# پایش میکرو ارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن طی فرایند کمپوست سازی از لجن فاضلاب هضم شده بی‌هوازی

صفورا کدخدایی[1]، مهناز نیک‌آیین[2]، مریم حاتم‌زاده[3]، امیرحسین نافذ[4]، اکبر حسن‌زاده[5]

**مقاله پژوهشی**


## چکیده

**مقدمه:** تغییرات میکرو ارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن در فرایند کمپوست سازی، روند این فرایند و کیفیت محصول نهایی را مشخص می‌کند. هدف مطالعه حاضر، تعیین تغییرات جمعیت میکرو ارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن طی فرایند کمپوست سازی لجن فاضلاب هضم شده به صورت بی‌هوازی بود.

**روش‌ها:** سه توده به روش ویندرو با اختلاط لجن فاضلاب هضم شده به صورت بی‌هوازی با زایدات سبز باغبانی به عنوان عامل حجیم کننده به نسبت‌های حجمی ۱ به ۱، ۱ به ۲ (۲/۱) و ۱ به ۳ (۳/۱) تهیه شد. یک توده لجن فاضلاب به عنوان شاهد بدون هر عامل حجیم کننده‌ای آماده گردید. نمونه‌برداری از توده‌های کمپوست طی سه ماه فرایند کمپوست سازی صورت گرفت. نمونه‌های کمپوست جهت تعیین پارامترهای فیزیکو شیمیایی و میکروبی آزمایش شدند.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از بررسی دما نشان داد که توده لجن به مرحله ترموفیلیک نرسید و توده ۱/۱ نیز فاز ترموفیلیک کوتاه‌تری را نسبت به توده ۲/۱ و ۳/۱ طی کرد. تعداد کلیفرم‌های کل، مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی در ابتدای فرایند کمپوست سازی به ترتیب MPN/gDW (MPN در گرم وزن خشک) $10^{9}$، $10^{8}$ و $10^{5}$ در توده‌های ۲/۱ و ۳/۱ بود. تعداد میکرو ارگانیسم‌ها در طول فاز ترموفیلیک کاهش یافت و به حد بسیار پایین یا غیر قابل تشخیص برای کلیفرم‌های مدفوعی و حدود ۱۰۰ برای استرپتوکوک‌های مدفوعی در توده‌های فوق رسید. میزان سالمونلا در هر دو توده با افزایش دما، کاهش یافت و بعد ۱۹ و ۴۷ روز از آغاز فرایند کمپوست سازی به ترتیب در توده ۳/۱ و ۲/۱ به حد غیر قابل تشخیص رسید.

**نتیجه‌گیری:** بررسی تغییرات میکروبی طی فرایند کمپوست سازی و محصول نهایی نشان داد که توده‌های ۲/۱ و ۳/۱ در دستیابی به فاز ترموفیلیک و نابودی میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا موفق بودند. بنابراین، استفاده از این کمپوست در زمین‌های کشاورزی، چمن‌ها و باغ‌ها از نظر میکروبی بلامانع می‌باشد.


**واژه‌های کلیدی:** کمپوست سازی، لجن فاضلاب، باکتری‌های پاتوژن و شاخص

**ارجاع:** کدخدایی صفورا، نیک‌آیین مهناز، حاتم‌زاده مریم، نافذ امیرحسین، حسن‌زاده اکبر. **پایش میکرو ارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن طی فرایند کمپوست سازی از لجن فاضلاب هضم شده بی‌هوازی.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۵؛ ۱۲ (۲): ۱۶۰-۱۶۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۷/۶

## مقدمه

تولید لجن فاضلاب شهری در مقیاس جهانی رو به افزایش است. این افزایش به دلیل توسعه شهری، ایجاد تصفیه خانه‌های فاضلاب شهرها و بهبود عملکرد تصفیه خانه‌های فاضلاب می‌باشد (۱). تصفیه لجن باید قبل از دفع آن در محیط به دلیل مشکلات مربوط به آن نظیر بوی نامطلوب و آزاردهنده ناشی از محتوای آلی بالا و حضور پاتوژن‌ها صورت گیرد. برخی از پاتوژن‌ها می‌توانند ماه‌ها در محیط زنده بمانند و موجب آلودگی آب، خاک و هوا گردند (۲، ۱).

روش کمپوست سازی یکی از مناسب‌ترین روش‌های تصفیه لجن می‌باشد. کمپوست سازی یک روش زیستی کم هزینه است که هیچ اثر مضری بر روی محیط به جا نمی‌گذارد و در هر کشوری قابل دسترسی می‌باشد (۳). این روش غلظت میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا را کاهش می‌دهد و یک محصول نهایی ارزشمند و سودمند را برای زمین‌های کشاورزی تولید می‌کند (۵، ۴)، اما وجود یک عامل حجیم کننده در فرایند کمپوست سازی لجن برای به دست آوردن نسبت C/N پایین و رطوبت بالا ضروری است. عوامل حجیم کننده، فضای خالی مناسبی را بین ذرات جامد برای انتشار هوا و تبخیر آب ایجاد می‌کند (۷، ۶، ۲). این عوامل، خواص توده‌های کمپوست لجن را شامل میزان تخلخل، رطوبت، نسبت C/N، دانسیته ذره، pH و ساختار مکانیکی بهبود می‌بخشد. بنابراین، میزان تجزیه افزایش می‌یابد (۸).

فرایند کمپوست سازی یک فرایند زیستی است. بنابراین، میکرو ارگانیسم‌های تجزیه کننده نقش مهمی را در این فرایند به عهده دارند (۷). آن‌ها کیفیت محصول نهایی، میزان پیشرفت کمپوست و نیز اغلب تغییراتی را تعیین می‌کنند که در سیستم کمپوست سازی اتفاق می‌افتد (۹، ۷). میکرو

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- کارشناسی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۴- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۵- مربی،گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
**نویسنده مسؤول:** مهناز نیک‌آیین
Email: nikaeen@hlth.mui.ac.ir



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]

ارگانیسم‌های شاخص نیز ابزار مفیدی برای ارزیابی فرایند کمپوست سازی و کیفیت محصول نهایی می‌باشند و شامل کلیفرم‌های کل، کلیفرم‌های مدفوعی، استرپتوکوک‌های مدفوعی و اشرشیاکلی می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها به عنوان شاخص وجود باکتری‌های پاتوژن استفاده می‌گردند (۱۰). فرایند کمپوست سازی در صورتی که به طور مناسب انجام نگیرد، محصول نهایی ممکن است حاوی باکتری‌های بیماری‌زایی مانند سالمونلا و شیگلا باشد که می‌تواند بر سلامت کارگران کمپوست و کشاورزان در معرض، اثر گذارد (۱۱). همچنین، این عوامل بیماری‌زا می‌توانند از طریق کاربرد کمپوست در زمین موجب آلودگی آب، خاک و هوا شوند و سلامت عموم مردم را تهدید کنند.

با توجه به این که بخشی از لجن تولیدی تصفیه خانه‌های کشور ایران در پارک‌ها و فضاهای عمومی و بخشی دیگر در کشاورزی محصولات خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در صورت عدم تصفیه مناسب آن، آلاینده‌هایی مانند ترکیبات ناپایدار، فلزات سنگین و پاتوژن‌ها وارد محیط زیست می‌شوند و سلامت انسان را به خطر می‌اندازند. بنابراین، لجن جهت استفاده مجدد آن باید به یک محصول پایدار همچون کمپوست تبدیل گردد که علاوه بر حفظ کیفیت خود، عاری از هر گونه میکرو ارگانیسم‌های پاتوژن نیز باشد. برای این امر، فرایند کمپوست لجن و محصول نهایی آن باید به صورت کامل برای دستیابی به کمپوستی رسیده، پایدار و عاری از میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا مورد پایش قرار گیرد؛ به عبارت دیگر، بررسی فرایند کمپوست لجن و محصول نهایی آن با بررسی تغییرات باکتری‌های شاخص و بیماری‌زا، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، مطالعه حاضر به تعیین روند تغییرات میکرو ارگانیسم‌های شاخص و بیماری‌زا طی فرایند کمپوست سازی لجن فاضلاب شهری به روش ویندرو پرداخت.

