

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

Maryam Zare Bidaki¹,
Ahmadreza Yazdanbakhsh^{2,3},
Mehmoosh Abtahi Mohasel⁴,
Mona Ghazi⁵

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 Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Professor, Department 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/m²/h in summer and 535 and 899 CFU/m²/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)

بر میزان بیوآئروسول‌های 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 بیوآئروسول‌ها 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 (12، 13). در معرض قرار گرفتن افراد با بیوآئروسول‌ها 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 (2، 9، 4).

در نتایج مطالعه کرمانی و همکاران در یک تصفیه‌خانه گزارش شد که بیشترین غلظت باکتریایی مربوط به هاضم‌هوازی با میانگین 3303 CFU/Plate و کمترین میزان مربوط به دانه‌گیری با میانگین 568 CFU/Plate بود. هم‌چنین بیشترین آلودگی قارچی مربوط به دانه‌گیری با میانگین 61 CFU/Plate و کمترین میزان مربوط به هوادهی با میانگین 41 CFU/Plate بود. از بین باکتری‌ها، گونه‌های باسیلوس، استافیلوکوکوس و میکروکوکوس و از بین قارچ‌ها، گونه‌های کلادوسپوریوم، آلترناریا و پنی‌سیلیوم 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 بیوآئروسول‌ها نقش به‌سزایی دارند (2). در مطالعه Sánchez-Monedero و همکاران در سال 2008 گزارش شد که سیستم‌های

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، بیوآئروسول‌هایی 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 تصفیه‌خانه‌ها، مهم‌ترین منابع در انتشار بیوآئروسول‌ها 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 لجن‌فعال سبب تولید مقدار زیادی از بیوآئروسول‌ها می‌شود هم‌چنین تعداد میکروارگانیسم‌ها با افزایش اندازه حباب‌ها افزایش می‌یابد (6، 7). 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 (4، 2). 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 فرآیند تصفیه فاضلاب،

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 قارچ ها

مواد و محیط های کشت مورد استفاده در این مطالعه شامل نوترینت آگار (مرک، آلمان) برای باکتری های هتروتروف گرم مثبت، مکانکی آگار (مرک، آلمان) برای باکتری های هتروتروف گرم منفی و محیط کشت ساپروکستروز آگار (مرک، آلمان) برای تعیین و تشخیص قارچ ها بود. محیط های کشت طبق دستورالعمل در آزمایشگاه، تهیه و در پلیت ها ریخته شده و در شرایط استریل به محل نمونه برداری منتقل شدند. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از رشد قارچ ها در محیط های کشت باکتریایی آنتی بیوتیک سیکلوهگزامید ($500 \mu\text{g/l}$) در هنگام آماده سازی محیط کشت و برای جلوگیری از رشد باکتری ها در محیط های کشت قارچی آنتی بیوتیک کلرامفنیکل (50 mg/l) در هنگام آماده سازی محیط کشت اضافه شدند (13). بعد از نمونه برداری پلیت های حاوی نمونه در آزمایشگاه به منظور شناسایی باکتری ها در انکوباتور در دمای $37 \pm 0/5$ درجه سانتی گراد به مدت 24 ساعت و برای شناسایی قارچ ها در دمای 25 درجه سانتی گراد به مدت 5 روز قرار گرفتند (18). سپس کلنی های رشد یافته بر روی پلیت ها شمارش شد و تعداد کلنی ها بر اساس CFU/Plate شمارش و بر حسب CFU/m²/h تبدیل و ثبت گردید (17، 15). سپس آزمایشات تشخیص جنس و گونه باکتری ها و قارچ ها روی آن ها انجام گرفت.

برای تشخیص جنس باکتری گرم منفی از محیط کشت EMB آگار و آزمون های افتراقی (آزمون سترات، TSI و غیره) استفاده شد و برای جدا سازی باکتری های گرم منفی روده ای از محیط مکانکی آگار

هوادهی با تجهیزات مکانیکی از قبیل چرخنده های افقی و توربین های سطحی، غلظت زیادی از بیوآئروسول ها ($4850-450 \text{ CFU/m}^3$) نسبت به هوادهی های دیفیوزری ($57-22 \text{ CFU/m}^3$) به هوا منتشر می کنند (7).

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

به طور کلی مطالعات در رابطه با تاثیر نوع سیستم های هوادهی در تصفیه خانه فاضلاب بر انتشار غلظت و نوع بیوآئروسول ها محدود می باشد. لذا هدف از این مطالعه بررسی تراکم و نوع باکتری ها در هوای اطراف واحدهای مختلف تصفیه خانه های فاضلاب شهری با هوادهی سطحی و عمقی می باشد.

