مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۷۳۵ تا ۷۴۶

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

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات فصلی الگوی تراکم و تنوع جمعیت قارچی در هوای پیرامون کارخانه کمپوست

فریبا عباسی[۱]، محمدرضا سمایی[۱،*]، ماهرخ جلیلی[۲]، حسین خدادادی[۳]، علی کریمی[۴]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
۲- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۳- گروه انگل‌شناسی و قارچ‌شناسی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
۴- گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۰۴
تاریخ ویرایش: ۹۹/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۷
تاریخ انتشار: ۹۹/۱۲/۲۷

واژگان کلیدی: قارچ‌های مزوفیل، قارچ‌های ترموفیل، کمپوست، تغییرات فصلی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
mrsamaei@sums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر فصل بر روی تراکم و تنوع گونه‌های هوابرد قارچی از فرایند کمپوست‌سازی است.

روش بررسی: نمونه‌ها براساس روش NIOSH ۰۸۰۰ در ارتفاع ۱/۵ m از سطح زمین طی فرایند تفکیک پسماند، همزدن ویندرو و سرند کمپوست رسیده گرفته شد. نمونه‌های هوا در دو فصل تابستان (۱۰۸ نمونه) و زمستان (۱۰۸ نمونه) در کارخانه کمپوست‌سازی در شیراز برداشته شد. محیط کشت شامل سابورود دکستروز آگار (Sabaroud Dextrose Agar) بوده که پس از نمونه‌برداری در دمای ۳۷ °C ۴۵-۳۷ انکوبه گردید. نتایج توسط آزمون t-test در MATLAB نسخه ۲۰۱۸ آنالیز شدند.

یافته‌ها: طی تفکیک پسماند و سرند توده کمپوست رسیده، تنوع قارچی در تابستان بیشتر از زمستان بود ($p<۰/۰۵$). گونه غالب به ترتیب آسپرژیلوس فلاووس (CFU/m^3 ۴۴۴۹/۸) ($p<۰/۰۵$) و گونه‌های پسیلیومایسس (CFU/m^3 ۱۸۵۰/۹) ($p<۰/۰۵$) بودند. در حالی‌که تنوع گونه‌های قارچی در زمان به همزدن توده ویندرو در زمستان بیشتر از تابستان ($p<۰/۰۵$) و گونه غالب، مخمر(CFU/m^3 ۴۲۰/۶) بود. در تمام مراحل کمپوست‌سازی تنوع گونه‌های قارچی ترموفیل در تابستان بیشتر از زمستان بوده و ارتباط مستقیم و مثبتی با دما و رطوبت داشته است. به‌طوری‌که در زمستان، تنها گونه آسپرژیلوس فومیگاتوس در طی به همزدن توده‌های ویندرو شناسایی شد (CFU/m^3 ۴۳۳/۴۶).

نتیجه‌گیری: از آنجائی‌که تراکم و تنوع قارچ‌های مزوفیل در تابستان بیشتر از زمستان بوده و در تمام مراحل کمپوست‌سازی غلظت گونه آسپرژیلوس از محدوده مجاز و رهنمودهای EPA, ACGIH, NIOSH و EU بالاتر بوده، تمهیدات لازم فردی و اقدامات مربوط به حذف اسپورهای قارچی از هر دو محیط ضروری است.

Please cite this article as: Abbasi F, Samaee MR, Jalili M, Khodadadi H, Karimi A. Investigation of seasonal changes in the density and diversity pattern of fungal populations in the compost plant air. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):735-46.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

مقدمه

تولید کمپوست به شکل روباز یکی از روش‌های مدیریت پسماند است که در طی آن، مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌گردد. در این فرایند پس از تفکیک پسماند مخلوط، مواد آلی در توده‌های ویندرو قرار گرفته و پس از گذراندن دوره زمانی مشخص، وارد مرحله تثبیت و رسیدگی کمپوست می‌شود (۱). در این سه فرایند با توجه به زمان ماند و نوع مواد ورودی، گونه‌های خاصی از میکروارگانیسم‌ها غلبه دارند. به‌طوری‌که در ابتدای ویندرو، باکتری‌هایی غلبه داشته که مواد آلی ساده را تجزیه نموده و دمای توده را به شدت بالا می‌برند (۲). به دنبال آن، ممکن است شرایط بی‌هوازی در توده‌ها ایجاد شود که خود عامل محدودکننده تجزیه میکروبی و همچنین انتشار بو در محیط است (۳). در این شرایط توده‌ها به همزده می‌شوند تا در نتیجه تبادل حرارت، اکسیژن به نقاط مختلف توده نیز انتشار یابد. با این حال در طی به همزدن توده، انواع آلودگی‌ها و مواد خطرناک به محیط منتشر می‌شود (۱). یکی از آلاینده‌ها جمعیت، میکروبی درون توده‌هاست که نقش عمده‌ای در التهابات و عوارض ریوی در جمعیت در معرض مانند جمعیت کارگری و جوامع مسکونی ساکن در نزدیکی مراکز کمپوست‌سازی دارد (۴). هر چند که در این مرحله گونه‌های باکتریایی غالب هستند اما انتشار قارچ‌های ساپروفیت یکی از مشکلات سلامتی و زیبایی شناختی است. زیرا اسپورهای قارچی به دلیل سبک بودن، به راحتی در محیط منتشر می‌گردد. در سایر مراحل کمپوست‌سازی نیز به دلیل عملیات به همزدن پسماند خام و سرند کردن توده کمپوست تثبیت شده، قارچ‌ها به هوای اطراف نیز منتشر می‌گردد. زیرا قارچ‌ها ساپروفیت بوده و به دلیل زمان ماندی که پسماند قبل از ورود به سایت کمپوست‌سازی داشته، محل مناسبی برای رشد این میکروارگانیسم‌ها است (۵). از طرف دیگر در طی فرایند کمپوست‌سازی و بلوغ کمپوست، به‌تدریج قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها غالب شده که عامل رسیدگی و ضدعفونی‌کنندگی توده است (۶). تعداد و نوع قارچ‌های موجود در محیط کمپوست‌سازی بستگی شدیدی به نوع کمپوست، عوامل بهره‌برداری و کاربرد نهایی آن دارد. به طوری‌که در مطالعات مشخص شده نوع کمپوست عامل موثری در تغییر پروفایل تراکم و تنوع قارچ‌های هوابرد منتشره از توده‌های کمپوست است (۷). همچنین عوامل هواشناسی نیز به عنوان یک پارامتر موثر در انتشار آلاینده‌های بیولوژیکی کمپوست است (۸). به طوری‌که فصول مختلف سال، اختلاط پسماند و مراحل مختلف کمپوست‌سازی و محل نمونه‌برداری بر روی تنوع بیوآئروسل‌ها اثرگذار است (۹). در مطالعاتی در سایر مناطق جهان، تراکم و تنوع قارچ‌ها در شرایط کمپوست‌سازی روبسته بالاتر از روباز بوده است (۱۰). همچنین در شرایط انجام عملیات کمپوست‌سازی نسبت به شرایط زمینه، تراکم قارچ‌ها بیشتر بوده و گونه غالب در آنها پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس بوده است (۱۱، ۱۲). علاوه بر این، شرایط آب و هوایی به عنوان عامل موثری در انتشار گونه‌هایی مانند آلترناریا و موکورال در هوای محیطی در طی تغییر فصل سال بوده است (۱۳). با این حال مطالعات کمتری در ایران بر روی تغییر پروفیل نوع گونه‌های قارچی در فصول مختلف سال بررسی شده است. در چندین مطالعه تنها بر روی تراکم و تنوع قارچها در محیط کمپوست‌سازی در مناطق مختلف ایران بررسی‌هایی صورت گرفته است. در این مطالعات در یک مقطع زمانی نمونه برداری از قارچ‌های هوابرد در طی مراحل مختلف تولید کمپوست انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان داده که غلظت قارچها در شرایط معمول کمتر از $1000\ CFU/m^3$ بوده است. اما در طی فرایند به همزدن توده کمپوست اختلاف چشمگیری با شرایط قبل از این عملیات داشته است (۱۴، ۱۵). همچنین توزیع جغرافیایی گونه‌های قارچی در ایران مطالعه شده است (۱۶). با این حال اثر پارامترهای هواشناسی موثر بر رشد و تنوع قارچی کمتر مورد توجه بوده است. بدین ترتیب هدف از این مطالعه بررسی تغییرات تراکم و تنوع