## روش‌ها

از زایدات باغبانی سبز به عنوان عامل حجیم کننده در تولید توده‌های کمپوست استفاده شد و نسبت لجن هضم شده به عامل حجیم کننده به صورت ۱ به ۱، ۱ به ۲ (۲/۱) و ۱ به ۳ (۳/۱) (حجمی– حجمی) مورد استفاده قرار گرفت. یک توده نیز حاوی لجن خام تنها به عنوان شاهد تهیه گردید. در مجموع ۴ توده به صورت ویندرو بهره‌برداری گردید. توده‌های ویندرو به طول ۲/۵ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۱/۴ متر بود و هر ۱۰–۷ روز یک‌بار جهت حفظ شرایط هوازی در توده، زیر و رو شد. نمونه‌برداری از این ۴ توده کمپوست طی ۳ ماه با فواصل زمانی ۷–۵ روز انجام گرفت. نمونه‌برداری با روش نمونه‌برداری مرکب بر اساس روش استاندارد بود؛ به طوری که نمونه‌ها از ۳ قسمت مختلف توده به مقدار یک کیلوگرم برداشته شد و سپس نمونه مورد آزمایش پس از اختلاط کامل آن‌ها، از مخلوط تهیه گردید. بعد از نمونه‌برداری، نمونه‌ها جهت تعیین پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک به آزمایشگاه منتقل شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند.

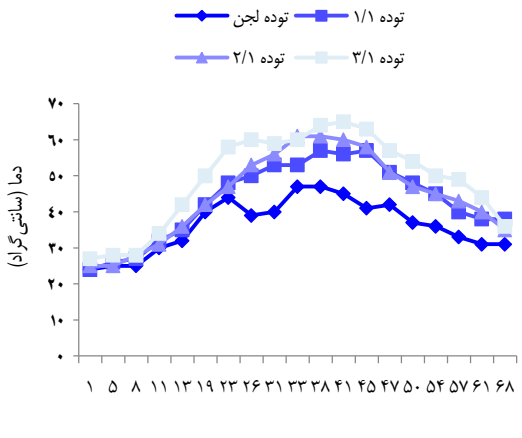
آزمایش‌های فیزیکی شامل دما، رطوبت و pH بود. دمای هر توده در عمق ۶۰ سانتی‌متری در فواصل مختلف به وسیله دماسنج میله‌ای روزانه اندازه‌گیری و ثبت گردید. جهت اندازه‌گیری میزان رطوبت، وزن نمونه را قبل و بعد از قرارگیری در دمای ۵ ± ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴–۱۸ ساعت اندازه‌گیری شد. تفاوت این دو به عنوان درصد رطوبت نمونه بود (۱۲). pH توده‌ها با استفاده از pH متر دیجیتال در دوغاب شیک شده حاصل از اختلاط کمپوست و آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰ (وزنی– حجمی) به دست آمد.

پارامترهای میکروبی شامل کلیفرم‌های کل و مدفوعی، استرپتوکوک مدفوعی و سالمونلا بود که بر اساس روش‌های استاندارد تعیین مقدار گردید. برای انجام آزمایش‌های میکروبی، مقدار ۲۰ گرم نمونه کمپوست در ۱۸۰ میلی‌لیتر محلول آب نمک ۰/۸ درصد ریخته شد و به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه با استفاده از شیکر مخلوط گردید. سپس رقت‌های مناسبی به روش ترقیق چند مرحله‌ای از دوغاب تولیدی به دست آمد و آزمون‌های میکروبی مورد نظر بر اساس روش‌های استاندارد انجام شد. نتایج به صورت MPN در گرم ماده خشک ثبت گردید (۱۳).

## یافته‌ها

### تغییرات پارامترهای فیزیکو شیمیایی در فرایند کمپوست سازی

تغییرات دمای توده‌های مختلف کمپوست در شکل ۱ نشان داده شد. دما سریع افزایش یافت و در دمای ۶۵–۵۵ درجه سانتی‌گراد (فاز ترموفیلیک) به مدت ۷، ۱۴ و ۲۴ روز به ترتیب در توده‌های ۱/۱، ۲/۱ و ۳/۱ باقی ماند. سپس دما به تدریج کاهش یافت و به زیر ۴۵ درجه سانتی‌گراد رسید که نمایانگر فاز سرد شدن و پایداری بود. حداکثر دما در توده شاهد ۳۷ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. بنابراین، این توده به مرحله ترموفیلیک نرسید. همچنین، توده ۱/۱ فاز ترموفیلیک کوتاه‌تری و دمای حداکثر پایین‌تری را نسبت به توده ۲/۱ و ۳/۱ داشت. با توجه به این که توده شاهد و توده ۱/۱ شرایط لازم فاز ترموفیلیک را طی نکردند، در ادامه تنها نتایج دو توده ۲/۱ و ۳/۱ بیان شد و با هم مقایسه گردید.