مواد و روش ها

محل و روش نمونه برداری

این مطالعه در تصفیه خانه های فاضلاب شهرک غرب و شهرک اکباتان تهران در مدت 60 روز در فصل تابستان و پاییز سال 1396 انجام گرفت. خصوصیات تصفیه خانه ها در جدول شماره 1 ارائه شده است. واحدهای مورد مطالعه علاوه بر هوادهی، واحدهای دانه گیر، ته نشینی ثانویه و دو نقطه کنترل (بالادست و پایین دست جریان باد) در نظر گرفته شد. نمونه برداری بر اساس توصیه سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، هر 6 روز یک بار انجام شد (14، 4). بر اساس روش های استاندارد ملاحظات در انتخاب محل نمونه برداری شامل: فاصله محل نمونه برداری 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 (16، 4) در نظر گرفته شد. نمونه برداری به روش غیر فعال انجام گرفت. جهت نمونه برداری از پلیت هایی با قطر 9 سانتی متر و مدت زمان نمونه برداری 1 ساعت استفاده شد (17، 15).

پیگمان، رنگ پشت کلنی استفاده شد (13).

تجزیه و تحلیل داده ها

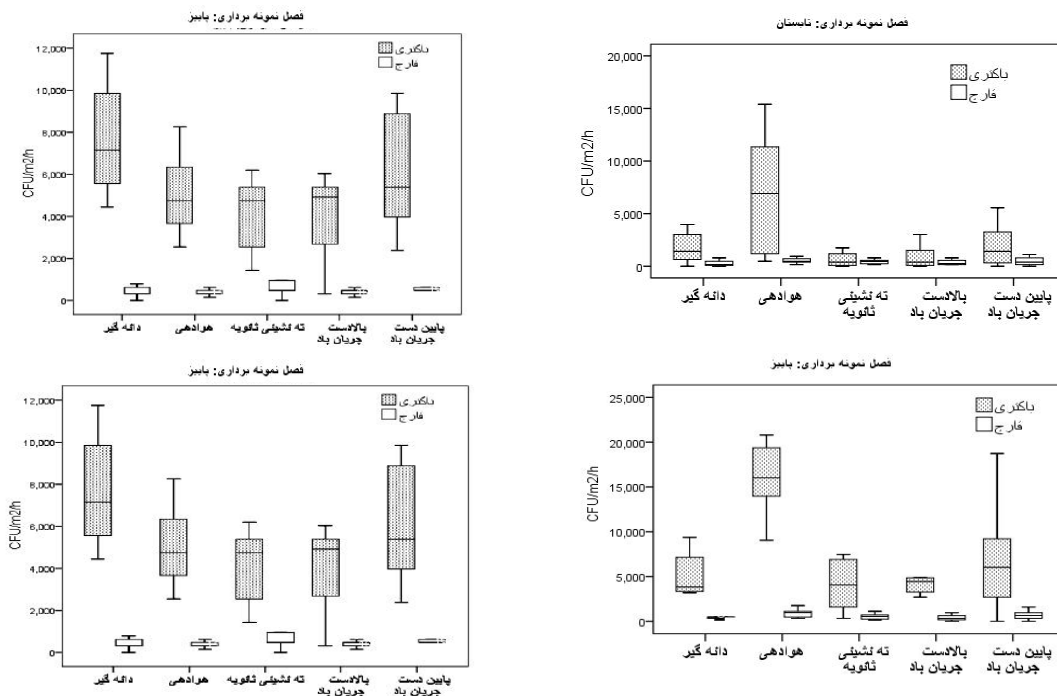
یافته ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 21 تجزیه و تحلیل شدند. ابتدا نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون های آماری کولموگراف - اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. به منظور مقایسه بیواثروسل های شناسایی شده در نقاط نمونه برداری تصفیه خانه شهرک غرب با تصفیه خانه شهرک اکباتان در هوای اطراف واحد هوادهی در دو تصفیه خانه از آزمون های آماری Independent t-test استفاده شد. سطح معنی داری در آزمون ها 0/05 در نظر گرفته شد.

یافته ها

غلظت بیواثروسل ها در نواحی مختلف تصفیه خانه ها نمودار شماره 1 و 2 به ترتیب غلظت بیواثروسل ها در هوای اطراف واحدهای مختلف تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب با هوادهی سطحی و تصفیه خانه اکباتان با هوادهی عمقی و هم چنین نقاط بالا دست و پایین دست جریان باد را نشان می دهند.