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

قارچ‌های هوابرد مزوفیل و مقاوم به حرارت در مراحل مختلف کمپوست‌سازی در طی دو فصل مختلف در شیراز بوده است.

مواد و روش‌ها

محیط پژوهش در این مطالعه هوای کارخانه کمپوست واقع در ۱۱ km جنوب شرقی شیراز بوده است. در این کارخانه، پسماندهای جمع‌آوری شده شهر شیراز منتقل می‌گردد. در سال ۹۲ خط تفکیک پسماند به ظرفیت ۲۵۰ ton/day راه‌اندازی گردید که مواد قابل بازیافت و قابل کمپوست شدن را جداسازی می‌کند. خط تولید کمپوست نیز در این مدت راه‌اندازی شده است. پسماندهای دیگر که قابلیت بازیافت و کمپوست شدن ندارند در لندفیل دفع می‌شوند. جمعیت مورد مطالعه، مراحل مختلف کمپوست‌سازی شامل تفکیک اولیه، به همزدن کمپوست و غربال کردن بوده است. در هر فرایند کمپوست‌سازی، نمونه‌های هوا در دو فصل تابستان و زمستان برداشته شد.

- نمونه‌برداری از هوای پیرامون

به منظور نمونه‌برداری از بیوآئروسل‌ها در این طرح روش NIOSH ۰۸۰۰ مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷). نمونه‌برداری در ارتفاع ۱/۵ m (ناحیه تنفسی انسان) انجام شد (۱۸). برای نمونه‌برداری از محیط کشت سابورود دکستروزآگار (Sabaroud Dextrose Agar) و پمپ نمونه‌برداری محیطی Thermo Andersen مدل ۷۰-۷۱۰ با دبی ۲۸/۳ L/min استفاده شد. مدت زمان نمونه‌برداری ۱-۱۰ min براساس مطالعات پایلوت انجام شده در طی مراحل خردکردن، به همزدن توده، ذخیره کردن کمپوست نیز نمونه‌برداری صورت گرفت (۱۹). نمونه‌برداری در دو نوبت تابستان و زمستان بوده که در هر فصل، ۳ ماه نمونه‌برداری انجام شد. مطابق با استاندارد ذکر شده، نمونه‌ها با تناوب هفتگی برداشته شد و مجموعا ۱۲ روز در هر فصل نمونه‌برداری انجام شد. در هر کدام از مراحل کمپوست‌سازی و در هر بار نمونه‌برداری ۳ نمونه و یک نمونه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (۹). تعداد کل نمونه‌های اصلی در فصل تابستان ۱۰۸ و در فصل زمستان نیز ۱۰۸ بوده است. همچنین در هر فصل تعداد ۳۶ نمونه شاهد آنالیز گردید. داده‌های مربوط به شرایط فیزیکی و دمایی فضاهای کاری در برگه‌های مخصوصی ثبت گردید. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها عایق بندی گردیده تا امکان آلودگی مجدد کاهش یابد. سپس در دمای ۴ ^{o}C توسط جعبه سرد به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت بهبود کنترل کیفی نمونه‌ها، نمونه شاهد در طی فرایند انتقال به آزمایشگاه نیز مورد استفاده قرار گرفت.

- آنالیزهای میکروبی

محیط کشت مورد استفاده در این مطالعه، سابورود دکستروز آگار غنی شده با کلرامفنیکل جهت ممانعت از رشد باکتری‌ها بوده است. در این مطالعه پلیت‌ها را بعد از نمونه‌برداری در دو دمای ۳۷ و ۴۵ ^{o}C در انکوباتور گذاشته شد. مدت زمان انکوبه شدن بسته به نوع گونه قارچی از ۲ الی ۷ روز متغیر بود. سپس براساس ویژگی‌های مرفولوژیکی و میکروسکوپی گونه‌های قارچی، کلنی‌ها خالص سازی شد. پس از آن گونه‌ها با استفاده از روش گسترش روی لام شناسایی شد. پس از رشد کلنی‌ها، با لاکتوفنل‌کاتن‌بلو رنگ‌آمیزی شده و سپس با بزرگنمایی ۴۰۰ توسط میکروسکوپ‌های نوری شناسایی شدند.