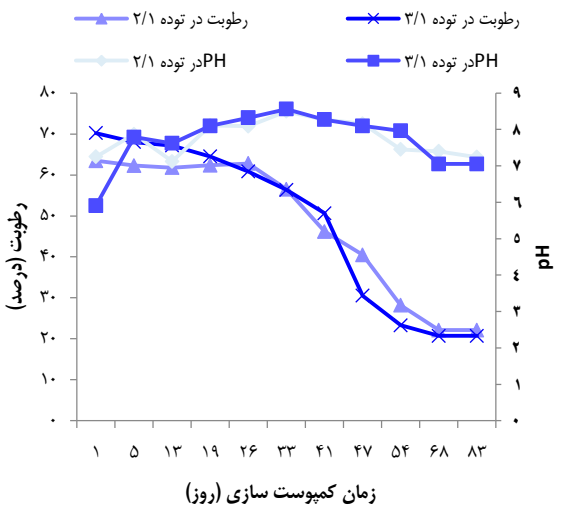



**شکل ۱. تغییرات دما طی فرایند کمپوست سازی در تمام توده‌ها**

مقادیر pH در ابتدای فرایند برای دو توده ۲/۱ و ۳/۱ به ترتیب برابر ۷/۲ و ۵/۹ بود. در کل، مقادیر این پارامتر برای هر دو توده تا ۳۳ روز از آغاز کمپوست سازی به تدریج افزایش یافت و به مقادیر حدود ۸/۵ رسید. پس از آن pH تا ۷/۲ و ۷/۵ به ترتیب در توده ۲/۱ و ۳/۱ کاهش پیدا کرد (شکل ۲). مقادیر رطوبت در هر دو توده به طور پیوسته کاهش یافت. رطوبت در توده ۲/۱ از ۶۲ به ۲۲ درصد و در توده ۳/۱ از ۶۹ به ۲۰ درصد رسید (شکل ۲).



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]




**شکل ۲. تغییرات رطوبت و pH طی فرایند کمپوست سازی توده‌های ۲/۱ و ۳/۱**

### *تغییرات پارامترهای میکروبی فرایند کمپوست سازی*

نتایج پارامترهای میکروبی طی فرایند کمپوست سازی در جدول ۱ نشان داده شد. بر اساس این نتایج، تعداد کلیفرم‌های کل در توده‌های ۲/۱ و ۳/۱ طی فاز ترموفیلیک به طور قابل توجهی کاهش یافتند و در انتهای فرایند به ترتیب در توده ۲/۱ و ۳/۱ به MPN/gDW ۴۳ و حد غیر قابل تشخیص رسیدند. همچنین، یک رشد ثانویه از کلیفرم‌ها پس از فاز ترموفیلیک در هر دو توده نمایان شد. تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در هر دو توده در ابتدا نزدیک به تعداد کلیفرم‌های کل بود. کاهش مشخصی در تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در مرحله ترموفیلیک به خصوص در توده ۳/۱ مشاهده گردید. همچنین، یک فاز رشد مجدد از کلیفرم‌های مدفوعی در روز ۴۷ام فرایند کمپوست سازی نمایان شد.

تعداد استرپتوکوک‌های مدفوعی در توده ۲/۱ و ۳/۱ در اوایل فرایند کمپوست سازی افزایش یافت (در جدول ۱)، اما بعد از این افزایش، تعداد این باکتری در هر دو توده کاهش پیدا کرد. همچنین، یک رشد مجدد از استرپتوکوک‌های مدفوعی در هفته ششم کمپوست سازی در هر دو توده مشاهده شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سالمونلا در روز ۴۷ام و ۱۹ام فرایند کمپوست سازی به ترتیب در توده ۲/۱ و ۳/۱ از بین رفته است (جدول ۱).