غلظت، جنس و گونه های غالب بیواثروسل های شناسایی شده در نقاط نمونه برداری تصفیه خانه ها نتایج مربوط به غلظت، جنس و گونه باکتری های 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. هم چنین در جداول شماره 4 و 5 جنس و گونه باکتری های گرم مثبت به ترتیب برای تصفیه خانه شهرک غرب با هوادهی سطحی و تصفیه خانه اکباتان با هوادهی عمقی ارائه شده است. جداول شماره 6 و 7، غلظت و جنس بیواثروسل های قارچی شناسایی شده از نقاط نمونه برداری تصفیه خانه های فاضلاب را نشان می دهد.

که یک محیط افتراقی حاوی لاکتوز، املاح صفراوی و کریستال و بوله می باشد استفاده شد. بر روی این محیط کشت کلنی باکتری های تخمیر کننده لاکتوز مانند اتروباکتریاسه ها، صورتی رنگ و بقیه کلنی ها بی رنگ هستند. از آزمون های استاندارد اندول (با محیط کشت تربیتوفان برات و معرف کواکس)، متیل رد (با محیط کشت MRVP و معرف متیل رد)، و وگوس پرسکوئر (با محیط کشت MRVP و معرف هیروکسید پتاسیوم و آلfa نفتول)، سترات (با محیط کشت سیمون سترات) و تربیل شوگر آبرون (TSD) (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 باکتری های گرم منفی مانند اشرشیا، کلبسیلا، اتروباکتر، پروتئوس، سالمونلا، سراشیا و شیکلا استفاده شد (13,6,4). برای تعیین و تشخیص باکتری های گرم مثبت از محیط کشت نوترینت آگار استفاده شد. در این محیط کشت، کلنی های موجود بر سطح محیط کشت از لحاظ رنگ، شکل و اندازه مورد بررسی قرار گرفتند و از آن ها لام برای انجام رنگ آمیزی تهیه شد برای تشخیص جنس و گونه باکتری ها آزمون های افتراقی کاتالاز برای تعیین استافیلوکوک و استرپتوکوک، تست با سیترا سین برای تشخیص استافیلوکوک از میکروکوک، تست مانیتول سالت آگار برای جداسازی استافیلوکوک اورئوس از سایر استافیلوکوک ها و تست حساسیت به دیسک نوویوسین برای جداسازی استافیلوکوک اپیدرمیدیس از استافیلوکوک ساپروفیتیکوس، تست حرکت برای تشخیص باسیلوس آنتراسیس از باسیلوس سویتیلیس استفاده شد (19,18). برای تشخیص افتراقی انواع قارچ ها، 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



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

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

جدول شماره 2: بیوآروسل های باکتریایی گرم منفی شناسایی شده در تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب (CFU/m³/h)

باکتری	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
اشرشیاکلی	تابستان	0	0	0	793/65	1428/57	158/73	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	317/46	35/27	1922/39	4444/44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	تابستان	0	0	0	178/57	952/38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
کلبیلا	تابستان	0	0	0	123/45	1111/11	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 3: بیوآروسل های باکتریایی گرم منفی شناسایی شده در تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان (CFU/m³/h)

باکتری	فصل	دانه گیر			هوادهی			ته نشینی ثانویه			بالادست باد			پایین دست باد		
		میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
اشرشیاکلی	تابستان	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	پاییز	0	793/65	370/37	17/63	158/73	0	0	0	0	0	0	0	0	476/19	70/54
کلبیلا	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: بیوآروسل های باکتریایی گرم مثبت شناسایی شده در تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب (CFU/m³/h)

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

بحث

ثانویه با میانگین $846/56 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ بیشترین نقش را در انتشار قارچ‌های هوارد داشته‌اند.

واحد ته‌نشینی ثانویه در فصل تابستان با میانگین $436/50 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ و در فصل پاییز واحد هوادهی با میانگین $352/73 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ کمترین نقش را در انتشار قارچ‌های هوارد داشته‌اند. همچنین غلظت قارچ‌های هوارد 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 Fernando (20)، Whlzlzo (21)، Filipkowska (2)، Bauer (22)، Xu (23)، Malecka (17) و Oppliger (24) انجام شده است، واحد هوادهی را به عنوان عامل اصلی انتشار بیوآئروسول‌ها معرفی کرده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، میانگین کل غلظت باکتری‌ها و قارچ‌های هوارد در واحد هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب بیش‌تر از واحد هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان است. در هوادهی سطحی، اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد آلی توسط هوادهایی که بر روی سطح فاضلاب قرار گرفته و با اختلاط مکانیکی فاضلاب توسط هوادهای فراهم می‌شود بنابراین، سبب افزایش انتشار بیوآئروسول‌ها در هوا می‌شوند (19، 20، 21-25).

