ORIGINAL ARTICLE

Comparing the Effects of Deep and Surface Aeration Methods on Density and Type of Airborne Bactria and Fungi in Municipal Wastewater Treatment Plant

Maryam Zare Bidaki[1],
Ahmadreza Yazdanbakhsh[2,3],
Mehrnoosh Abtahi Mohasel[4],
Mona Ghazi[5]

[1] MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Professor, Workplace Promotion Health Resaerch Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3] Professor, Despartment of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[5] Assistant Professor, Department of Microbiology, School of Medicine, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received December 4, 2018 ; Accepted March 6, 2019)

Abstract

Background and purpose: Emission of bioaerosols from wastewater treatment plants is a potential hazard to human health. In this study aimed at investigating the effects of surface and deep aeration techniques on density and type of airborne bacteria and fungi in two municipal wastewater treatment plants.

Materials and methods: This descriptive cross-sectional study was done in two wastewater treatment plants in Tehran equipped with surface and deep aerations. Microbial samples were taken from air beside aeration tank, grit chamber, secondary sedimentation basin and two control points (upwind and downwind) every 6 days during summer and autumn 2017. Samples were analyzed for density of bioaerosols and types of bacteria and fungus applying standard methods.

Results: Wastewater treatment plant with surface aeration tank had the greatest effect on emission of bioaerosols than the plant with deep aeration. Mean values for density of bacterial bioaerosols and fungal emission were 6845 and 15784 CFU/m^2/h in summer and 535 and 899 CFU/m^2/h in autumn, respectively. Different gram-positive and gram-negative bacteria were identified in both wastewater treatment plants investigated.

Conclusion: According to current study, emission of bioaerosol in wastewater treatment plants with surface aeration is more than that of those with deep aeration and has greater potential hazard.

Keywords: bioaerosol, mechanical aeration, surface aeration, wastewater treatment plant

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 29(174): 121-133 (Persian).

*** Corresponding Author: Ahmadreza Yazdanbakhsh -** School of Public Health and Safety, Shaid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran (E-mail: yazdanbakhsh@sbmu.ac.ir)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و نهم شماره 174 تیر سال 1398 (133-121)

مقایسه تاثیر روش هوادهی سطحی و عمقی در تصفیه خانه فاضلاب شهری بر تراکم و نوع باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد

مریم زارع بیدکی[1]
احمدرضا یزدانبخش[2و3]
مهرنوش ابطحی محصل[4]
مونا قاضی[5]

چکیده

سابقه و هدف: انتشار بیوآئروسل‌ها در طول فرآیندهای تصفیه فاضلاب به هوا یک مشکل عمده بهداشتی می‌باشد. در این مطالعه اثر نوع سیستم هوادهی سطحی و عمقی بر تراکم و نوع باکتری‌ها و قارچ های هوابرد در دو تصفیه خانه فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه توصیفی-مقطعی درتصفیه خانه های فاضلاب شهری در شهر تهران که به ترتیب دارای سیستم هوادهی سطحی و عمقی می‌باشند انجام شد. نمونه‌برداری برای تعیین تراکم و تشخیص بیوآئروسل‌ها با تناوب شش روز یک بار و در دو فصل تابستان و پاییز در سال 1396 انجام شد. علاوه برهوای اطراف واحد های هوادهی، هم چنین از واحدهای دانه گیر، ته‌نشینی ثانویه و دو نقطه کنترل نمونه ها برداشت شدند. تراکم باکتری ها و قارچ ها از طریق کشت و تشخیص گونه و جنس از طریق آزمون های استاندارد انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در تصفیه خانه با هوادهی سطحی بیش‌ترین انتشار بیو آئروسل‌ها در هر دو فصل از واحد های هوادهی صورت می گیرد. در این تصفیه خانه میانگین تراکم باکتری ها از این واحد به ترتیب در فصل تابستان و پائیز 6845 و 15784 $CFU/m^2/h$ و بیش‌ترین انتشار قارچ ها در فصل تابستان و پاییز به ترتیب 535 $CFU/m^2/h$ و899 $CFU/m^2/h$ اندازه گیری شد. انواعی از باکتری‌های گرم منفی، گرم مثبت و قارچ ها در هر دو تصفیه خانه شناسائی شدند.

استنتاج: بر اساس نتایج این مطالعه، خطرات ناشی از میزان انتشار بیوآئروسل‌ها در تصفیه خانه با سیستم هوادهی سطحی یا مکانیکی در مقایسه با هوادهی عمقی بیش تر است.

واژه های کلیدی: بیوآئروسل، هوادهی سطحی، هوادهی عمقی، تصفیه خانه فاضلاب

مقدمه

تصفیه خانه‌های فاضلاب از منابع مهم آلودگی میکروبی هوا و انتشار ذرات معلق به‌شمار می‌آیند(1) و در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش رشد جمعیت تعداد تصفیه خانه‌های فاضلاب افزایش یافته است. به عنوان یک قاعده کلی، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید در خارج از مناطق مسکونی قرار گیرند اما امروزه با افزایش رشد

مولف مسئول: احمدرضا یزدانبخش - تهران: اوین، میدان شهید شهریاری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده بهداشت و ایمنی E-mail: yazdanbakhsh@sbmu.ac.ir
1. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
2. استاد، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
3. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، د انشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
4. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
5. استادیار، گروه میکروبیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
تاریخ دریافت : 1397/9/13 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :1397/9/18 تاریخ تصویب : 1397/12/15

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

جمعیت، تصفیه‌خانه‌ها بسیار نزدیک به مناطق مسکونی قرار گرفته‌اند(2). تصفیه‌خانه‌های فاضلاب علاوه بر اثرات مثبتی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت و محیط زیست جوامع انسانی دارند به دلیل ماهیت فرآیندشان مشکلاتی را نیز برای بهداشت محیط ایجاد می‌نمایند(3). آلودگی‌هایی از قبیل بو، بیوآئروسل‌هایی شامل باکتری‌های بیماری‌زا، قارچ، ویروس و هم‌چنین ذراتی که منشا بیولوژیکی دارند و مواد شیمیایی مطابق با ظرفیت تصفیه‌خانه، تکنولوژی و روش‌های تصفیه در طول فرآیند تصفیه فاضلاب منتشر می‌شوند که سلامت انسان‌ها را به خطر می‌اندازد(4-2). فرآیندهای هوادهی و اختلاط فاضلاب در تصفیه خانه‌ها، مهم‌ترین منابع در انتشار بیوآئروسل‌ها هستند(5). در سیستم‌های لجن‌فعال، هوادهی به دو صورت سطحی و عمقی انجام می‌شود. در فرآیند هوادهی، زمانی که حباب‌ها به سطح فاضلاب می‌رسند در اثر ترکیدن، قطرات کوچکی در 15 سانتی‌متر بالاتر از سطح فاضلاب پرتاب می‌شوند(6). پاشیدن و ترکیدن حباب‌ها در هوادهی سیستم‌های لجن فعال سبب تولید مقدار زیادی از بیوآئروسل‌ها می‌شود هم‌چنین تعداد میکروارگانیسم‌ها با افزایش اندازه حباب‌ها افزایش می‌یابد(7،6). با توجه به مطالعات انجام شده، بیش‌ترین انتقال میکروارگانیسم‌ها از فاضلاب به هوا از طریق فرآیندهای هوادهی و مخلوط کردن فاضلاب خام، فرآیندهای پیش‌تصفیه شامل واحدهای آشغالگیر و دانه‌گیر، زلال‌سازهای اولیه، ایستگاه‌های پمپاژ و مکان‌های ذخیره لجن رخ می‌دهد(۲،۴). اغلب باکتری‌های هتروتروفیک مزوفیلیک جدا شده از هوای تصفیه‌خانه‌ها شامل جنس‌های سودوموناس، میکروکوکوس، اشرشیا، باسیلوس، استرپتوکوکوس، استافیلوکوکوس، پروتئوس، انتروباکتر، کلبسیلا و قارچ‌هایی از قبیل آلترناریا، کلادوسپوریوم، پنی‌سیلیوم، آسپرژیلوس، موکور، تریکودرما، فوزاریوم هستند(8). نتایج مطالعات نشان می‌دهد عواملی که علاوه بر نوع فرایند تصفیه فاضلاب، بر میزان بیوآئروسل‌های منتشره از یک تصفیه‌خانه تاثیر می‌گذارد شامل ظرفیت تصفیه‌خانه، تجهیزات و فرآیندهای تصفیه فاضلاب، نوع فاضلاب، محل نمونه‌گیری، سیستم‌های هوادهی و اختلاط فاضلاب در واحدها، عوامل محیطی، نوع و تعداد میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب و لجن و ویژگی‌های فیزیکی (اندازه، چگالی، شکل قطرات و ذرات) رفتار و غلظت بیوآئروسل‌ها می‌باشد(7،11-9). در معرض قرار گرفتن کارکنان با میکروارگانیسم‌های هوابرد به نوع و ظرفیت تصفیه‌خانه، نوع و مقدار فاضلاب، تکنولوژی تصفیه و شرایط آب و هوایی بستگی دارد(۱۳،۱۲). در معرض قرار گرفتن افراد با بیوآئروسل‌ها می‌تواند ایجاد اثرات سوء بهداشتی از قبیل ورم غشاء مخاطی بینی، برونشیت ریوی (آسم،آلرژی و بیماری‌های تنفسی)، عفونت در افراد دچار به نقص ایمنی، بیماری‌های پوستی، بیماری‌های سیستم عصبی، سندروم کارکنان تصفیه‌خانه و سندروم گرد و غبار آلی سمی نماید(۹،۴،۲).

در نتایج مطالعه کرمانی و همکاران در یک تصفیه‌خانه گزارش شد که بیش ترین غلظت باکتریایی مربوط به هاضم هوازی با میانگین CFU/Plate 3303 و کم‌ترین میزان مربوط به دانه‌گیری با میانگین CFU/Plate 568 بود. هم‌چنین بیش‌ترین آلودگی قارچی مربوط به دانه‌گیری با میانگین CFU/Plate 61 و کم‌ترین میزان مربوط به هوادهی با میانگین CFU/Plate41 بود. از بین باکتری‌ها، گونه‌های باسیلوس، استافیلوکوکوس و میکروکوکوس و از بین قارچ‌ها، گونه‌های کلادوسپوریوم، آلترناریا و پنی سیلیوم غالب بودند(14). Gotkowska-Płachta و همکاران در سال 2012 نشان دادند که بیش‌ترین غلظت باکتری‌های هتروتروفیک در نمونه‌های هوا در فصل تابستان و قارچ‌ها در فصل زمستان وجود داشته است، هم‌چنین دریافتند که تجهیزات مکانیکی تصفیه فاضلاب در انتشار بیوآئروسل‌ها نقش به‌سزایی دارند(2). درمطالعه Sánchez-Monedero و همکاران در سال 2008 گزارش شد که سیستم‌های

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

هوادهی با تجهیزات مکانیکی از قبیل چرخنده‌های افقی و توربین‌های سطحی، غلظت زیادی از بیوآئروسل‌ها (4850-450CFU/m^3) نسبت به هوادهی‌های دیفیوزری (57-22 CFU/m^3) به هوا منتشر می‌کنند(7).

در مطالعه kim و همکاران در سال 2012 گزارش شد که بیش‌ترین غلظت بیوآئروسل‌ها در فصل تابستان و بیش‌ترین سطح بیوآئروسل‌های قابل استنشاق (0/65 تا 4/7 میکرون) در فازهای هوادهی هستند(13).

به طور کلی مطالعات در رابطه با تاثیر نوع سیستم‌های هوادهی در تصفیه خانه فاضلاب بر انتشار غلظت و نوع بیوآئروسل‌ها محدود می‌باشد. لذا هدف از این مطالعه بررسی تراکم و نوع باکتری‌ها در هوای اطراف واحدهای مختلف تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری با هوادهی سطحی و عمقی می‌باشد.

مواد و روش ها

محل و روش نمونه برداری

این مطالعه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرک غرب و شهرک اکباتان تهران در مدت 60 روز در فصل تابستان و پائیز سال 1396 انجام گرفت. خصوصیات تصفیه‌خانه‌ها در جدول شماره 1 ارایه شده است. واحدهای مورد مطالعه علاوه بر هوادهی، واحدهای دانه‌گیر، ته نشینی ثانویه و دو نقطه کنترل (بالادست و پایین‌دست جریان باد) در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری براساس توصیه سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، هر 6 روز یک بار انجام شد(۱۴،۴). بر اساس روش‌های استاندارد ملاحظات در انتخاب محل نمونه برداری شامل: فاصله محل نمونه‌برداری از واحدها حداقل 2 متر و حداکثر 20 متر و با رعایت حداقل فاصله یک متر از موانع(15) و در ارتفاع 1/5 متری از سطح زمین(۱۶،۴) در نظر گرفته شد. نمونه برداری به روش غیر فعال انجام گرفت. جهت نمونه برداری از پلیت‌هایی با قطر 9 سانتی‌متر و مدت زمان نمونه برداری 1 ساعت استفاده شد(17،15).