جدول ۱. پارامترهای میکروبی توده‌های ۲/۱ و ۳/۱ فرایند کمپوست سازی

| زمان (روز) | توده | کلیفرم کل ($Log_{10}$ MPN/gDW*) | کلیفرم مدفوعی ($Log_{10}$ MPN/gDW) | استرپتوکوک مدفوعی ($Log_{10}$ MPN/gDW) | سالمونلا (MPN/4gDW) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲/۱ | ۹ | ۸ | ۵ | ۱۲/۷ |
| | ۳/۱ | ۹ | ۸ | ۵ | ۳۰۶۶۶/۰ |
| ۱۳ | ۲/۱ | ۸ | ۸ | ۷ | ۹/۶ |
| | ۳/۱ | ۸ | ۸ | ۸ | ۴/۴ |
| ۱۹ | ۲/۱ | ۷ | ۷ | ۵ | ۳/۲ |
| | ۳/۱ | ۷ | ۷ | ۵ | ND |
| ۲۶ | ۲/۱ | ۷ | ۶ | ۵ | ND |
| | ۳/۱ | ۷ | ۶ | ۵ | ND |
| ۴۱ | ۲/۱ | ۶ | ۶ | ۶ | ۱۲/۷ |
| | ۳/۱ | ۵ | ۵ | ۶ | ND |
| ۴۷ | ۲/۱ | ۸ | ۸ | ۴ | ND |
| | ۳/۱ | ۷ | ۷ | ۴ | ND |
| ۵۴ | ۲/۱ | ۶ | ۵ | ۴ | ND |
| | ۳/۱ | ۵ | ۴ | ۳ | ND |
| ۶۸ | ۲/۱ | ۴ | ۵ | ۲ | ND |
| | ۳/۱ | ۵ | ۳ | ۲ | ND |
| ۸۳ | ۲/۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ND |
| | ۳/۱ | ND** | ND | ۲ | ND |

*MPN بر گرم وزن خشک، **: حد غیر قابل تشخیص



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]

### ارتباط بین پارامترهای فیزیکو شیمیایی و میکروبی

آنالیز آماری نتایج مشخص نمود که ارتباط معنی‌دار در توده ۲/۱ تنها بین کلیفرم‌های کل و pH وجود داشت، اما رابطه‌ای بین سالمونلا، کلیفرم‌های مدفوعی و استرپتوکوک‌های مدفوعی با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مشاهده نشد؛ در حالی که ارتباط معنی‌دار در توده ۳/۱ بین کلیفرم‌های کل با رطوبت و دما به دست آمد و ارتباط معکوسی بین pH و سالمونلا وجود داشت. رابطه‌ای در این توده بین کلیفرم‌های مدفوعی و استرپتوکوک‌های مدفوعی با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مشاهده نگردید.

## بحث

پایش میکرو ارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن طی فرایند کمپوست سازی و در محصول نهایی، پارامتری اساسی جهت ارزیابی این فرایند زیستی و کیفیت بهداشتی محصول نهایی می‌باشد. دما یکی از پارامترهای اصلی برای ارزیابی فرایند کمپوست است؛ چرا که تغییرات دمایی، میزان فعالیت میکرو ارگانیسم‌های تجزیه کننده و میزان تثبیت مواد آلی را مشخص می‌کند. مطالعه حاضر نشان داد که هرچه توده کمپوست، عوامل حجیم کننده بیشتری داشت، آن توده زودتر به فاز ترموفیلیک می‌رسید و مدت زمان این فاز در آن توده طولانی‌تر بود (شکل ۱). Vinneras و Jonsson گزارش کردند که کاربرد مواد اصلاحی (عوامل حجیم کننده) برای رسیدن به شرایط ترموفیلیک کمپوست سازی ضروری می‌باشد (۱۴). مطالعه Tonner-Klank و همکاران بر روی کمپوست ادرار و مدفوع نشان داد که استفاده از چمن‌های تازه چیده شده در یکی از کانتینرهای کمپوست سازی، موجب افزایش دمای ترموفیلیک بیش از دو روز در فرایند کمپوست شد (۱۰).

توده ۳/۱ مطالعه حاضر فاز ترموفیلیک طولانی‌تری را نسبت به سایر توده‌ها داشت، اما در کل، الگوی تغییرات دمایی هر دو توده ۲/۱ و ۳/۱ مشابه با دیگر مطالعات بود (۱۵، ۵). CG و همکاران بر روی کود مواد دفعی خوک گزارش کردند که دما در تمامی توده‌ها به سرعت افزایش یافت و پس از ۱ الی ۲ روز به فاز ترموفیلیک رسید. این فاز به مدت ۱ الی ۲ هفته در توده‌ها باقی ماند و سپس فاز نهایی ( پایداری) با کاهش دما آغاز شد (۱۶). افزایش دما در فرایند کمپوست سازی به علت تجزیه سریع مواد آلی و ترکیبات نیتروژنه توسط میکرو ارگانیسم‌ها می‌باشد. هرچه مواد آلی بیشتر تثبیت گردد، فعالیت‌های میکروبی و تجزیه مواد آلی کاهش می‌یابد. در نتیجه، دما نیز به تدریج افت می‌کند و به دمای محیط می‌رسد (۷).