- اطلاعات هواشناسی

در این مطالعه در زمان نمونه‌برداری از قارچ‌های هوابرد، دما و رطوبت محل نمونه‌برداری به ترتیب با استفاده از دماسنج و رطوبت سنج چرخان اندازه گیری شد. همچنین اطلاعات هواشناسی شامل میانگین، حداقل و حداکثر دما و رطوبت از ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی مستقر در نزدیک‌ترین فاصله به محل نمونه‌برداری دریافت گردید.

- تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از آمار توصیفی آنالیز شد. غلظت گونه‌های قارچی در هر کدام از مراحل کمپوست‌سازی با استفاده از آمار توصیفی مانند میانگین

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

و انحراف معیار بیان شدند. اختلاف بین تراکم قارچها در هر مرحله و در طی فصل تابستان و زمستان توسط t-test تعیین گردید. تجزیه و تحلیل دادهها در نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۸ انجام شد.

یافتهها

در این مطالعه اثر تغییر فصل بر گونههای قارچی مزوفیل و ترموفیل در هوای کارخانه کمپوست مورد بررسی قرار گرفت. تراکم کل قارچهای مزوفیل و ترموفیل برداشت شده از تمام مراحل کمپوستسازی در فصل تابستان به ترتیب برابر با ۱۳۷۷۵ و ۵۵۷ CFU/m^3 بوده است. تراکم کل قارچهای مزوفیل و ترموفیل در فصل تابستان در طی فرایندهای جداسازی به ترتیب برابر با ۹۸۸۴ و CFU/m^3 ۸۳، به همزدن توده ویندرو برابر با ۱۱۹۸، ۲۹۴ CFU/m^3 و در طی مرحله تثبیت کمپوست به ترتیب برابر با۲۶۹۲ و ۱۷۸ CFU/m^3 بوده است. نمونههای برداشت شده از فصل زمستان نیز نشان داده که تراکم کل قارچهای مزوفیل و ترموفیل از تمام مراحل کمپوستسازی به ترتیب برابر با ۸۳۸۸ و ۴۳۳ CFU/m^3 بوده است. همچنین تراکم کل قارچهای مزوفیل در فصل زمستان در طی فرایندهای جداسازی، به همزدن توده کمپوست و در طی فرایند تثبیت کمپوست به ترتیب برابر با ۶۳۷۶، ۱۹۰۴ و ۱۰۶ CFU/m^3 بوده است. گونههای قارچی ترموفیل نیز در فصل زمستان در طی فرایند به همزدن توده ویندرو شناسایی شده که غلظت آنها برابر با ۴۳۳ CFU/m^3 بوده است. علاوه بر این، تراکم قارچها در نمونه شاهد اختلاف معنیداری با نمونههای اصلی داشته است. بهطوریکه در تمام نمونههای شاهد، میانگین تراکم قارچهای مزوفیل و ترموفیل کمتر از ۲ CFU/m^3 بوده است.

با توجه به اهمیت و اثر شرایط آب و هوایی بر تراکم و شرایط رشد و بقا قارچهای هوابرد، در این مطالعه اطلاعات مربوط به دما و رطوبت بررسی و ارتباط آن با نتایج حاصل از این مطالعه بررسی گردید. در جدول ۱، اطلاعات مربوط به میانگین، حداقل و حداکثر دما و رطوبت در منطقه مورد بررسی بیان شده است.

مطابق جدول ۱، دما در تابستان بالاتر از زمستان بوده در حالیکه رطوبت در زمستان بالاتر بوده است. همچنین نتایج آنالیز آماری نشان داده بین افزایش دما در فصل تابستان و افزایش غلظت قارچها رابطه مستقیمی وجود داشته است ($R = ۰/۶۷$). همچنین افزایش رطوبت در فصل زمستان نیز عامل موثری در افزایش تراکم و حتی غلبه گونههای خاصی از قارچها بوده است ($R = ۰/۷۴$).

در نمودار ۱، تغییرات در تراکم و تنوع قارچهای مزوفیل در دو فصل تابستان و زمستان در محل تفکیک اولیه پسماند نشان داده شده است.

همانگونه که در نمودار ۱ نشان داده شده است، تنوع گونههای قارچی در تابستان بیشتر از زمستان بوده است. به طوریکه در تابستان گونههای آسپرژیلوس فومیگاتوس (Aspergillus fumigatus)، آسپرژیلوس فلاووس (Aspergillus flavus) و آسپرژیلوس نایجر (Aspergillus niger)، مخمر (Yest)، جنس موکورال (Mucorales) و پسیلیومایسس (Paecilomyces) شناسایی شده است. در حالیکه در زمستان گونههای آسپرژیلوس (فومیگاتوس، فلاووس و نایجر) و پنیسیلیوم

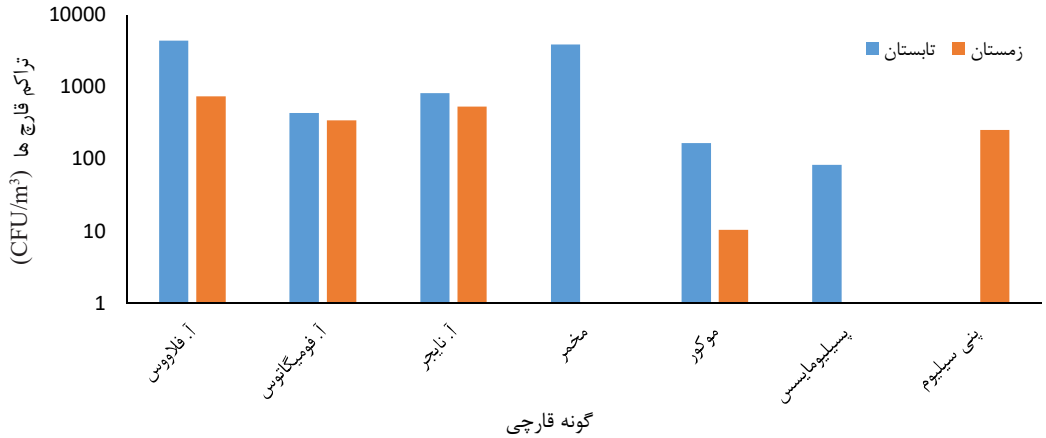
جدول ۱- دما و رطوبت در دو فصل مختلف در منطقه مورد بررسی