بنابراین نوع سیستم‌های هوادهی در میزان تولید بیوآئروسول‌ها نقش به‌سزایی 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 بیوآئروسول‌های شناسایی شده در واحدهای دانه‌گیر، ته‌نشینی ثانویه و نقاط کنترل در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب با تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان تفاوت معناداری مشاهده نشد.

با توجه به نمودار شماره 1 در فصول نمونه‌برداری، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب، واحد هوادهی، بیوآئروسول‌های باکتریایی بیش‌تری را به هوا منتشر می‌کند. میانگین بیوآئروسول‌های باکتریایی منتشر شده از واحد هوادهی در فصل تابستان $6845/23 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ و در فصل پاییز $15784/83 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ می‌باشد. همچنین واحد ته‌نشینی ثانویه در این تصفیه‌خانه، بیوآئروسول‌های باکتریایی کم‌تری را به هوا منتشر می‌کند. میانگین غلظت باکتری‌ها در نقطه کنترل بالادست باد در مقایسه با غلظت باکتری‌های هوارد 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 هوارد را در فصل تابستان با میانگین $535/71 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ و در فصل پاییز با میانگین $899/47 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ داشته است. واحد دانه‌گیر کم‌ترین انتشار بیوآئروسول‌های قارچی در فصل تابستان با میانگین $277/77 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ و در فصل پاییز با میانگین $511/46 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ داشته است. با توجه به نمودار شماره 2، در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان، بیش‌ترین انتشار بیوآئروسول‌های باکتریایی در فصل تابستان مربوط به واحد هوادهی با میانگین $2123/01 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ و در فصل پاییز در واحد دانه‌گیر با میانگین $7513/22 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ می‌باشد. کم‌ترین انتشار بیوآئروسول‌های 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 هوارد 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 $674/60 \text{ CFU/m}^2/\text{h}$ و در فصل پاییز واحد ته‌نشینی

جنس و گونه های غالب باکتری ها و قارچ ها

در هوای دو تصفیه خانه مورد مطالعه باکتری های گرم منفی اشرشیاکلی و کلبسیلا یافت شد. با توجه به جدول شماره 2، در تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب، باکتری اشرشیاکلی در هوای واحدهای دانه گیر و هوادهی و باکتری کلبسیلا فقط در هوای واحد هوادهی شناسایی شد. با توجه به نتایج، در این تصفیه خانه، واحد هوادهی باکتری های گرم منفی بیش تری را به هوا منتشر می کند. هم چنین در فصل پاییز میانگین غلظت باکتری های گرم منفی هوای در این تصفیه خانه بیش تر بود. می توان نتیجه گرفت که سیستم هوادهی سطحی به دلیل تلاطم و اختلاط شدید فاضلاب سبب انتشار میکروارگانیسم های مدفوعی به هوا می شود. با توجه به جدول شماره 3، در تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان، باکتری اشرشیاکلی در هوای واحدهای دانه گیر و هوادهی و نقطه کنترل پایین دست باد و باکتری کلبسیلا فقط در هوای واحد دانه گیر یافت شد. در نتیجه در این تصفیه خانه، واحد دانه گیر باکتری های گرم منفی بیش تری را به هوا منتشر می کند. در مطالعه مشابهی که توسط Gangamma و همکاران انجام شد، سودوموناس و اشرشیا باکتری های گرم منفی غالب در تصفیه خانه ها بودند. برخلاف اشرشیا، سودوموناس جز باکتری های اترئوباکتریاسه نمی باشد. فراوانی اشرشیا در هوای نمونه برداری شده از تصفیه خانه های فاضلاب مورد مطالعه، 17 درصد بود (29).