pH توده ۲/۱ و ۳/۱ مطالعه حاضر در ابتدا افزایش یافت و سپس به تدریج افت کرد. pH در ابتدای کمپوست سازی به دلیل فعالیت شدید باکتری‌های پروتئولیتیک، تجزیه اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه و تبدیل نیتروژن آلی به آمونیاک افزایش می‌یابد. در نهایت، مقدار آمونیاک با تبخیر آمونیاک و اکسیداسیون آن به نیترات‌ها با فعالیت نیتروباکترها کم می‌شود و در نتیجه، pH به تدریج افت می‌کند (۱۷).

دلیل کاهش رطوبت فرایند کمپوست سازی مطالعه حاضر ناشی از تبخیر آب به وسیله منابع گرمایی داخلی (تولید گرمای توسط میکرو ارگانیسم‌ها) و نیز گرمای هوا بود. مطالعه Tian و همکاران که بر روی کمپوست لبنی و سبوس برنج انجام شد، مقدار رطوبت به طور پیوسته کاهش یافت و از ۶۴ درصد به ۳۶ درصد طی ۱۱۲ روز رسید (۵).

نتایج این مطالعه در کل نشان داد که مرحله ترموفیلیک باعث کاهش شدید جمعیت میکرو ارگانیسم‌های شاخص و پاتوژن در هر دو توده کمپوست سازی شد (جدول ۱). Bustamante و همکاران گزارش کردند که دماهای بالا در داخل توده کمپوست باعث از بین رفتن بسیاری از گروه‌های میکروبی مانند کلیفرم‌های کل و مدفوعی می‌گردد، ولی نوع مواد زاید مورد استفاده جهت کمپوست سازی نیز تأثیر زیادی در مقدار پاتوژن‌های کمپوست نهایی دارد (۹). مطالعه حاضر یک رشد مجدد در روند تغییرات کلیفرم‌های کل، مدفوعی و استرپتوکوک‌های مدفوعی نشان داد که ممکن است به دلیل فراهم شدن شرایط رشد برای بعضی از باکتری‌های آسیب دیده باشد. این حقیقت در برخی از مطالعات دیگر نیز بیان شد. Hassen و همکاران بیان کردند که مرحله ترموفیلیک (۵۵–۶۰ درجه سانتی‌گراد)، تغییر قابل ملاحظه‌ای را در جمعیت باکتری‌ها ایجاد می‌کند. آن‌ها رشد مجدد اشرشیاکلی تمامی توده‌های ویندرو را بعد از هفته نهم و رشد ثانویه خفیفی از استرپتوکوک‌های مدفوعی را در انتهای فرایند کمپوست سازی گزارش نمودند (۱۱). استرپتوکوک‌های مدفوعی نسبت به کلیفرم‌های مدفوعی مقاوم‌تر هستند (۱۰). از این‌رو، آن‌ها در کمپوست نهایی هر دو توده قابل ردیابی بودند و می‌توانستند به عنوان شاخص مفیدی از آلودگی مدفوعی مورد استفاده قرار گیرند.

حضور سالمونلا در کمپوست نهایی بیانگر یک مشکل مهم در کیفیت بهداشتی کمپوست بود (۱۱). این میکرو ارگانیسم بیماری‌زا زمانی از بین می‌رود که به نقطه گرمایی نهایی برسد که منجر به نابودی آن‌ها می‌شود (۱۸). با این که این پاتوژن در برابر حرارت مقاوم نیست، ولی برخی از گونه‌های آن در دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد هم زنده می‌مانند (۱۵). سالمونلا در محصول نهایی هر دو توده ۲/۱ و ۳/۱ به حد غیر قابل تشخیص رسید (جدول ۱). مطالعه CG و همکاران که بر روی کمپوست زایدات خوک صورت گرفت، مقادیر اشرشیاکلی و انتروکوکوس زیر حد قابل تشخیص گزارش شد و سالمونلا نیز در محصول نهایی مشاهده نگردید (۱۶).