فصل سال	حداکثر رطوبت	حداقل رطوبت	میانگین رطوبت	حداکثر دما	حداقل دما	میانگین دما
تابستان	۴۰/۴۸	۷/۴۶	۲۳/۹۷	۳۶/۸۱	۱۹/۶	۲۸/۲
زمستان	۷۷/۷۳	۲۵/۹۶	۱۵/۸۴	۱۶/۶۹	۲/۱۶	۹/۵۶

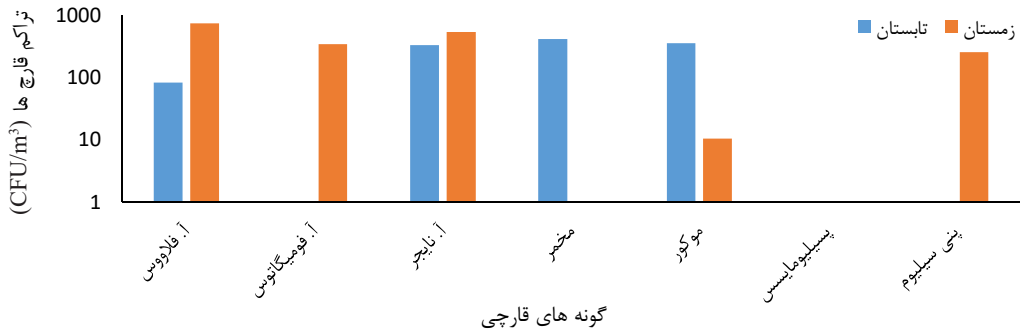
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

(Penicillum) شناسایی شده است. همچنین غلظت قارچهای مزوفیل در تابستان بیشتر از زمستان بوده است ($p<۰/۰۵$).

بیشترین غلظت قارچهای مزوفیل در فصل تابستان مربوط به آسپرژیلوس فلاووس ($۴۴۴۹/۸ CFU/m^3$) ($p< ۰/۰۵$) و موکورال ($۳۹۱۲/۵ CFU/m^3$) ($p< ۰/۰۵$) بوده است. این در حالی است که در زمستان غلبه گونه‌های آسپرژیلوس فلاووس ($۷۵۰/۶ CFU/m^3$) ($p<۰/۰۵$) و نایجر ($۵۳۹/۲ CFU/m^3$) ($p<۰/۰۵$) بیشتر بوده است. در نمودار ۲، تغییرات کمی و کیفی گونه‌های قارچی مزوفیل در دو فصل تابستان و زمستان در طی به همزدن توده‌های ویندرو کمپوست نشان داده شده است.



نمودار ۱- تغییرات در تراکم و تنوع قارچهای مزوفیل در دو فصل تابستان و زمستان در محل تفکیک اولیه پسماند



نمودار ۲- تغییرات گونه‌های قارچی مزوفیل در دو فصل تابستان و زمستان در طی به همزدن توده‌های ویندرو کمپوست

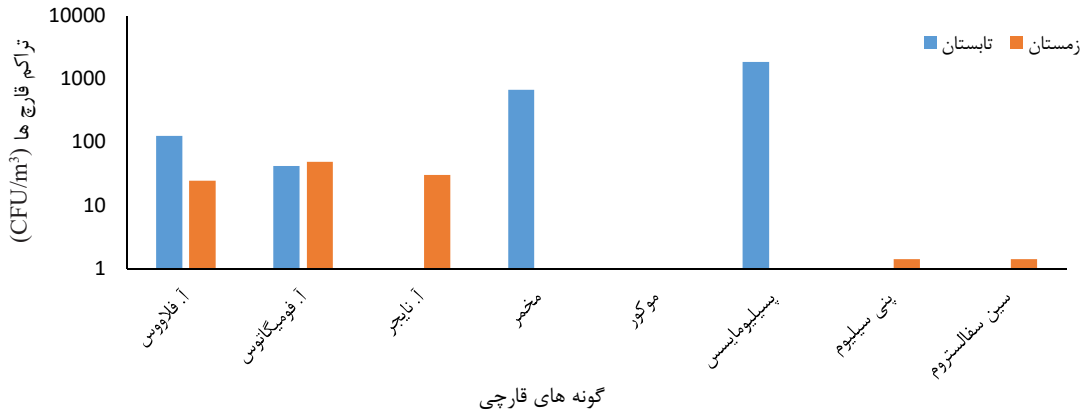
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

همانگونه که در نمودار ۲ نشان داده شده است، در فصل تابستان گونه‌های مخمر (۴۲۰/۶ CFU/m^3)، موکورال (۳۵۷/۶ CFU/m^3)، آسپرژیلوس نایجر (۳۳۶/۵ CFU/m^3) و آسپرژیلوس فلاووس (۸۴/۱ CFU/m^3) شناسایی شده است. اما در زمستان گونه‌های آسپرژیلوس شامل آ.فلاووس (۷۵۰/۶ CFU/m^3)، آ.نایجر (۵۳۹/۲ CFU/m^3) و آ.فومیگاتوس (۳۴۷/۹۹ CFU/m^3)، پنی‌سیلیوم (۲۵۶/۲ CFU/m^3) و موکورال (۱۰/۶ CFU/m^3) بوده است. تغییرات گونه‌های قارچی مزوفیل در هوای اطراف محل تثبیت کمپوست در هر دو فصل تابستان و زمستان در نمودار ۳ نشان داده شده است.

مطابق نمودار ۳، هر چند که تنوع گونه‌های قارچی مزوفیل در زمستان بیشتر از تابستان بوده است. اما در تابستان تراکم قارچها بیشتر از زمستان بوده است ($p < ۰/۰۵$). به طوری‌که در تابستان تراکم گونه‌های پسیلیومایسس، مخمر، آ.فلاووس و آ.فومیگاتوس به ترتیب برابر با ۱۸۵۰/۹ CFU/m^3، ۶۷۳/۱ CFU/m^3، ۱۲۶/۲ CFU/m^3 و ۴۲/۱ CFU/m^3 بوده است. قابل ذکر است که در زمستان تنها غلظت گونه‌های آ.فومیگاتوس و آ.نایجر به ترتیب برابر با ۴۹CFU/m^3 و ۳۰/۶CFU/m^3 بوده و تراکم بقیه گونه‌ها شامل آ.فلاووس، پنی‌سیلیوم و سین‌سفالستروم (Syncephalastrum) ناچیز بوده است.