در مطالعه مشابهی که توسط Katsivela و همکاران انجام شده است، میانگین غلظت کل کلی فرم ها در طی نمونه برداری در واحد دانه گیر مجهز به هوادهی 27 ± 29 CFU/m³ گزارش شده است در حالی که در تانک ته نشینی اولیه و نقطه کنترل یافت نشده است (30). در مطالعه انجام شده توسط Korzeniewska و همکاران، در نمونه های هوای جمع آوری شده از نزدیکی تجهیزات مکانیکی (دانه گیر) باکتری گرم منفی اترئوباکتر و در تصفیه بیولوژیکی با هوادهی عمقی باکتری های گرم

منفی سیتروباکتر، اشرشیاکلی، سراسیا، شیگلا شناسایی شدند. بیش ترین غلظت باکتری های اترئوباکتریاسه ($500-100$ CFU/m³) 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، اترئوکوک و کلسترییدیوم شناسایی شدند. با توجه به جدول شماره 4، در تصفیه خانه فاضلاب شهرک غرب، در فصل تابستان بیوآئروسل باسیلوس سوبتیلیس در واحدها و نقاط کنترل نمونه برداری شده غالب بود. در فصل پاییز باکتری هوای میکروکوک در واحد دانه گیر و نقطه کنترل بالادست باد و باکتری باسیلوس سوبتیلیس در بقیه واحدهای نمونه برداری و نقطه کنترل پایین دست باد غالب بود. با توجه به جدول شماره 5، در تصفیه خانه شهرک اکباتان، در فصل تابستان و پاییز، بیوآئروسل باسیلوس سوبتیلیس در واحدها و نقاط کنترل تصفیه خانه غالب بود. به طور کلی با توجه به نتایج، غالب بودن باکتری باسیلوس سوبتیلیس در هوای تصفیه خانه های فاضلاب مطالعه حاضر را می توان به این امر نسبت داد که گونه های باسیلوس به دلیل توانایی در تجزیه زیستی ترکیبات آلی و ترکیبات خطرناک در فاضلاب به طور وسیعی در فاضلاب حضور دارند و به صورت بیوآئروسل در تصفیه خانه های فاضلاب منتشر می شوند (9، 28).

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

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

جداول شماره 6 و 7، غلظت و جنس بیوآئروسول‌های 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 طور کلی 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 در فصل تابستان و پاییز یافت شدند. قارچ‌های آسپرژیلوس نایجر، پنی‌سیلیوم، 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 بیش‌ترین پتانسیل را در واکنش‌های آلرژیک دارند (۳۵، ۱۹، ۲).

این مطالعه گرچه تخمینی از میزان غلظت بیوآئروسول‌ها و نوع آن‌ها در اطراف واحدهای مهم تصفیه‌خانه فاضلاب و هم‌چنین مقایسه دو روش هوادهی در انتشار بیوآئروسول‌ها را در دو فصل تابستان 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 نمونه‌برداری فعال و غیر فعال اشاره نمود.

در پایان می‌توان نتیجه گرفت کرد که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به خصوص با سیستم هوادهی سطحی به عنوان عامل مهم در انتشار بیوآئروسول‌های باکتریایی و قارچی عمل می‌نمایند. هم‌چنین در این مطالعه مشخص شد واحدهای هوادهی و دانه‌گیر در هر

دو تصفیه‌خانه بیش‌ترین بیوآئروسول‌ها را به هوا پراکنده می‌نمایند. با توجه به این‌که میکروارگانسیم‌های منتشر شده، سلامت کارکنان تصفیه‌خانه و ساکنین اطراف تصفیه‌خانه فاضلاب را به خطر می‌اندازد و مسیر استنشاق مهم‌ترین مسیر در معرض قرار گرفتن با بیوآئروسول‌ها برای کارکنان تصفیه‌خانه و ساکنان اطراف تصفیه‌خانه می‌باشد، لذا تولید بیوآئروسول‌ها باید در محل منبع انتشار میکروارگانسیم‌ها به هوا در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کنترل شود. از جمله اقداماتی که می‌توان برای کاهش تولید بیوآئروسول‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب انجام داد، شامل طراحی تجهیزاتی برای جلوگیری از در معرض قرار گرفتن مستقیم فاضلاب خام با هوا، جلوگیری از آشفته‌گی مکانیکی فاضلاب خام در حوضچه‌های سر‌باز و حتی الامکان استفاده از هوادهی عمقی به جای هوادهی سطحی در تانک‌های هوادهی می‌باشد. برای تعیین مخاطرات بهداشتی بیوآئروسول‌ها مطالعات بیش‌تر با بازه زمانی طولانی‌تر و با مقایسه دو روش نمونه‌برداری فعال و غیر فعال و هم‌چنین تعیین اثرات بیوآئروسول‌ها بر سلامت افراد در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت بالاتر پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج پایان‌نامه 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.

References

1. Michałkiewicz M, Pruss A, Dymaczewski Z, Jez-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, Miałkiewicz-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 bacteria and fungi in Tehran's Shahrake Ghods WWTP and its

- 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. Malecka-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. Wlaziło 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 Treatment 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, Czulowska M. Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water Res* 2009; 43(11): 2841-2851.

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.