جدول شماره 1: خصوصیات تصفیه خانه شهرک غرب و اکباتان

مشخصات	غرب	اکباتان
مساحت تصفیه خانه(هکتار)	11	7
جمعیت تحت پوشش (نفر)	85000	100000
نوع فرآیند تصفیه فاضلاب	لجن فعال	لجن فعال
نوع سیستم هوادهی	سطحی	عمقی
دبی طراحی (مترمکعب در روز)	30000	15000
دبی ورودی (مترمکعب در روز)	21600	10000

تشخیص باکتری ها و قارچ‌ها

مواد و محیط‌های کشت مورد استفاده در این مطالعه شامل نوترینت آگار (مرک،آلمان) برای باکتری‌های هتروتروف گرم مثبت، مکانکی آگار (مرک، آلمان) برای باکتری‌های هتروتروف گرم منفی و محیط کشت سابرودکستروزآگار(مرک،آلمان) برای تعیین و تشخیص قارچ‌ها بود. محیط‌های کشت طبق دستورالعمل در آزمایشگاه، تهیه و در پلیت ها ریخته شده و در شرایط استریل به محل نمونه‌برداری منتقل شدند. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها در محیط‌های کشت باکتریایی آنتی‌بیوتیک سیکلوهگزامید (500 µg/l) در هنگام آماده‌سازی محیط کشت و برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها در محیط‌های کشت قارچی آنتی‌بیوتیک کلرامفنیکل (50 mg/l) در هنگام آماده‌سازی محیط کشت اضافه شدند(13). بعد از نمونه‌برداری پلیت‌های حاوی نمونه در آزمایشگاه به منظور شناسایی باکتری‌ها در انکوباتور در دمای 37±0/5 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت و برای شناسایی قارچ‌ها در دمای 25 درجه سانتی‌گراد به مدت 5 روزقرار گرفتند(18). سپس کلنی‌های رشدیافته بر روی پلیت‌ها شمارش شد و تعداد کلنی‌ها بر اساس CFU/Plate شمارش و بر حسب CFU/m^2/h تبدیل و ثبت گردید(۱۷،۱۵). سپس آزمایشات تشخیص جنس و گونه باکتری‌ها و قارچ‌ها روی آن‌ها انجام گرفت.

برای تشخیص جنس باکتری گرم منفی از محیط کشت EMB آگار و آزمون‌های افتراقی (آزمون سیترات، TSI و غیره) استفاده شد و برای جدا سازی باکتری‌های گرم منفی روده‌ای از محیط مکانکی آگار

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

که یک محیط افتراقی حاوی لاکتوز، املاح صفراوی و کریستال ویوله می‌باشد استفاده شد. بر روی این محیط کشت کلنی باکتری‌های تخمیرکننده لاکتوز مانند انتروباکتریاسه‌ها، صورتی رنگ و بقیه کلنی‌ها بی‌رنگ هستند. از آزمون‌های استاندارد اندول (با محیط کشت تریپتوفان برات و معرف کواکس)، متیل رد (با محیط کشت MRVP و معرف متیل رد)، ووگوس پرسکوئر (با محیط کشت MRVP و معرف هیروکسید پتاسیوم و آلفا نفتول)، سیترات (با محیط کشت سیمون سیترات) و تریپل شوگر آیرون (TSI) (با محیط کشت TSI حاوی معرف فنل - رد، سولفات فر، تیو سولفات سدیم (برای تشخیص تولید گاز سولفید هیدروژن) و سه قند گلوکز، لاکتوز و سوکروز) و آزمون SIM (با محیط کشت حاوی آگار، کازئین، پپتید، سولفات فروس آمونیوم و تیوسولفات سدیم) برای تشخیص و افتراق باکتری‌های گرم منفی مانند اشرشیا، کلبسیلا، انتروباکتر، پروتئوس، سالمونلا، سراشیا و شیگلا استفاده شد(13،6،4). برای تعیین و تشخیص باکتری‌های گرم مثبت از محیط کشت نوترینت آگار استفاده شد. در این محیط کشت، کلنی‌های موجود بر سطح محیط کشت از لحاظ رنگ، شکل و اندازه مورد بررسی قرارگرفتند و از آن‌ها لام برای انجام رنگ‌آمیزی تهیه شد برای تشخیص جنس و گونه باکتری‌ها آزمون‌های افتراقی کاتالاز برای تعیین استافیلوکوک و استرپتوکوک، تست با سیتراسین برای تشخیص استافیلوکوک از میکروکوک، تست مانیتول سالت آگار برای جداسازی استافیلوکوک اورئوس از سایر استافیلوکوک‌ها و تست حساسیت به دیسک نووبیوسین برای جداسازی استافیلوکوک اپیدرمیدیس از استافیلوکوک ساپروفیتیکوس، تست حرکت برای تشخیص باسیلوس آنتراسیس از باسیلوس سوبتیلیس استفاده شد(۱۹،۱۸). برای تشخیص افتراقی انواع قارچ‌ها، از روش مشاهده مشخصات ظاهری در زیر میکروسکوپ شامل میزان رشد قارچ، حالت و شکل کلنی مانند مسطح بودن، برجستگی و منظم یا نامنظم بودن، منظره کلنی، رنگ کلنی، وجود پیگمان، رنگ پشت کلنی استفاده شد(13).

تجزیه و تحلیل داده ها

یافته ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 21 تجزیه و تحلیل شدند. ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری کولموگراف - اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مقایسه بیوآئروسل‌های شناسایی شده در نقاط نمونه‌برداری تصفیه‌خانه شهرک غرب با تصفیه‌خانه شهرک اکباتان در هوای اطراف واحد هوادهی در دو تصفیه خانه از آزمون‌های آماری Independent t-test استفاده شد. سطح معنی‌داری در آزمون‌ها 0/05 درنظر گرفته شد.

یافته ها

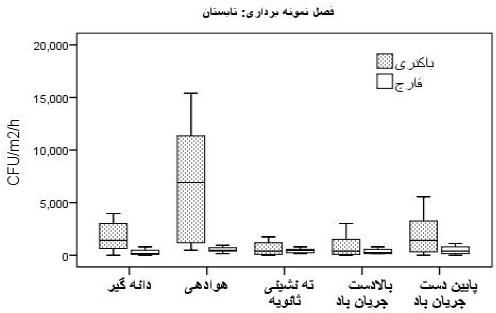
غلظت بیوآئروسل‌ها در نواحی مختلف تصفیه خانه ها

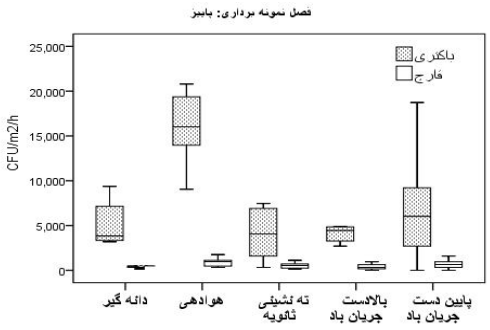
نمودار شماره 1 و 2 به ترتیب غلظت بیوآئروسل‌ها در هوای اطراف واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب با هوادهی سطحی و تصفیه‌خانه اکباتان با هوادهی عمقی و هم‌چنین نقاط بالا دست و پایین دست جریان باد را نشان می‌دهند.