گونه غالب در هوای محل تثبیت در تابستان مربوط به گونه پسیلیومایسس بوده است که تراکم آن از محدوده مجاز شغلی و محیطی سازمان‌های $EPA < ۱۰۰۰ CFU/m^3$، $ACGIH < ۱۰۰۰ CFU/m^3$، $NIOSH = ۱۰۰-۱۰۰۰ CFU/m^3$ بالاتر بوده است (۲۰). تغییرات گونه‌های مقاوم به حرارت در هوای اطراف مراحل کمپوست‌سازی در طی تغییر فصل در جدول ۲ بیان شده است.

همانگونه که در جدول ۲ بیان شده، در تمام مراحل کمپوست‌سازی تنوع گونه‌های قارچی در تابستان بیشتر از زمستان بوده است. به طوری‌که در زمستان، تنها گونه آسپرژیلوس فومیگاتوس در طی به همزدن توده‌های ویندرو شناسایی شده است (۴۳۳/۴۹ CFU/m^3). در مقایسه با نتایج فصل زمستان، در تابستان گونه‌های آسپرژیلوس فومیگاتوس، موکورال و پسیلیومایسس در هوای کارخانه شناسایی شده است. همچنین گونه آسپرژیلوس فومیگاتوس در هر سه مرحله تفکیک (۴۱/۹ CFU/m^3)، ویندرو (۴۲/۱ CFU/m^3) و تثبیت (۱۰/۵ CFU/m^3) به درون هوا منتشر می‌شود. در حالی‌که غلظت گونه موکورال در هنگام به همزدن توده ویندرو (۲۵۲/۴ CFU/m^3) و تثبیت (۱۶۸/۳ CFU/m^3) بسیار بالاتر از سایر گونه‌های مقاوم به حرارت بوده است ($p < ۰/۰۵$).



نمودار ۳- تغییرات گونه‌های قارچی مزوفیل در هوای اطراف محل تثبیت کمپوست در هر فصل تابستان و زمستان

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

جدول ۲- تغییرات تراکم گونه‌های قارچی مقاوم به حرارت در هوای اطراف مراحل کمپوست‌سازی

فصل / مراحل کمپوست‌سازی	زمستان (CFU/m^3)			تابستان (CFU/m^3)		
	پسیلیومایسس	موکورال	آ. فومیگاتوس	پسیلیومایسس	موکورال	آ. فومیگاتوس
تفکیک	۰	۰	۰	۴۱/۹۷۹	۰	۴۱/۹۷۹
ویندرو	۰	۰	۴۳۳/۴۶۰۵	۰	۲۵۲/۳۹۷۸	۴۲/۰۶۶۳
تثبیت	۰	۰	۰	۰	۱۶۸/۲۶۵۲	۱۰/۵۱۶۵۷

بحث

هدف از این مطالعه بررسی تغییرات گونه‌های قارچی در دو فصل تابستان و زمستان در هوای کارخانه کمپوست‌سازی در طی مراحل کمپوست‌سازی در منطقه جنوب غربی ایران بوده است. در این مطالعه تنوع گونه‌های قارچی در تابستان بیشتر از زمستان بوده است. به طوری‌که در تابستان گونه‌های آسپرژیلوس (فومیگاتوس، فلاووس و نایجر)، مخمر، جنس موکورال و پسیلیومایسس شناسایی شده است. برخلاف این نتایج، در زمستان گونه‌های آسپرژیلوس (فومیگاتوس، فلاووس و نایجر) و پنی‌سیلیوم شناسایی شده است. همچنین غلظت قارچ‌های مزوفیل در تابستان بیشتر از زمستان بوده است ($p < ۰/۰۵$). در مطالعات گذشته نیز مشخص شده که عوامل هواشناسی عامل موثری در میزان انتشار قارچ‌های هوابرد از توده‌های کمپوست بوده است (۲۱). زیرا در تابستان نرخ تولید زباله و به تبع آن بار ورودی بر کارخانه کمپوست بالاتر از زمستان بوده است (۲۲) . همچنین در تابستان به دلیل دمای بالاتر هوا، نرخ تجزیه و رشد میکروارگانیسم‌ها از جمله قارچ‌ها در توده در حال کمپوست شدن بیشتر از زمستان بوده است (۲۳). علاوه بر این، در تابستان به دلیل جریان همرفتی و اختلاط موثر هوا، توربلانس هوا بالاتر بوده که در انتشار اسپورهای قارچی نیز موثر است (۲۴). زیرا شاخص هوابرد شدن گونه‌های آسپرژیلوس بالا است. در مجموع غلظت گونه‌های غالب در هر دو فصل تابستان و زمستان از استانداردهای ACGIH، NIOSH و EU ($۵۰۰ CFU/m^3$) (۲۵) تجاوز نموده است. در مطالعات دیگر نیز گزارش شده که محل تفکیک پسماند یکی از منابع اصلی انتشار آلودگی قارچی در محیط است (۴). با توجه به غلبه آ.فلاووس در محل تفکیک دستی پسماند و پتاسیل سرطان‌زائی آفلاتوکسین تولیدی توسط این گونه (۲۶) و همچنین عدم تمایل به استفاده از وسایل حفاظت فردی توسط کارگران به خصوص در فصل تابستان، احتمال مواجهه و بیماری‌زائی افراد با مایکوتوکسین‌ها به شدت بالا می‌رود. همچنین ارتباط مستقیم و مثبت بین پارامترهای هواشناسی از جمله رطوبت و دما و تراکم قارچ نشان داده که افزایش دما و رطوبت عوامل موثری در افزایش قارچ‌های هوابرد بوده است. در مطالعات پیشین نیز عوامل هواشناسی مانند دما، رطوبت و سرعت باد در میزان قارچ‌های انتشاری به هوا به خصوص در کارخانه‌های کمپوست‌سازی روباز عامل موثری بوده است (۲۱، ۲۵). با این حال، در زمستان با اینکه رطوبت افزایش یافته اما دما کمتر بوده و عکس این شرایط در فصل تابستان نیز صادق بوده است. بدین ترتیب، در فصل زمستان رطوبت بالاتر و دمای کمتر غالب بوده که عامل اول در افزایش تراکم قارچی و عامل دوم محدودکننده رشد قارچ‌ها است. در فصل تابستان نیز هرچند دمای بالاتر در افزایش رشد قارچی موثر است اما رطوبت پایین آن نیز می‌تواند محدودکننده رشد آنها باشد.