توده ۲/۱ در مطالعه حاضر تنها ارتباط بین کلیفرم‌های کل و pH نشان داد، اما توده ۳/۱ ارتباط مستقیم بین کلیفرم‌های کل با رطوبت و ارتباط معکوس با دما داشت. اگرچه ارتباط آماری فوق فقط برای کلیفرم‌های کل مشاهده گردید، اما تمام باکتری‌های مورد بررسی نسبت به افزایش دما و کاهش رطوبت حساس بودند و مقادیر آن‌ها با تغییرات این دو پارامتر کاهش می‌یافت. همچنین، رابطه‌ای معکوس بین pH و سالمونلا مشاهده شد. نافذ و همکاران در مطالعه‌ای بر روی کمپوست زایدات شهری مشخص نمودند که تأثیر دمای ایجاد شده در مرحله ترموفیلیک بر روی سالمونلا کمتر از pH می‌باشد و کاهش سالمونلا در مرحله تثبیت به دلیل ایجاد شرایط قلیایی در کمپوست است (۱۵).

مقدار سالمونلا بر اساس رهنمودهای سازمان EPA (Environmental Protection Agency) و سازمان محیط زیست کشور ایران در مورد محصول نهایی کمپوست باید کمتر از MPN ۳ در ۴ گرم کمپوست خشک و مقدار کلیفرم‌های مدفوعی MPN ۱۰۰۰ در هر گرم وزن خشک کمپوست باشد (۲۰). بنابراین، هر دو توده (به خصوص توده ۳/۱) استاندارد محیط زیست کشور ایران و سازمان EPA را دارا بودند.

## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تغییرات میکروبی طی فرایند کمپوست سازی لجن هضم شده بی‌هوازی همراه با زایدات سبز باغبانی به عنوان عوامل حجیم کننده، نشان داد



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]

کـه تـوده‌هـای ۲/۱ و ۳/۱ در دسـتیابی بـه فـاز ترموفیلیـک و نـابودی میکـرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا موفق بودند. تعداد کلیفرم‌هـای مـدفوعی و سـالمونلا در کمپوست نهایی این توده‌ها به مقدار بسیار پایین یا حد غیر قابل تشخیص رسید. بنابراین، استفاده از این کمپوست در زمین‌های کشاورزی، چمن‌ها و باغ‌ها از نظر میکروبی بلامانع می‌باشد.


## تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقـاتی مصـوب در معاونـت پژوهشـی دانشـگاه علـوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان این مقالـه از معاونـت محتـرم پژوهشی دانشگاه مطبوع بـه دلیـل تـأمین بودجـه طـرح تحقیقـاتی بـه شـماره ۳۹۲۲۸۲ تشکر می‌نماید.


## References


1. Wery N, Lhoutellier C, Ducray F, Delgenes JP, Godon JJ. Behaviour of pathogenic and indicator bacteria during urban wastewater treatment and sludge composting, as revealed by quantitative PCR. Water Res 2008; 42(1-2): 53-62.
2. Cukjati N, Zupancic GD, Ros M, Grilc V. Composting of anaerobic sludge: an economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. J Environ Manage 2012; 106: 48-55.
3. Szabova E, Juris P, Papajova I. Sanitation composting process in different seasons. Ascarissuum as model. Waste Manag 2010; 30(3): 426-32.
4. Maeda K, Hanajima D, Morioka R, Osada T. Characterization and spatial distribution of bacterial communities within passively aerated cattle manure composting piles. BioresourTechnol 2010; 101(24): 9631-7.
5. Tian W, Li L, Liu F, Zhang Z, Yu G, Shen Q, et al. Assessment of the maturity and biological parameters of compost produced from dairy manure and rice chaff by excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy. BioresourTechnol 2012; 110: 330-7.
6. Wang K, Li W, Guo J, Zou J, Li Y, Zhang L. Spatial distribution of dynamics characteristic in the intermittent aeration static composting of sewage sludge. BioresourTechnol 2011; 102(9): 5528-32.
7. Ros M, Garcia C, Hernandez T. A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: kinetic changes in chemical and microbial properties. Waste Manag 2006; 26(10): 1108-18.
8. Bernal MP, Alburquerque JA, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review.BioresourTechnol 2009; 100(22): 5444-53.
9. Bustamante MA, Moral R, Paredes C, Vargas-Garcia MC, Suarez-Estrella F, Moreno J. Evolution of the pathogen content during co-composting of winery and distillery wastes. BioresourTechnol 2008; 99(15): 7299-306.
10. Tonner-Klank L, Moller J, Forslund A, Dalsgaard A. Microbiological assessments of compost toilets: in situ measurements and laboratory studies on the survival of fecal microbial indicators using sentinel chambers. Waste Manag 2007; 27(9): 1144-54.
11. Hassen A, Belguith K, Jedidi N, Cherif A, Cherif M, Boudabous A. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. BioresourTechnol 2001; 80(3): 217-25.
12. Thompson W, Leege P, Millner P, Watson M. Test methods for the examination of composting and compost. Bethesda, MD: The United States Composting Council; 2003.
13. Eaton AD, Franson MA. Standard methods for the examination of water & wastewater. Washington, DC: American Public Health Association; 2005.p. 48-9, 86-9.
14. Vinneras B, Jonsson H. The performance and potential of faecal separation and urine diversion to recycle plant nutrients in household wastewater.BioresourTechnol 2002; 84(3): 275-82.
15. Nafez AH, Nikaeen M, Nabavi BF, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A. Evaluate the change in population of coliform bacteria and Salmonella spp. in composting process of municipal wastes. J Health Syst Res 2013; 9(8): 837-50. [In Persian].
16. Mc CG, Lawlor PG, Coffey L, Nolan T, Gutierrez M, Gardiner GE. An assessment of pathogen removal during composting of the separated solid fraction of pig manure.BioresourTechnol 2011; 102(19): 9059-67.
17. Rihani M, Malamis D, Bihaoui B, Etahiri S, Loizidou M, Assobhei O. In-vessel treatment of urban primary sludge by aerobic composting. BioresourTechnol 2010; 101(15): 5988-95.
18. Saha JK, Panwar N, Singh MV. An assessment of municipal solid waste compost quality produced in different cities of India in the perspective of developing quality control indices. Waste Manag 2010; 30(2): 192-201.
19. Environmental Protection Agency. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge [Online]. [cited 2003]; Available from: URL: https://www.epa.gov/biosolids/control-pathogens-and-vector-attraction-sewage-sludge.