غلظت، جنس و گونه‌های غالب بیوآئروسل‌های شناسایی شده در نقاط نمونه‌برداری تصفیه‌خانه‌ها

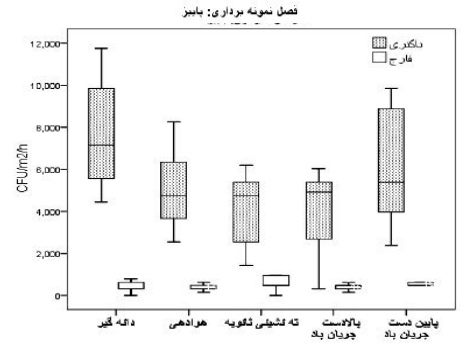
نتایج مربوط به غلظت، جنس و گونه باکتری‌های گرم منفی شناسائی شده در جداول شماره 2 و 3 به ترتیب برای تصفیه خانه شهرک غرب با هوادهی سطحی و تصفیه خانه اکباتان با هوادهی عمقی ارائه شده است. هم‌چنین در جداول شماره 4 و 5 جنس و گونه باکتری‌های گرم مثبت به ترتیب برای تصفیه‌خانه شهرک غرب با هوادهی سطحی و تصفیه خانه اکباتان با هوادهی عمقی ارائه شده است. جداول شماره 6 و 7، غلظت و جنس بیوآئروسل‌های قارچی شناسایی شده از نقاط نمونه‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را نشان می‌دهد.

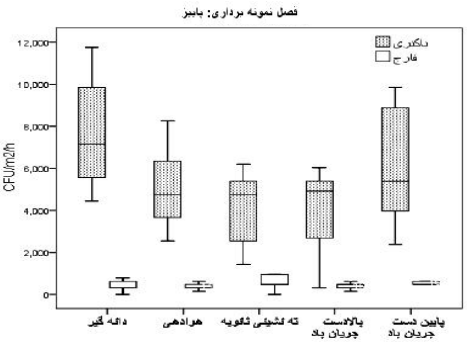
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]





نمودار شماره 1: تراکم بیوآیروسل ها در هوای اطراف واحد های تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب با هوادهی سطحی در تابستان و پاییز





نمودار شماره 2:تراکم بیوآئروسل ها در هوای اطراف واحدهای تصفیه خانه اکباتان با هوادهی عمقی در تابستان و پائیز

جدول شماره 2: بیوآئروسل‌های باکتریایی گرم منفی شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب ($CFU/m^2/h$)

باکتری	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
اشرشیاکلی	تابستان	0	0	0	158/73	1428/57	793/65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	317/46	35/27	0	4444/44	1922/39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
کلبسیلا	تابستان	0	0	0	0	952/38	178/57	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	1111/11	123/45	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول شماره 3: بیوآئروسل‌های باکتریایی گرم منفی شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان ($CFU/m^2/h$)

باکتری	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
اشرشیاکلی	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	793/65	370/37	0	158/73	17/63	0	0	0	0	0	0	0	476/19	70/54
کلبسیلا	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	317/46	35/27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول شماره 4: بیوآئروسل‌های باکتریایی گرم مثبت شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب ($CFU/m^2/h$)

باکتری	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
باسیلوس سوبتیلیس	تابستان	0	3968/25	1329/36	0	7936/51	2361/11	0	1428/57	396/82	0	3015/87	714/28	0	5555/56	1388/88
	پاییز	158/73	3650/79	1834/21	2539/68	12698/41	6014/10	317/46	3968/25	1825/39	793/65	4761/90	2433/86	0	6031/75	2627/86
میکروکوک	تابستان	0	476/19	59/52	0	4761/9	1468/25	0	476/19	79/36	0	476/19	99/20	0	2222/22	337/30
	پاییز	0	5555/56	2010/58	0	3333/33	1569/66	0	2698/41	932/53	0	14285/71	2804/23	0	5555/56	1499/11
استرپتوکوک	تابستان	0	1111/11	138/88	0	2539/68	595/23	0	0	0	0	0	0	0	158/73	19/84
	پاییز	0	317/46	35/27	0	793/65	211/64	0	0	0	0	0	0	0	0	0
استافیلوکوک اورئوس	تابستان	0	317/46	68/39	0	2539/68	555/55	0	476/19	59/52	0	317/46	39/68	0	793/65	99/20
	پاییز	0	634/92	229/27	0	3174/60	1093/47	0	317/46	39/68	0	158/73	35/27	0	3174/60	511/46
استافیلوکوک اپیدرمیدیس	تابستان	0	0	0	0	2222/22	674/60	0	317/46	39/68	0	0	0	0	793/65	99/20
	پاییز	476/19	2222/22	1040/56	1269/84	6984/13	3915/34	0	4126/98	1130/95	0	2380/95	1005/29	0	5555/56	1640/21
استافیلوکوک ساپروفیتیکوس	تابستان	0	793/65	138/88	0	793/65	138/88	0	158/73	19/84	0	158/73	19/84	0	0	0
	پاییز	0	793/65	299/82	0	2063/49	864/19	0	476/19	178/57	0	793/65	282/18	0	1587/30	529/10
انتروکوک	تابستان	0	0	0	0	634/92	79/36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	634/92	70/54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
کلستریدیوم	تابستان	0	476/19	59/52	0	0	0	0	317/46	68/39	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

جدول شماره 5: بیوآئروسل‌های باکتریایی گرم مثبت شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان (CFU/m²/h)