در مطالعه حاضر در فصل تابستان گونه‌های مخمر ($۴۲۰/۶ CFU/m^3$)، موکورال، آسپرژیلوس نایجر و آسپرژیلوس فلاووس شناسایی شد. در زمستان نیز گونه‌های آسپرژیلوس شامل آ.فلاووس ($۷۵۰/۶ CFU/m^3$)، آ.نایجر

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

(CFU/m^3 ۵۳۹/۲) و آ.فومیگاتوس، پنی‌سیلیوم و موکورال بوده است. با این حال تراکم این گونه‌ها در هر مرحله کمتر از رهنمودهای شغلی (IRSST (CFU/m^3 ۲۰۰۰>)، OSHA (CFU/m^3 ۱۰۰۰>) و NIOSH (CFU/m^3 ۱۰۰۰-۱۰۰) ACGIH بوده است. در سایر مطالعات نیز آسپرژیلوس یکی از گونه‌های غالب در هوای کمپوست‌سازی بوده است (۲۰، ۲۵)، زیرا شرایط رشد گونه‌های پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس در رطوبت بالاتر بیشتر است (۲۷). بدین ترتیب می‌توان انتظار داشت که در زمستان با وجود بارندگی در توده‌های روباز کمپوست‌سازی، غلظت بالاتری از آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم به هوا منتشر گردد. غلظت گونه‌های آسپرژیلوس نیز در زمستان بیشتر از تابستان بوده است ($p<0/05$). به طوری‌که حداکثر غلظت مربوط به آ.فلاووس بوده است ($p<0/05$). زیرا گونه‌های مزوفیل در دمای کمتر از $^{\circ}C$ ۳۷ رشد می‌کنند (۲۸). اما در دمای توده‌های ویندرو در فصول گرم به دلیل نرخ بالای تجزیه میکروبی در سایت کمپوست‌سازی بالاتر از $^{\circ}C$ ۶۵ می‌رسد (۲۳). بدین ترتیب، قارچ‌های مزوفیل در توده‌های ویندرو در زمستان که دمای کمتری داشته بهتر رشد می‌کنند (۲۹). این در حالیست که در تابستان امکان زنده ماندن گونه‌های قارچی به شدت کاهش یافته است. در تمام مراحل کمپوست‌سازی تنوع گونه‌های قارچی در تابستان بیشتر از زمستان بوده است. به طوری‌که در زمستان، تنها گونه آسپرژیلوس فومیگاتوس در طی به همزدن توده‌های ویندرو شناسایی شده است (CFU/m^3 ۴۳۳/۴۹). علاوه بر این گونه، در تابستان گونه‌های موکورال و پسیلیومایسس نیز در هوای کارخانه شناسایی شده است. همچنین گونه آسپرژیلوس فومیگاتوس در هر سه مرحله تفکیک (CFU/m^3 ۴۱/۹)، ویندرو (CFU/m^3 ۴۲/۱) و تثبیت (CFU/m^3 ۱۰/۵) به درون هوا منتشر شده است. با این حال غلظت آ.فومیگاتوس در هر مرحله کمتر از رهنمودهای شغلی بوده است. اما باید توجه داشت که غلظت گونه موکورال در هنگام به همزدن توده ویندرو (CFU/m^3 ۲۵۲/۴) و تثبیت (CFU/m^3 ۱۶۸/۳) بسیار بالاتر از سایر گونه‌های مقاوم به حرارت بوده است ($p<0/05$). زیرا اسپور گونه‌های موکورال بسیار سبک و هوابرد بوده که به سرعت در هوای محیط پراکنده می‌گردد. علاوه بر این، احتمال بیماری‌زائی در انسان ناشی از گونه‌های مقاوم به حرارت بیشتر است. زیرا این گونه‌ها توانایی زنده ماندن در دمای بدن انسان ($^{\circ}C$ ۳۷) را داشته و برای انسان بیماری‌زا هستند. همچنین پتانسیل بیماری‌زائی گونه‌های موکورال در بدن انسان بالا است. بدین ترتیب، خطر بیماری‌زائی در کارگران بخش ویندرو و تثبیت کمپوست بالا است (۱). بدین ترتیب تمهیدات لازم فردی و اقدامات مربوط به حذف اسپورهای قارچی از هر دو محیط ضروری است. در نهایت می‌توان بیان داشت در محل تفکیک پسماند تنوع گونه‌های قارچی در تابستان بیشتر از زمستان بوده است. به طوری‌که در تابستان گونه‌های آسپرژیلوس (فومیگاتوس، فلاووس و نایجر)، مخمر، موکورال و پسیلیومایسس شناسایی شده است. این در حالی است که در زمستان گونه‌های آسپرژیلوس و پنی‌سیلیوم شناسایی شده است. غلظت قارچ‌های مزوفیل در تابستان بیشتر از زمستان بوده است ($p<0/05$). بیشترین غلظت قارچ‌های مزوفیل در فصل تابستان مربوط به آسپرژیلوس فلاووس ($p<0/05$) و موکور ($p<0/05$) بوده اما در زمستان غلبه گونه‌های آسپرژیلوس فلاووس ($p<0/05$) و نایجر ($p<0/05$) بیشتر بوده است. در طی به همزدن توده‌های ویندرو، در فصل تابستان گونه‌های مخمر، موکورال و آسپرژیلوس نایجر غالب بوده است. درحالی‌که در زمستان گونه‌های آسپرژیلوس شامل آ.فلاووس، آ.نایجر و آ.فومیگاتوس و پنی‌سیلیوم تراکم بالاتری داشته است. این تفاوت در گونه‌های غالب در هر فصل علاوه بر وابستگی به شرایط آب و هوایی، می‌تواند به دلیل تغییر الگوی نوع تولید پسماند در جوامع نیز باشد که مطالعات بیشتر در این زمینه پیشنهاد می‌گردد. همچنین غلظت گونه‌های آسپرژیلوس در زمستان بیشتر از تابستان