[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]

**Journal of Health System Research**
Received: 15.02.2015
**Vol. 12, No. 2, Summer 2016**
Accepted: 28.09.2015

# Monitoring of Indicator and Pathogenic Bacteria during Sewage Sludge Composting Process

**Safora Kadkhodaei[1], Mahnaz Nikaeen[2], Maryam Hatamzadeh[3], Amir Hossein Nafez[4], Akbar Hassanzadeh[5]**

**Original Article**

## Abstract

**Background:** Changes in indicator and pathogenic microorganisms in composting process can reflect the progression of the composting process and the quality of the final product. The purpose of this study was to determine the population changes in indicator and pathogenic microorganisms in anaerobically digested sewage sludge (SS) composting process.

**Methods:** In the present study, 3 windrow piles were prepared by mixing green waste as bulking agent with anaerobically digested SS with volumetric ratios of 1:1, 2:1, and 3:1. A pile of SS was also formed without any bulking agent as control. The sampling of compost piles was performed during 3 months of the composting process. Compost samples were analyzed for physicochemical and microbial parameters.

**Findings:** The results showed that temperature in the sludge pile did not achieve thermophilic phase. In addition, the 1:1 pile had shorter thermophilic phase than 2:1 and 3:1 piles. At the beginning of composting, the total number of coliforms, fecal coliforms, and fecal streptococci were about $10^9$, $10^8$, and $10^5$ MPN/gDW, respectively, in 2:1 and 3:1 piles. The number of microorganisms decreased during termophilic phase and reached very low or undetectable concentrations for fecal coliforms and about 100 MPN/gDW for fecal streptococci in these piles. Salmonella decreased with the rising of temperature and reached undetectable concentrations after 19 and 47 days in 3:1 and 2:1 piles, respectively.

**Conclusion:** The microbial assay of the composting process and final products showed that the 2:1 and 3:1 pile achieved thermophilic phase and were successful in the removal of pathogens. Therefore, the agricultural application of the SS composted can be authorized from a microbial point of view.

**Keywords:** Composting, Sewage sludge, Indicator and pathogenic bacteria

**Citation:** Kadkhodaei S, Nikaeen M, Hatamzadeh M, Nafez AH, Hassanzadeh A**. Monitoring of Indicator and Pathogenic Bacteria during Sewage Sludge Composting Process.** J Health Syst Res 2016; 12(2): 160-5.

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
4- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
5- Lecturer, Department of Statistics and Epidemiology, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
**Corresponding Author:** Mahnaz Nikaeen, Email: nikaeen@hlth.mui.ac.ir



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]