باکتری	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
باسیلوس سوبتیلیس	تابستان	0	2857/14	1111/11	0	6507/94	1468/25	0	1746/03	575/39	0	3333/33	929/70	158/73	6666/67	2341/26
	پاییز	793/65	5555/56	2998/23	1269/84	7619/05	3350/97	158/73	4285/71	1763/66	0	3333/33	1746/03	158/73	3968/25	2486/77
میکروکوک	تابستان	0	1428/57	238/09	0	1111/11	138/88	0	634/92	158/73	0	3650/79	566/89	0	3650/79	595/23
	پاییز	0	3174/60	1111/11	0	793/65	317/46	0	2063/49	828/92	0	952/38	299/82	0	2222/22	740/74
استرپتوکوک	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	476/19	136/05	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
استافیلوکوک اورئوس	تابستان	0	634/92	79/36	0	634/92	178/57	0	634/92	218/25	0	952/38	249/43	0	3174/60	535/71
	پاییز	0	1111/11	388	0	317/46	70/54	0	793/65	211/64	0	317/46	176/36	0	1111/11	282/18
استافیلوکوک اپیدرمیدیس	تابستان	0	952/38	138/88	0	952/38	257/93	0	952/38	198/41	0	793/65	226/75	0	1904/76	238/09
	پاییز	1111/11	3492/06	1992/94	0	2539/68	1075/83	158/73	4444/44	1340/38	0	2063/49	1164/02	476/19	5079/37	1781/30
استافیلوکوک ساپروفیتیکوس	تابستان	0	0	0	0	317/46	79/36	0	158/73	19/84	0	476/19	113/37	0	158/73	19/84
	پاییز	317/46	1587/30	617/28	0	1428/57	335/09	0	1111/11	299/82	0	952/38	423/28	0	1904/76	529/10
انتروکوک	تابستان	0	476/19	79/36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	317/46	35/27	0	0	0	0	0	0
کلستریدیوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول شماره 6: بیوآئروسل‌های قارچی شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب (CFU/m²)

قارچ	فصل	دانه‌گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
پنی سیلیوم	تابستان	0	158/73	39/68	0	317/46	79/36	0	317/46	59/52	0	317/46	39/68	0	634/92	119/
	پاییز	0	476/19	141/09	0	1587/30	335/09	0	476/19	138/88	0	317/46	119/04	0	793/65	246/91
آسپرژیلوس نایجر	تابستان	0	476/19	178/57	0	476/19	178/57	0	317/46	158/73	0	476/19	158/73	0	634/92	198/41
	پاییز	0	317/46	88/18	0	476/19	158/73	0	476/19	138/88	0	158/73	79/36	0	476/19	141/09
آسپرژیلوس فلاووس	تابستان	0	158/73	19/84	0	317/46	138/88	0	317/46	138/88	0	317/46	79/36	0	158/73	79/36
	پاییز	0	158/73	70/54	0	317/46	88/18	0	158/73	39/68	0	476/19	99/20	0	317/46	105/82
آسپرژیلوس فومیگاتوس	تابستان	0	0	0	0	158/73	19/84	0	0	0	0	158/73	19/84	0	0	0
	پاییز	0	158/73	17/63	0	158/73	17/63	0	158/73	59/52	0	317/46	59/52	0	158/73	35/27
کاندیدا	تابستان	0	0	0	0	158/73	79/36	0	0	0	0	158/73	19/84	0	158/73	19/84
	پاییز	0	952/38	0/77	0	952/38	246/91	0	158/73	19/84	0	317/46	39/68	0	158/73	35/27
آلترناریا	تابستان	0	158/73	123/45	0	158/73	39/68	0	158/73	39/68	0	158/73	19/84	0	317/46	59/52
	پاییز	0	158/73	35/27	0	317/46	35/27	0	317/46	59/52	0	0	0	0	317/46	70/54
کلادوسپوریوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	317/46	35/27	0	0	0	0	476/19	79/36	0	0	0	0	634/92	70/54
رودوتورولا	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	158/73	17/63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فوزاریوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158/73	19/84	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
گلیوکلادیوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	158/73	39/68	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
مونیلیا	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول شماره 7: بیوآئروسل‌های قارچی شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان (CFU/m²/h)

قارچ	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
پنی سیلیوم	تابستان	0	317/46	59/52	0	317/46	79/36	0	317/46	99/20	0	0	0	0	317/46	59/52
	پاییز	0	476/19	158/73	0	158/73	70/54	0	476/19	158/73	0	317/46	176/36	0	634/92	211/64
آسپرژیلوس نایجر	تابستان	0	793/65	396/82	0	634/92	277/77	0	476/19	158/73	0	634/92	294/78	0	952/38	357/14
	پاییز	0	158/73	70/54	0	317/46	123/45	0	1904/76	2/44	0	317/46	70/54	0	317/46	105/82
آسپرژیلوس فلاووس	تابستان	0	317/46	138/88	0	476/19	119/04	0	317/46	99/20	0	317/46	90/70	0	158/73	39/68
	پاییز	0	158/73	70/54	0	317/46	35/27	0	1111/11	229/27	0	317/46	105/82	0	476/19	141/09
آسپرژیلوس فومیگاتوس	تابستان	0	158/73	19/84	0	0	0	0	158/73	19/84	0	0	0	0	158/73	19/84
	پاییز	0	317/46	70/54	0	158/73	17/63	0	158/73	17/63	0	158/73	17/63	0	158/73	35/27
کاندیدا	تابستان	0	317/46	39/68	0	317/46	39/68	0	0	0	0	158/73	22/67	0	158/73	19/84
	پاییز	0	317/46	88/18	0	158/73	35/27	0	158/73	17/63	0	158/73	17/63	0	317/46	52/91
آلترناریا	تابستان	0	158/73	19/84	0	158/73	39/68	0	158/73	19/84	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	158/73	17/63	0	158/73	17/63	0	158/73	17/63	0	0	0	0	158/73	35/27
کلادوسپوریوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	476/19	52/91	0	0	0	0	158/73	17/63	0	1111/11	141/09
رودوتورولا	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	158/73	19/84	0	317/46	45/35	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
فوزاریوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
گلیوکلادیوم	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158/73	39/68
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
مونیلیا	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	158/73	19/84	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	0	0	0	0	0	0	158/73	17/63	0	0	0	0	0	0

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

بحث

با توجه به نمودار شماره 1 در فصول نمونه‌برداری، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب، واحد هوادهی، بیوآئروسل‌های باکتریایی بیش‌تری را به هوا منتشر می‌کند. میانگین بیوآئروسل‌های باکتریایی منتشر شده از واحد هوادهی در فصل تابستان 6845/23 CFU/m²/h و در فصل پاییز 15784/83 CFU/m²/h می‌باشد. هم‌چنین واحد ته‌نشینی ثانویه در این تصفیه‌خانه، بیوآئروسل‌های باکتریایی کم‌تری را به هوا منتشر می‌کند. میانگین غلظت باکتری‌ها در نقطه کنترل بالادست باد در مقایسه با غلظت باکتری‌های هوابرد منتشر شده از واحد دانه‌گیر و هوادهی در فصل تابستان کم‌تر می‌باشد اما در فصل پاییز در مقایسه با واحدهای دانه‌گیر و ته‌نشینی ثانویه بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین واحد هوادهی بیش‌ترین انتشار قارچ‌های هوابرد را در فصل تابستان با میانگین 535/71 CFU/m²/h و در فصل پاییز با میانگین 899/47 CFU/m²/h داشته است. واحد دانه‌گیر کم‌ترین انتشار بیوآئروسل‌های قارچی در فصل تابستان با میانگین 277/77 CFU/m²/h و در فصل پاییز با میانگین 511/46 CFU/m²/h داشته‌است. با توجه به نمودار شماره 2، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان، بیش‌ترین انتشار بیوآئروسل‌های باکتریایی در فصل تابستان مربوط به واحد هوادهی با میانگین 2123/01 CFU/m²/h و در فصل پاییز در واحد دانه‌گیر با میانگین 7513/22 CFU/m²/h می‌باشد. کم‌ترین انتشار بیوآئروسل‌های باکتریایی مربوط به واحد ته‌نشینی ثانویه در فصل تابستان و پاییز می‌باشد. میانگین غلظت باکتری‌ها در نقطه کنترل بالادست باد در مقایسه با غلظت باکتری‌های هوابرد منتشر شده از واحدهای دانه‌گیر، هوادهی و ته‌نشینی ثانویه در فصل تابستان بیش‌تر می‌باشد اما در فصل پاییز در مقایسه با واحدهای عملیاتی نمونه‌برداری شده، کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین در فصل تابستان واحد دانه‌گیر با میانگین 674/60 CFU/m²/h و در فصل پاییز واحد ته‌نشینی ثانویه با میانگین 846/56 CFU/m²/h بیش‌ترین نقش را در انتشار قارچ‌های هوابرد داشته‌اند.

واحد ته‌نشینی ثانویه در فصل تابستان با میانگین 436/50 CFU/m²/h و در فصل پاییز واحد هوادهی با میانگین 352/73 CFU/m²/h کم‌ترین نقش را در انتشار قارچ‌های هوابرد داشته‌اند. هم‌چنین غلظت قارچ‌های هوابرد در نقاط کنترل نسبت به واحدها تفاوت چندانی ندارد. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که تجهیزات مکانیکی تصفیه فاضلاب و اختلاط فاضلاب در مراحل مختلف فرآیندهای تصفیه از منابع اصلی انتشار میکروارگانیسم‌ها به هوا هستند(17). مطالعات مشابه دیگر که توسط Whlazlo (20)، Fernando (21)، Filipkowska (2)، Bauer(22)، Xu(23)، Malecka(17) و Oppliger (24) انجام شده است، واحد هوادهی را به عنوان عامل اصلی انتشار بیوآئروسل‌ها معرفی کرده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، میانگین کل غلظت باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد در واحد هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب بیش تر از واحد هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان است. در هوادهی سطحی، اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد آلی توسط هواده‌هایی که بر روی سطح فاضلاب قرار گرفته و با اختلاط مکانیکی فاضلاب توسط هواده‌ها فراهم می‌شود بنابراین، سبب افزایش انتشار بیوآئروسل‌ها در هوا می‌شوند(2،19، 27-25).

بنابراین نوع سیستم‌های هوادهی در میزان تولید بیوآئروسل‌ها نقش به سزایی دارد(6،7،28). در این مطالعه با توجه به نرمال بودن داده‌ها، مطابق با آزمون آماری Independent t-test بین سیستم هوادهی سطحی با هوادهی عمقی تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P<0/0001$) اما بین غلظت بیوآئروسل‌های شناسایی شده در واحدهای دانه‌گیر، ته نشینی ثانویه و نقاط کنترل در تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب با تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان تفاوت معناداری مشاهده نشد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

جنس و گونه های غالب باکتری ها و قارچ ها

در هوای دوتصفیه‌خانه مورد مطالعه باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلی و کلبسیلا یافت شد. باتوجه به جدول شماره 2، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب، باکتری اشرشیاکلی در هوای واحدهای دانه‌گیر و هوادهی و باکتری کلبسیلا فقط در هوای واحد هوادهی شناسایی شد. با توجه به نتایج، دراین تصفیه‌خانه، واحد هوادهی باکتری‌های گرم منفی بیش تری را به هوا منتشر می‌کند. هم چنین در فصل پاییز میانگین غلظت باکتری‌های گرم منفی هوابرد در این تصفیه‌خانه بیش‌تر بود. می‌توان نتیجه گرفت که سیستم هوادهی سطحی به دلیل تلاطم و اختلاط شدید فاضلاب سبب انتشار میکروارگانیسم‌های مدفوعی به هوا می‌شود. باتوجه به جدول شماره 3، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان، باکتری اشرشیاکلی در هوای واحدهای دانه‌گیر و هوادهی و نقطه کنترل پایین دست باد و باکتری کلبسیلا فقط در هوای واحد دانه‌گیر یافت شد. در نتیجه در این تصفیه‌خانه، واحد دانه‌گیر باکتری‌های گرم منفی بیش‌تری را به هوا منتشر می‌کند. در مطالعه مشابهی که توسط Gangamma و همکاران انجام شد، سودوموناس و اشرشیا باکتری‌های گرم منفی غالب در تصفیه‌خانه‌ها بودند. برخلاف اشرشیا، سودوموناس جز باکتری‌های انتروباکتریاسه نمی‌باشد. فراوانی اشرشیا در هوای نمونه‌برداری شده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه، 17 درصد بود(29).

در مطالعه مشابهی که توسط Katsivela و همکاران انجام شده است، میانگین غلظت کل کلی‌فرم‌ها در طی نمونه‌برداری در واحد دانه‌گیر مجهز به هوادهی 27 ± 29 CFU/m^3 گزارش شده است در حالی که در تانک ته‌نشینی اولیه و نقطه کنترل یافت نشده است(30). در مطالعه انجام‌شده توسط Korzeniewska و همکاران، در نمونه‌های هوای جمع‌آوری‌شده از نزدیکی تجهیزات مکانیکی (دانه‌گیر) باکتری گرم منفی انتروباکتر و در تصفیه بیولوژیکی با هوادهی عمقی باکتری‌های گرم منفی سیتروباکتر، اشرشیاکلی، سراشیا، شیگلا شناسایی شدند. بیش ترین غلظت باکتری‌های انتروباکتریاسه (100-500CFU/m^3) در اتاقک هوادهی بود(31).

در هوای تصفیه خانه های فاضلاب باکتری های گرم مثبت باسیلوس سوبتیلیس، میکروکوک، استرپتوکوک، استافیلوکوک اورئوس، استافیلوکوک اپیدرمیدیس، استافیلوکوک ساپروفیتیکوس، انتروکوک و کلستریدیوم شناسایی شدند. باتوجه به جدول شماره 4، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب، در فصل تابستان بیوآئروسل باسیلوس سوبتیلیس در واحدها و نقاط کنترل نمونه‌برداری شده غالب بود. در فصل پاییز باکتری هوابرد میکروکوک در واحد دانه‌گیر و نقطه کنترل بالادست باد و باکتری باسیلوس سوبتیلیس در بقیه واحدهای نمونه‌برداری و نقطه کنترل پایین‌دست باد غالب بود. با توجه به جدول شماره 5 ، در تصفیه‌خانه شهرک اکباتان، در فصل تابستان و پاییز، بیوآئروسل باسیلوس سوبتیلیس در واحدها و نقاط کنترل تصفیه‌خانه غالب بود. به طور کلی با توجه به نتایج، غالب بودن باکتری باسیلوس سوبتیلیس در هوای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مطالعه حاضر را می‌توان به این امر نسبت داد که گونه‌های باسیلوس به دلیل توانایی در تجزیه زیستی ترکیبات آلی و ترکیبات خطرناک در فاضلاب به‌طور وسیعی در فاضلاب حضور دارند و به صورت بیوآئروسل در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منتشر می‌شوند(9، 28).

به طورکلی با توجه به نتایج، بیوآئروسل‌های باکتریایی گرم مثبت در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرک غرب و اکباتان غالب بودند. مطالعات مشابهی که توسط Dutkiewicz (32)، Kaarakainen (33) و Gangamma(29) نتایج این مطالعه را تایید می‌نماید. در مطالعه انجام شده توسط Vantarakis و همکاران، گزارش کردند که در شعاع 500 متری از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، 79/5 درصد بیوآئروسل‌های باکتریایی از جنس کوکسی، 7/2 درصد از جنس باسیل گرم مثبت یافت شد که 28 درصد گونه استافیلوکوک اورئوس،

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

36 درصد گونه استرپتوکوک، 4 درصد گونه انتروکوک دراین تصفیه‌خانه شناسایی شد(34).

جداول شماره 6 و 7، غلظت و جنس بیوآئروسل‌های قارچی شناسایی شده از نقاط نمونه‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب و اکباتان غلظت قارچ‌های شناسایی شده در هوای نقاط نمونه‌برداری به هم نزدیک است و نمی‌توان جنس و گونه خاصی را به عنوان جنس غالب در نظر گرفت اما به طورکلی قارچ‌های آسپرژیلوس نایجر، پنی‌سیلیوم، آسپرژیلوس فلاووس و آلترناریا در هوای واحدهای عملیاتی تصفیه‌خانه‌ها در فصل تابستان و پاییز غالب بودند. هم‌چنین قارچ‌های آسپرژیلوس نایجر، آسپرژیلوس فلاووس و کاندیدا در نقطه کنترل بالادست باد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب درفصل تابستان وپاییز یافت شدند. قارچ‌های آسپرژیلوس نایجر، پنی سیلیوم، آسپرژیلوس فلاووس و کاندیدا در نقطه کنترل پایین‌دست باد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در فصل تابستان و پاییز شناسایی شدند. قارچ‌های هوابرد پنی‌سیلیوم، آسپرژیلوس، آلترناریا و کلادوسپوریوم بیش ترین پتانسیل را در واکنش‌های آلرژیک دارند(۳۵،۱۹،۲).

این مطالعه گرچه تخمینی از میزان غلظت بیوآئروسل ها و نوع آن‌ها در اطراف واحدهای مهم تصفیه‌خانه فاضلاب و هم‌چنین مقایسه دو روش هوادهی در انتشار بیوآئروسل‌ها را در دو فصل تاستان و پاییز نشان داد ولی با محدودیت‌هایی نیز همراه بوده است که می‌توان به عدم دقیق شرایط دو تصفیه‌خانه از نظر ظرفیت، محدود بودن زمان مطالعه به دو فصل سال و عدم مقایسه روش نمونه برداری فعال و غیر فعال اشاره نمود.

در پایان می توان نتیجه گرفت کرد که تصفیه خانه های فاضلاب شهری به خصوص با سیستم هوادهی سطحی به عنوان عامل مهم در انتشار بیوآئروسل های باکتریائی و قارچی عمل می نمایند. هم‌چنین در این مطاله مشخص شد واحدهای هوادهی و دانه گیر در هر دو تصفیه خانه بیش‌ترین بیوآئروسل ها را به هوا پراکنده می‌نمایند. با توجه به این‌که میکروارگانیسم‌های منتشر شده، سلامت کارکنان تصفیه‌خانه و ساکنین اطراف تصفیه‌خانه فاضلاب را به خطر می‌اندازد و مسیر استنشاق مهم‌ترین مسیر در معرض قرار گرفتن با بیوآئروسل‌ها برای کارکنان تصفیه‌خانه و ساکنان اطراف تصفیه‌خانه می‌باشد، لذا تولید بیوآئروسل‌ها باید در محل منبع انتشار میکروارگانیسم‌ها به هوا در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کنترل شود. از جمله اقداماتی که می‌توان برای کاهش تولید بیوآئروسل‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب انجام داد، شامل طراحی تجهیزاتی برای جلوگیری از درمعرض قرار گرفتن مستقیم فاضلاب خام با هوا، جلوگیری ازآشفتگی مکانیکی فاضلاب خام در حوضچه های سر باز و حتی الامکان استفاده از هواده‌های عمقی به جای هواده‌های سطحی در تانک های هوادهی می‌باشد. برای تعیین مخاطرات بهداشتی بیوآئروسل ها مطالعات بیش تر با بازه زمانی طولانی تر و با مقایسه دو روش نمونه برداری فعال و غیر فعال و هم چنین تعیین اثرات بیوآئروسل‌ها بر سلامت افراد در تصفیه خانه های با ظرفیت بالاتر پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد و طرح تحقیقاتی با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1396.37 در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی می‌باشد. نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشکده جهت حمایت مالی، مسئولین محترم تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرک غرب و شهرک اکباتان تهران به خاطر همکاری صمیمانه در طول دوره پژوهش و هم‌چنین از مسئولین آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و آزمایشگاه هوا دانشگاه علوم پزشکی تهران تشکر و قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

References

1. Michałkiewicz M, Pruss A, Dymaczewski Z, Jeż-Walkowiak J, Kwaśna S. Microbiological Air Monitoring around Municipal Wastewater Treatment Plants. Polish J Environm Stud 2011; 20(5): 24-29.
2. Gotkowska□Płachta A, Filipkowska Z, Korzeniewska E, Janczukowicz W, Dixon B, Gołaś I, Szwalgin D. Airborne microorganisms emitted from wastewater treatment plant treating domestic wastewater and meat processing industry wastes. CLEAN–Soil Air Water 2013; 41(5): 429-436.
3. Filipkowska Z, Janczukowicz W, Krzemieniewski M, Pesta J. Microbiological air pollution in the surroundings of the wastewater treatment plant with activated-sludge tanks aerated by horizontal rotors. Polish J Environmen Stud 2000; 9(4): 273-280.
4. Niazi S, Hassanvand MS, Mahvi AH, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Nabavi S, et al. Assessment of bioaerosol contamination (bacteria and fungi) in the largest urban wastewater treatment plant in the Middle East. Environ Sci Pollut Res 2015; 22(20):16014-16121.
5. Teixeira JV, Miranda S, Monteiro RA, Lopes FV, Madureira J, Silva GV, et al. Assessment of indoor airborne contamination in a wastewater treatment plant. Environ Monit Assess 2013; 185(1): 59-72.
6. Korzeniewska E. Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants–a review. Front Biosci (Schol Ed). 2011; 3: 393-407.
7. Sánchez-Monedero MA, Aguilar MI, Fenoll R, Roig A. Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. Water Res 2008; 42(14): 3739-3744.
8. Kowalski M, Wolany J, Pastuszka JS, Płaza G, Wlazło A, Ulfig K, et al. Characteristics of airborne bacteria and fungi in some Polish wastewater treatment plants. Int J Environ Sci Technol 2017; 14(10): 2181-2192.
9. Ding W, Li L, Han Y, Liu J, Liu J. Site-related and seasonal variation of bioaerosol emission in an indoor wastewater treatment station: level, characteristics of particle size, and microbial structure. Aerobiologia 2016; 32(2): 211-224.
10. Heinonen-Tanski H, Reponen T, Koivunen J. Airborne enteric coliphages and bacteria in sewage treatment plants. Water Res 2009; 43(9): 2558-2566.
11. Szyłak-Szydłowski M, Kulig A, Miaśkiewicz-Pęska E. Seasonal changes in the concentrations of airborne bacteria emitted from a large wastewater treatment plant. Int Biodeterior Biodegr 2016; 115:11-16.
12. Li Y, Zhang H, Qiu X, Zhang Y, Wang H. Dispersion and risk assessment of bacterial aerosols emitted from rotating-brush aerator during summer in a wastewater treatment plant of Xi'an, China. Aerosol Air Qual Res 2013; 13(6): 1807-1804.
13. Kim KY, Ko HJ, Kim D. Assessment of airborne microorganisms in a swine wastewater treatment plant. Environ Engin Res 2012; 17(4): 211-216.
14. Kermani M, Dehghani A, Farzadkia M, Nadafi K, Bahrami Asl F, Zeinalzadeh D. Investigation of airborne bactria and fungi in Tehran's Shahrake Ghods WWTP and its

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

association with environmental parameters. J Health 2015; 6(1): 57-68.

15. Pasquarella C, Pitzurra O, Savino A. The index of microbial air contamination. J Hosp Infect 2000; 46(4): 241-256.
16. The Code of Federal Regulations of the United States of America, 93rd ed, U.S. Government Printing Office, 1974.
17. Małecka-Adamowicz M, Donderski W, Dokładna W. Microflora of Air in the Sewage Treatment Plant of Kapuściska in Bydgoszcz. Polish Journal of Environmental Studies 2011; 20(5): 1235-1242.
18. Haig CW, Mackay WG, Walker JT, Williams C. Bioaerosol sampling: sampling mechanisms, bioefficiency and field studies. J Hosp Infect 2016; 93(3): 242-255.
19. Brooks GF, Butel JS, Morse SA. Jawetz, Melnick & Adelberg's Medical Microbiology. 24thed. McGraw-Hill Medical; 2007.
20. Wlazło A, Pastuszka JS, Łudzeń-Izbińska B. Assessment of workers' exposure to airborne bacteria at a small wastewater treatment plant. Med Pr 2002; 53(2): 109-114.
21. Fernando NL, Fedorak PM. Changes at an activated sludge sewage treatment plant alter the numbers of airborne aerobic microorganisms. Water Res 2005; 39(19): 4597-4608.
22. Bauer H, Fuerhacker M, Zibuschka F, Schmid H, Puxbaum H. Bacteria and fungi in aerosols generated by two different types of wastewater treatment plants. Water Resh 2002; 36(16): 3965-3970.
23. Xu G, Han Y, Li L, Liu J. Characterization and source analysis of indoor/outdoor culturable airborne bacteria in a municipal wastewater treatment plant. J Environ Sci 2018; 74: 71-78.
24. Oppliger A, Hilfiker S, Vu Duc T. Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. Ann Occup Hyg 2005; 49(5): 393-400.
25. Li L, Gao M, Liu J. Distribution characterization of microbial aerosols emitted from a wastewater treatment plant using the Orbal oxidation ditch process. Process Biochemistry 2011; 46(4): 910-915.
26. Fracchia L, Pietronave S, Rinaldi M, Martinotti MG. Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. Water Res 2006; 40(10): 1985-1994.
27. Kruczalak K, Olanczuk-Neyman K. Microorganisms in the Air Over Wastewater Treamtment Plants. Pol J Environ Stud 2004; 13(5): 537-542.
28. Li L, Han Y, Liu J. Assessing genetic structure, diversity of bacterial aerosol from aeration system in an oxidation ditch wastewater treatment plant by culture methods and bio-molecular tools. Environ Monit Assess 2013; 185(1): 603-613.
29. Gangamma S, Patil RS, Mukherji S. Characterization and proinflammatory response of airborne biological particles from wastewater treatment plants. Environmental Sci Technol 2011; 45(8): 3282-3287.
30. Katsivela E, Latos E, Raisi L, Aleksandropoulou V, Lazaridis M. Particle size distribution of cultivable airborne microbes and inhalable particulate matter in a wastewater treatment plant facility. Aerobiologia 2017; 33(3): 297-314.
31. Korzeniewska E, Filipkowska Z, Gotkowska-Płachta A, Janczukowicz W, Dixon B, Czułowska M. Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. Water Res 2009; 43(11): 2841-2851.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]

32. Dutkiewicz J, Cholewa G, Sitkowska J, Krysinska-Traczyk E, Skorska C, Prazmo Z. Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. Ann Agric Environ Med 2003; 10(2): 241-248.
33. Kaarakainen P, Rintala H, Meklin T, Kärkkäinen P, Hyvärinen A, Nevalainen A. Concentrations and diversity of microbes from four local bioaerosol emission sources in Finland. J Air Waste Manag Assoc 2011; 61(12):1382-1392.
34. Vantarakis A, Paparrodopoulos S, Kokkinos P, Vantarakis G, Fragou K, Detorakis I. Impact on the quality of life when living close to a municipal wastewater treatment plant. J Environ Public Health 2016; 2016: 8467023.
35. Maharia S, Srivastava A. Influence of seasonal variation on concentration of fungal bioaerosol at a sewage treatment plant (STP) in Delhi. Aerobiologia 2015; 31(2): 249-260.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-29]