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

بوده است (p<۰/۰۵). طی تثبیت توده‌های کمپوست، تراکم قارچ‌ها در تابستان بیشتر از زمستان بوده است (۰۵/ p<۰). زیرا در تابستان میزان تولید پسماند و نرخ ورود آن به سایت کمپوست‌سازی و به تبع آن میزان کمپوست تثبیتی بیشتر بوده است. همچنین دمای بالاتر توده تثبیت در تابستان به دلیل دمای بالاتر محیط، شرایط مناسبی برای رشد انواع قارچ‌ها فراهم شده است. به طوری‌که در تابستان گونه‌های پسیلیومایسس و مخمر غالب بوده است. با این حال در زمستان غلظت تمام گونه‌های آسپرژیلویس، پنی‌سیلیوم و سین‌سفالستروم ناچیز بوده است. زیرا مخمر و پسیلیومایسس در حضور مواد غذایی با رطوبت بالاتر مانند میوه و سبزیجات به سرعت رشد می‌نماید.

نتیجه‌گیری

در تمام مراحل کمپوست‌سازی تنوع گونه‌های قارچی ترموفیل در تابستان بیشتر از زمستان بوده و با افزایش دما و رطوبت رابطه مستقیمی داشته است. همچنین تنوع گونه‌های شناسایی شده در تابستان و زمستان اختلاف چشمگیری داشته است. علاوه بر این، تراکم و تنوع گونه‌های قارچی در طی مراحل مختلف کمپوست‌سازی شامل تفکیک، به همزدن توده کمپوست و غربال سازی کمپوست تثبیت شده در تابستان و زمستان بسیار متفاوت بوده‌اند. مطابق نتایج، هر چند غلظت برخی گونه‌ها از رهنمودهای شغلی کمتر بوده است اما در تمام مراحل کمپوست‌سازی غلظت گونه‌های غالب به‌خصوص آسپرژیلوس و برخی گونه‌های بیماری‌زا از رهنمودهای EPA, ACGIH, NIOSH و EU بالاتر بوده است. بدین ترتیب تمهیدات لازم فردی و اقدامات مربوط به حذف اسپورهای قارچی ضروری است. همچنین با توجه به غلظت بالای قارچ‌ها در محل تفکیک که به صورت دستی انجام می‌شود، طراحی و نصب سیستم تهویه مناسب پیشنهاد می‌گردد. هر چند که این مطالعه با هدف تعیین اختلاف بین تراکم و تنوع قارچ‌های هوابرد در دو فصل مختلف بوده است، اما محدودیت‌هایی داشته است. بدین ترتیب پیشنهاد می‌گردد اثر تغییرات برخی عوامل محیطی و بهره‌برداری بر روی قارچ‌ها و میزان وابستگی آن به این پارامترها از جمله سایر عوامل هواشناسی بررسی گردد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان این مقاله کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه مقاله، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی تراکم قارچ‌ها در توده کمپوست و هوای اطراف آن در کارخانه کمپوست شیراز" مقطع کارشناسی ارشد (در سال ۹۳ و کد ۷۳۰۸) است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی شیراز اجرا شده است. نویسندگان این مطالعه از دانشگاه علوم پزشکی شیراز به دلیل حمایت مالی از این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

References

1. Hashemi H, Abbasi F, Samaei Mohammad R, Khodadadi H. Determination of Fungi Species Variety in Thermal Phases of Compost Production and Related Operational Parameters. Journal of Environmental Engineering. 2018;144(8):04018065.
2. Colón J, Mestre-Montserrat M, Puig-Ventosa I, Sánchez A. Performance of baby biodegradable used diapers in the co-composting process with the organic fraction of municipal solid waste. Waste Management and Research. 2013;33:1097-103.
3. Albrecht A, Fischer G, Brunnemann-Stubbe G, Jäckel U, Kämpfer P. microorganisms, MVOC and odours in the surrounding of composting facilities. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2008;211(1-2):121-31.
4. Abbasi F, Samaei MR, Khodadadi H, Karimi A, Maleknia H. Effects of materials recovery facility construction on the releaseof fungal bioaerosols: A

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

case study in southern Iran. Fresenius Environmental Bulletin. 2016;25(5):1512-18.
5. Juan Antonio López-González MdCV-G, María José López, Francisca Suárez-Estrella, Macarena del Mar Jurado, Moreno. J. Biodiversity and succession of mycobiota associated to agricultural lignocellulosic waste-based composting. Bioresource Technology. 2015;187:305-13.
6. Rebollido R. JM, Y. Aguilera, K. Melchor, Koerner I, Stegmann. R. Microbial Populations during Composting Process of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Applied Ecology and Environmental Research. 2008;3:61-67.
7. Mbareche H, Veillette M, Bonifait L, Dubuisa M-E, Benard Y, Marchand G, et al. A next generation sequencing approach with a suitable bioinformatics workflow to study fungal diversity in bioaerosols released from two different types of composting plants. Science of the Total Environment 2017;601–602:1306-14.
8. Pankhurst LJ, Deacon LJ, Liu J, Drew GH, Hayes ET, Jackson S, et al. Spatial variations in airborne microorganism and endotoxin concentrations at green waste composting facilities. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2011;214(5):376-83.
9. Persoons R, Parat S, Stoklov M, Perdrix A, Maitre A. Critical working tasks and determinants of exposure to bioaerosols and MVOC at composting facilities. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2010;213(5):338-47.
10. Gladding T. Scoping study of potential health effects of fortnightly residual waste collection and related changes to domestic waste systems. UK: Waste Resources Action Programme; 2009.
11. López-González JA, del Carmen Vargas-García M, López MJ, Suárez-Estrella F, del Mar Jurado M, Moreno J. Biodiversity and succession of mycobiota associated to agricultural lignocellulosic waste-based composting. Bioresource Technology. 2015;187:305-13.
12. Awasthi MK, Pandey AK, Khan J, Bundela PS, Wong JW, Selvam A. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. Bioresource Technology. 2014;168:214-21.
13. Zhang X, Zhong Y, Yang S, Zhang W, Xu M, Ma A, et al. Diversity and dynamics of the microbial community on decomposing wheat straw during mushroom compost production. Bioresource Technology. 2014;170:183-95.
14. Yazdanbakhsh AR, Alinejad AA, Barafrashteh M, Hasani Gh, AghayaniE, S. FF. Determination of the biological aerosol emission in Kahrizak compost facility and provide suitable strategies. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences. 2013;5(4):881-89 (in Persian).
15. Abbasi F, Samaei MR, Khodadadi H, Karimi A, Ekhlasi J. Investigation of fungal bioaerosols in Shiraz composting facilities during 2017. Journal of Health Sciences & Surveillance System. 2017;5(1):7-14.
16. Hosseini-Shokouh SJ, Rahimi-Dehgolan S, Noorifard M, Dabbagh-Moghaddam A, Barati M, Tabibian E. The assessment of epidemiologic aspects of scabies in Iran's Army during 2004 to 2010. Annals of Military & Health Sciences Research. 2014;12(4):e62997.
17. National Institute for Occupational Safety & Health. Bioaerosol Sampling (Indoor Air), NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4th ed. Washington DC: NIOSH; 1998.
18. Gilbert Y, Veillette M, Duchaine C. Airborne bacteria and antibiotic resistance genes in hospital rooms. Aerobiologia. 2010;26(3):185-94.
19. Pankhurst LJ, Akeel U, Hewson C, Maduka I, Pham P, Saragossi J, et al. Understanding and mitigating the challenge of bioaerosol emissions from urban community composting. Atmospheric Environment. 2011;45(1):85-93.
20. He P, Wei S, Shao L, Lü F. Aerosolization behavior of prokaryotes and fungi during composting ofvegetable waste. Waste Management. 2019;89:103-13.
21. Williams B, Douglas P, Roca Barcelo A, Hansel AL, Hayes E. Estimating Aspergillus fumigatus exposure from outdoor composting activities in England between 2005 and 14. Waste Management. 2019;84:235-44.
22. Hashemi H, Hoseini M, Ebrahimi AA. Flat sheet membrane sequencing batch bioreactor for the re-

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

moval of coliforms and heavy metals from stabilized composting leachate. Journal of Environmental Engineering. 2018;144(4):04018015.
23. Nurisepehr M, Jorfi S, Kalantary RR, Akbari H, Soltani RDC, Samaei M. Sequencing treatment of landfill leachate using ammonia stripping, Fenton oxidation and biological treatment. Waste Management & Research. 2012;30(9):883-87.
24. Haas D, Galler H, Fritz C, Hasler C, Habib J, Reinthaler FF. Comparative study of impaction and sedimentation in an aerosol chamber using defined fungal spore and bacterial concentrations. PloS one. 2017;12(12):e0187039.
25. Robertson S, Douglas P, Jarvis D, Marczylo E. Bioaerosol exposure from composting facilities and health outcomes inworkers and in the community: A systematic review. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2019;222:364–86.
26. Freitas-Silva O, Venâncio A. Brazil nuts: Benefits and risks associated with contamination by fungi and mycotoxins. Food Research International. 2011;44(5):1434-40.
27. Abbasi F, Samaei MR. The effect of temperature on airborne filamentous fungi in the indoor and outdoor space of a hospital. Environmental Science and Pollution Research. 2019;26(17):16868-76.
28. Abbasi F, Samaei MR, Manoochehri Z, Jalili M, Yazdani E. The effect of incubation temperature and growth media on index microbial fungi of indoor air in a hospital building in Shiraz, Iran. Journal of Building Engineering. 2020;31:101294.
29. Soleimani Z, Goudarzi G, Naddafi K, Sadeghinejad B, Latifi SM, Parhizgari N, et al. Determination of culturable indoor airborne fungi during normal and dust event days in Ahvaz, Iran. Aerobiologia. 2013;29(2):279-90.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]

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

Orginal Article

Investigation of seasonal changes in the density and diversity pattern of fungal populations in the air around processing facilities of the composting plant

Fariba Abbasi[1], Mohammad Reza Samaei[1,*], Mahrokh Jalili[2], Hosein Khodadadi[3], Ali Karimi[4]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
2- Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
3- Department of Parasitology and Medical Mycology, School of Medicine, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
4- Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 23 January 2021
Revised: 14 March 2021
Accepted: 17 March 2021
Published: 17 March 2021

Keywords: Mesophilic fungi, Thermophilic fungi, Compost, Seasonal variation

***Corresponding Author:**
mrsamaei@sums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: The aim of this study was to investigate the effect of seasonal variation on the diversity of fungal airborne species in the composting process.

Materials and Methods: Samples were taken based on the 0800 NIOSH method at a height of 1.5 m above the ground during the waste separation, turning of windrow and stabilization of compost. Air samples were collected in two various seasons; summer (108 samples) and winter (108 samples) at the composting plant in Shiraz. The culture media consisted of Sabouraud Dextrose Agar with chloramphenicol for the selective isolation of fungi, which was further incubated at 37 and 45°C. The results were analyzed by a t-test method using MATLAB 2018.

Results: The highest mesophilic fungi density was related to the segregation process of composting. The variation of fungi observed was higher during summer throughout separation and stabilization process ($p < 0.05$). The predominant species were found to be Aspergillus flavus (4449.8 CFU/m^3) ($p < 0.05$) and Paecilomyces (1850.9 CFU/m^3) ($p < 0.05$), respectively. Furthermore, the highest varieties of fungal species in the turning of windrow mass were observed during winter ($p < 0.05$) and the predominant species was yeast (420.6 CFU/m^3). At all stages of composting, the varieties of thermophilic fungal species were higher during summer with the large number of Aspergillus fumigatus, Mucoral, and Paecilomyces.

Conclusion: The density and diversity of mesophilic fungi during summer was higher than winter. The concentration of Aspergillus, was beyond the guidelines set by the EPA, ACGIH, NIOSH and EU. Thus, the use of self-protection is essential.

Please cite this article as: Abbasi F, Samaee MR, Jalili M, Khodadadi H, Karimi A. Investigation of seasonal changes in the density and diversity pattern of fungal populations in the compost plant air. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):735-46.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-03]