsou M, Pilidis G, Manios T, Kyriacou A. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. J Environ Manage 2006;80(1):58-65.
14. Aryannejad MH, Najafi A, Adinehnya A, Abedini J. Health control indicators and microbial standards for compost production. Proccessing of The 1st Iranian Fertilizer Challenges Congress; (2010). [In Persian]
15. Tiquia SM. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. J Appl Microbiol 2005;99(4):816-28.
16. Thompson WH. Leege PB, Millner PD, Watson ME. The test methods for the examination of compost and composting (TMECC). Joint project of the United States department of agriculture and the United States composting council; 2001. Available from: URL: http://compostingcouncil.org/tmecc/.
17. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington D.C. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation; 2005.
18. Vargas-García MC, Suárez-Estrella F, López MJ, Moreno J. Microbial population dynamics and enzyme activities in composting processes with different starting materials . Waste management 2010; 30(5): 771-8.
19. Droffner ML, Brinton WF. Survival of E. coli and Salmonella populations in aerobic thermophilic composts as measured with DNA gene probes. Zentralblatt fur Hygiene und Umweltmedizin. International journal of hygiene and environmental medicine 1995; 197(5):387.
20. Regulations E. Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. United States Environment Protection Agency 2003;1: 177. Available from: whtm.links/pec/nrmrl/gov.epa.ww

Evaluation of composting process on removal of indicator and pathogenic bacteria in Isfahan composting factory

Amir Hossein Nafez[1], Mahnaz Nikaeen[1], Bibi Fatemeh Nabavi[1], Maryam Hatamzadeh[1], Akbar Hassanzadeh[2]

Original Article

Abstract

Background: Monitoring of indicator and pathogenic microorganisms is essential for proper composting. The aim of this study was to evaluate the change in population of coliform bacteria and *Salmonella* spp. in composting process of municipal wastes and after its application on soil.

Methods: The samples were taken from each raw waste pile, initial pile, and active phase pile, cooling phase pile and the final product in December, January and February. Samples were analyzed for temperature, moisture, C/N, pH, total and fecal coliforms and *Salmonella* spp. To evaluate the condition of applied compost on soil, 5 kg of compost was spread on the soil and sampling, physicochemical and biological experiments were performed at intervals of 5 days up to 20 days after use.

Findings: The minimum and maximum temperatures were related to raw waste and thermophilic phase with 22 °C and 61°C, respectively. Average total and fecal coliforms from 1.71×10^7 and 1.02×10^7 MPN/g DW in the raw waste was reduced to 2.3×10^3 and 1.18×10^3 in the final product, respectively. *Salmonella* spp was also reduced from 415 MPN/gDW at beginning of the composting process to 28 MPN/g DW in the final product. After compost application, total and fecal coliforms populations decreased and on day 20 reached to 150 and 18 MPN/gDW, respectively. *Salmonella* spp. also decreased to about zero by day 5-10.

Conclusion: The results of this study revealed that thermophilic stage has the greatest impact on coliform bacteria, and *Salmonella spp.* are the most affected by the stabilization phase. However, considering the contamination of applied compost because of high levels of fecal coliforms and *salmonella* compared to standard values, the appropriate interval between compost application and harvest should be considered for crops that are in contact with soil.

Keywords: Solid waste, Composting, Indicator and pathogenic bacteria

Citation: Nafez AH, Nikaeen M, Nabavi BF, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A. **Evaluation of composting process on removal of indicator and pathogenic bacteria in Isfahan composting factory.** J Health Syst Res 2013; 9(8):837-850

Received date: 15/04/2013 **Accept date: 10/08/2013**

1. Department of Environmental Health Engineering, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. (Corresponding Author) Email: Nikaeen@hlth.mui.ac.ir
2. Department of Statistics & Epidemiology. School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran