



ORIGINAL ARTICLE

Received:2021/09/22

Accepted:2021/12/25

**Investigation of the Bacterial Bioaerosols in the Air of the Wastewater Treatment Plant of Jahanabad Industrial Town of Meybod**

**Mohammad Salaree (M.Sc.)<sup>1</sup>, Mohammad Hasan Ehrampoush (Ph.D.)<sup>2</sup>, Fahimeh Teimouri (Ph.D.)<sup>3</sup>, Maryam Sadeh (Ph.D.)<sup>4</sup>, Farzan Madadzadeh (Ph.D.)<sup>5</sup>, Gilda Eslami (Ph.D.)<sup>6</sup>, Zahra Sotanianzadeh (Ph.D.)<sup>7</sup>, Ali Asghar Ebrahimi (Ph.D.)<sup>8</sup>**

1.M.Sc. Student of Environmental Health Engineering, School of public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

2.Professor, Environmental Science and Technology Research Center, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

3.Assistant Professor, Environmental Science and Technology Research Center, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

4.Assistant Professor, Department of laboratory sciences, School of Paramedics, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

5.Assistant Professor, Departments of biostatistics and Epidemiology, School of public health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

6.Associate Professor, Research Center for Food Hygiene and Safety ,School of Public Health ,Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

7.M.Sc. Environmental Science and Technology Research Center, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

8.Corresponding Author:Associate Professor, Environmental Science and Technology Research Center, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

Email: ebrahimi20007[at]ssu.ac.ir

Tel:09132679641

**Abstract**

**Introduction:** In recent decades, with the emergence of new industrial activities and an increase in waste production, industries require the existence of treatment equipment and sanitation. The equipment sometimes spreads infectious microorganisms into the air. These industries include waste recycling industries and wastewater treatment plants. Bioaerosols are produced at different stages of the wastewater treatment process, especially in processes, such as mobile mechanisms and aeration. This study aimed to investigate the bacterial bioaerosols in the air of the wastewater treatment plant in Jahanabad industrial town of Meybod.

**Methods:** In this study, air sampling was performed from different units of the treatment plant and indoor air. The plates were placed in an incubator for 24-48 hours at a temperature of 35-37 °C. Then the number of bacterial colonies grown on the culture media was counted and recorded as CFU/m<sup>3</sup>.

**Results:** The results showed that the mean population of bacterial aerosols was higher in summer than in spring. Moreover, the highest bacterial population was observed in spring in indoor air with mean value of 187.58±13.41 CFU/m<sup>3</sup> and in summer in an equalization unit with mean value of 202.89±12.11 CFU/m<sup>3</sup>.

**Conclusion:** The study indicated that the number of bacterial bioaerosols increases in warm seasons. Also, the equalization unit has a high ability to produce bacterial bioaerosols. Moreover, increasing the distance from the source of contamination causes a significant reduction in the number of bacterial bioaerosols.

**Keywords:** Bioaerosol, Industrial Wastewater, Bacteria, Active Sampling

**Conflict of interest:** The authors declared that there is no Conflict interest



**This Paper Should be Cited as:**

Author: Mohammad Salaree, Mohammad Hasan Ehrampoush, Fahimeh Teimouri, Maryam Sadeh, Farzan Madadzadeh, Gilda Eslami, Zahra Sotanianzadeh, Ali Asghar Ebrahimi . Investigation of the Bacterial Bioaerosols in the Air of Wastewater .....Tolooebehdasht Journal.2022;20(6):15-32.[Persian]



## بررسی جمعیت بیوآئروسل های باکتریایی موجود در هوای تصفیه خانه فاضلاب شهر ک

### صنعتی جهان آباد میبد

نویسندگان: محمد سالاری<sup>۱</sup>، محمد حسن احرامپوش<sup>۲</sup>، فهیمه تیموری<sup>۳</sup>، مریم ساده<sup>۴</sup>، فرزانه مددی زاده<sup>۵</sup>،

گیلدا اسلامی<sup>۶</sup>، زهرا سلطانیان زاده<sup>۷</sup>، علی اصغر ابراهیمی<sup>۸</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۲. استاد مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۳. استادیار مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۴. استادیار باکتری شناسی، گروه علوم آزمایشگاهی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۵. استادیار گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران.
۶. دانشیار مرکز تحقیقات سلامت و ایمنی غذا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۷. کارشناس ارشد محیط زیست، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران.
۸. نویسنده مسئول: دانشیار مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران. تلفن تماس: ۰۹۱۳۲۶۷۹۶۴۱ Email: ebrahimi20007[at]ssu.ac.ir

### چکیده

**مقدمه:** در دهه های اخیر با به وجود آمدن فعالیت های صنعتی جدید و افزایش تولید مواد زائد، این صنایع نیازمند وجود تجهیزات تصفیه و دفع بهداشتی می باشند. این تجهیزات بعضاً سبب انتشار میکروارگانیسم های بیماری زا به هوا می شوند. صنایع بازیافت مواد زائد و تصفیه خانه های فاضلاب از آن جمله هستند. بیوآئروسل ها در مراحل مختلف فرایند تصفیه فاضلاب به ویژه در فرآیندهایی که شامل مکانیزم های متحرک و هوادهی می باشد، تولید می شوند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی بیوآئروسل های باکتریایی موجود در هوای تصفیه خانه فاضلاب شهر ک صنعتی جهان آباد میبد بوده است.

**روش بررسی:** در این مطالعه از هوای واحدهای مختلف تصفیه خانه و نیز از هوای داخل ساختمان نمونه برداری انجام گردید. پس از نمونه برداری، پلیت های حاوی نمونه به مدت ۴۸ - ۲۴ ساعت داخل انکوباتور و در دمای ۳۵ تا ۳۷ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس تعداد کلنی های باکتریایی رشد کرده بر روی محیط های کشت شمارش و به صورت واحد  $CFU/m^3$  ثبت شدند.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که میانگین جمعیت آئروسل های باکتریایی در فصل تابستان بیشتر از فصل بهار بود. هم چنین بیشترین جمعیت باکتری ها در فصل بهار در هوای داخل ساختمان با میانگین  $CFU/m^3$   $13/41 \pm 187/58$  و در فصل تابستان در واحد متعادل ساز با میانگین  $CFU/m^3$   $12/11 \pm 202/89$  مشاهده شد.

**نتیجه گیری:** یافته های حاصل از این مطالعه نشان داد که تعداد بیوآئروسل های باکتریایی در فصول گرم افزایش یافته است. همچنین واحد متعادل ساز دارای توانایی بالایی در تولید و انتشار بیوآئروسل های باکتریایی می باشد. همچنین افزایش فاصله از منبع آلودگی، سبب کاهش چشم گیر در تعداد بیوآئروسل های باکتریایی شده است.

**واژه های کلیدی:** بیوآئروسل، فاضلاب صنعتی، باکتری، نمونه برداری فعال.

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می باشد.

## طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال بیستم

شماره ششم

بهمن و اسفند ۱۴۰۰

شماره مسلسل: ۹۰

تاریخ وصول: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴



## مقدمه

آلودگی‌های محیط‌زیست را می‌توان به دو علت دارای اهمیت دانست، اول به علت پخش آلاینده در طبیعت و مراکز شهری و دوم به علت آلوده شدن خود مراکز تولیدکننده آلودگی که می‌تواند برای کارکنان مراکز و محیط اطراف آن مرکز اثر منفی داشته باشد (۱). در دهه‌های اخیر با افزایش رشد جمعیت و با به وجود آمدن فعالیت‌های صنعتی جدید، تولید مواد زائد افزایش یافته است که نیازمند وجود امکانات و تجهیزات تصفیه و دفع بهداشتی می‌باشد. این تجهیزات بعضاً سبب انتشار میکروارگانیسم‌های عفونی به هوا می‌شوند. صنایع بازیافت مواد زائد، تهیه کمپوست و همچنین تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، از آن جمله هستند (۱،۲).

بیوآئروسول‌ها ذرات بیولوژیکی پراکنده در هوا هستند که شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها، اندوتوکسین باکتریایی، سموم قارچی، گرده و فیبرهای گیاهی می‌باشند که اثرات قابل توجهی بر روی سلامتی دارند (۱). تماس با بیوآئروسول‌ها شامل اثرات بهداشتی وسیعی می‌شود. قرار گرفتن در معرض آن‌ها سبب ایجاد بیماری‌های پوستی، آلرژی حاد، اثرات سمی در بدن، سرطان، خستگی، سردرد، علائم تنفسی، گوارشی، خطر ابتلا به سرطان معده، پروستات، حنجره، کبد، خون و همچنین عوارض عصبی می‌شود (۳-۵، ۱). سندروم کارکنان تصفیه‌خانه فاضلاب، از دیگر بیماری‌های مرتبط است که علائمی چون ضعف، کسالت، تب، التهاب مخاط بینی و بیماری‌های دستگاه گوارشی را شامل می‌شود (۶،۷).

فاضلاب شهری که به یک تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب می‌رسد، حاوی عوامل بیماری‌زای بسیاری از جمله ویروس‌ها، باکتری‌ها،

قارچ‌ها و پروتوزواها است (۵). فلذا تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانند به روش‌های مختلف بر سلامت محیط تأثیر بگذارند. این تأثیرات بسته به اندازه‌ی تصفیه‌خانه فاضلاب، فناوری و روش‌های تصفیه، بستگی دارد (۸).

بیوآئروسول‌ها در مراحل مختلف فرایند تصفیه فاضلاب به ویژه در فرآیندهایی که شامل مکانیزم‌های متحرک و هوادهی فاضلاب انجام می‌شود، تولید می‌شوند (۹، ۱۰). فوران حباب‌های تولیدشده توسط هوادهی و همزن مکانیکی فاضلاب می‌تواند باعث تولید ذرات بیوآئروسول شده و باعث ورود باکتری‌ها و قارچ‌ها به هوا شود (۱۱). میکروارگانیسم‌های با قطر کمتر از  $4/7$  میکرومتر که در حین تصفیه به هوا منتقل می‌شوند، به دلیل اندازه کوچک، به راحتی وارد ریه شده که باعث ایجاد عفونت در افراد دارای نقص ایمنی می‌شود (۵، ۲). هم چنین این ذرات به دلیل آن‌که می‌تواند توسط باد صدها کیلومتر را در هوا طی کنند، علاوه بر کارگران تصفیه‌خانه، برای ساکنین محلی هم خطر آفرین هستند (۲).

تحقیقات نشان داده است که در معرض قرار گرفتن با بیوآئروسول‌ها از طریق استنشاق  $10^5$  برابر بیشتر از تماس پوستی است (۱۲). خطر بالقوه ناشی از بیوآئروسول‌ها به بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌های خاص، عوامل محیطی، میزان و نوع قرار گرفتن در معرض و پاسخ ایمنونولوژیک افراد مربوط می‌شود (۱۳). زنده ماندن میکروارگانیسم‌های موجود در جو به چندین عامل محیطی مانند اشعه ماوراءبنفش، دما، رطوبت، فشار و نوع میکروارگانیسم‌ها بستگی دارد (۸). مطالعات صورت گرفته در زمینه اندازه‌گیری میزان انتشار بیوآئروسول‌ها از فرآیندهای تصفیه فاضلاب، نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه‌های



فاضلاب، بسته به عواملی نظیر نوع و اندازه تصفیه‌خانه، زمان اندازه‌گیری و نوع سیستم هوادهی، مقادیر بسیار متفاوتی از بیوآئروسول‌ها را تولید می‌کنند (۴،۱۴).

از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه Kowalski و همکاران، در سال ۲۰۱۷ بر روی باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد جمع‌آوری شده در تصفیه‌خانه‌های مختلف فاضلاب لهستان اشاره کرد که در آن سطح غلظت باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد در تمام نقاط تصفیه‌خانه بین  $10^2$  تا  $10^3$  CFU/m<sup>3</sup> بود (۱۵).

هم چنین نتایج مطالعه‌ی Wenjie و همکاران نشان داد که بیشترین غلظت باکتری‌های هوا  $4155 \pm 550$  CFU/m<sup>3</sup> در تابستان و پایین‌ترین غلظت باکتری‌ها  $1458 \pm 434$  CFU/m<sup>3</sup> در زمستان بوده است (۱۶). برخی دیگر از مطالعات از جمله مطالعه‌ی Wenjie و همکاران (۱۶) و Grisoli و همکاران (۱۷) نیز مؤید این مطلب بودند که فصل به‌طور کلی بر غلظت باکتری‌ها تأثیر می‌گذارد و در تابستان بیشتر از زمستان است.

طبق یافته‌های مطالعه‌ی Pascual و همکاران، پیش تصفیه و ته‌نشینی اولیه مراحل با بیشترین میزان انتشار بیوآئروسول‌ها هستند (۱۰). هم چنین نتیجه مطالعه Karra و همکاران نشان داد که کاهش زیادی در میزان میکروارگانیزم‌های هوابرد از تصفیه‌ی اولیه به سمت تصفیه‌ی پیشرفته دیده می‌شود (۱۸). طبق یافته‌های Stellacci و همکاران می‌توان گفت که در بدترین حالت آب و هوایی، فاصله ۳۰۰ متری برای ایمنی از خطرات ناشی از وجود بیوآئروسول‌های حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب برای مردم منطقه کافی است (۱۹). تاکنون مطالعات متعددی در مورد اندازه‌گیری جمعیت بیوآئروسول‌ها در هوای بیمارستان‌ها، خانه‌های مسکونی و... صورت گرفته است اما در مورد

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که روزانه افراد متعددی در آنجا فعالیت می‌کنند، به‌ویژه تصفیه‌خانه‌های شهرک‌های صنعتی، اطلاعات کمی وجود دارد، بنابراین مطالعه در زمینه اندازه‌گیری و شناسایی باکتری‌های هوابرد در این تصفیه‌خانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی آگاهی از میزان تراکم بیوآئروسول‌ها در هوای واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب، لازمه انجام اقدامات کنترلی به منظور حفاظت و سلامت کارکنان در این واحدهاست؛ بنابراین این پژوهش باهدف اندازه‌گیری بیوآئروسول‌های موجود در هوای تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهرک صنعتی جهان‌آباد میباید انجام شد.

### روش بررسی

این مطالعه از نوع توصیفی بوده که در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی جهان‌آباد میباید و در مقطع زمانی ۶ ماه (دو فصل بهار و تابستان) در سال ۹۹ انجام گرفت. شهرک صنعتی جهان‌آباد میباید واقع در ۳۰ کیلومتری یزد (۵۴ درجه و ۴۵ ثانیه طول جغرافیایی (۵۴/۰۰/۴۵) و ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۵ ثانیه عرض جغرافیایی (۳۲/۱۴/۴۵) و ارتفاع آن از سطح دریا به‌طور متوسط ۱۲۳۴ متر می‌باشد)، با دارا بودن ۴۵ هکتار محدوده‌ی مشخص در سال ۱۳۷۰ تأسیس شده است.

در این شهرک ۱۹۰ واحد صنعتی اعم از صنایع غذایی، نساجی، سلولزی، برق و الکترونیک، فلزی، پتروشیمی و کاشی و سرامیک، فعالیت دارند. سرانه‌ی تولید فاضلاب این شهرک، ۱۳۳۲ مترمکعب در روز است. از واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب این شهرک می‌توان ایستگاه پمپاژ، متعادل ساز، بی‌هوازی، هوازی، ته‌نشینی، کلرزنی و فیلتراسیون را نام برد.



در هر بار نمونه‌برداری لازم بود شرایط استریل برای نمونه‌ها مهیا گردد، از این رو پیش از آنکه محیط کشت در داخل نمونه‌بردار قرار گیرد، محفظه با استفاده از الکل اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی و خشک شد تا هرگونه آلودگی اولیه زدوده شود (۲۰، ۱). بعد از انجام نمونه‌برداری، برای جلوگیری از آلودگی ثانویه و ایجاد خطا، درب پلیت‌ها با پارافیلیم بسته شدند و درون کیسه پلاستیکی غیرقابل نفوذ زیپ‌دار قرار داده و با Cold box به آزمایشگاه انتقال داده شدند (۲۱). سپس نمونه‌ها درون انکوباتور با دمای  $37 \pm 0.5$  به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت قرار گرفتند (۲۲).

تعداد کلنی‌های باکتریایی رشد کرده بر روی محیط‌های کشت شمارش و به صورت واحد  $CFU/m^3$  انجام شد (۲۰). در نهایت داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و Excel تجزیه و تحلیل شدند. با استفاده از آنالیزهای آماری T-test مستقل، تحلیل واریانس ولج و آزمون بون فرونی در نرم‌افزار SPSS درستی فرضیه‌ها تجزیه و تحلیل گردید و با استفاده از نرم‌افزار Excel بر روی داده‌های حاصل از نتایج آزمایشگاهی، محاسبات لازم انجام شد.

#### یافته‌ها

در جدول ۱ و نمودار ۱، میانگین جمعیت بیوآئروسل‌های باکتریایی نشان داده شده است. نتایج مندرج در جدول، نشان داد که در فصول بهار و تابستان میانگین تعداد باکتری‌ها برحسب  $CFU/m^3$  در نقاط مختلف نمونه‌برداری یکسان نبود ( $P < 0.001$ ).

همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، نتایج آزمون تحلیل واریانس ولج نشان داد که بیشترین غلظت باکتری‌ها در

در این پژوهش نمونه‌ها از سه واحد ایستگاه پمپاژ، حوضچه هوازی و فیلتراسیون و در ارتفاع حدود ۱/۵ متری و به فاصله‌ی ۱ متر از دیوارها برداشت شدند. همچنین از فاصله‌ی ۱۰۰ متری پایین‌دست و ۱۰۰ متری بالادست تصفیه‌خانه و نیز از هوای داخل ساختمان نمونه‌برداری انجام گردید (۱، ۲).

نمونه‌برداری بیوآئروسل‌های باکتریایی بر اساس روش موسسه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (NIOSH) طبق استاندارد (NIOSH -0800) و نیز توصیه‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) در سال ۲۰۱۳ انجام شد و با استفاده از پمپ نمونه‌برداری ABC (مدل AS26) و ایمکتور تک مرحله‌ای Biostage (مدل SKS ساخت کشور آمریکا) با دبی  $28/3 L/min$  و مدت‌زمان یک ربع، ماهی دو بار و با استفاده از پلیت‌های ۹ سانتیمتری انجام گرفت.

جهت انتقال پلیت‌ها به محل نمونه‌برداری، آن‌ها به صورت وارونه در داخل جعبه مخصوص حمل و نقل (که حاوی یخ خشک بودند) قرار گرفتند. به منظور بررسی شرایط استریل در هنگام حمل و نقل نمونه‌ها تعداد دو پلیت نیز در داخل جعبه محل نمونه‌برداری قرار گرفت (۴). محیط کشت انتقالی مورد استفاده برای نمونه‌های باکتریایی تریپتیک سوی آگار (TSA) شرکت آیرسکو-ایران بوده است. برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها در محیط کشت تریپتیک سوی آگار، از آنتی‌بیوتیک نیستاتین (۵۰۰ میکروگرم در لیتر) (شرکت جابرابن حیان-ایران) استفاده شد (۱). به منظور بالا بردن میزان دقت در انجام کار، از هر نقطه، نمونه‌برداری به صورت دوتایی انجام شد. پمپ نمونه‌برداری قبل از هر مرحله نمونه‌برداری توسط روتامتر کالیبره شد.



میزان آلودگی در اکثر واحدهای مختلف تصفیه‌خانه وجود داشت ( $P < 0/05$ ).

طبق نتایج، بیشترین اختلاف بین میانگین تعداد بیوآئروسول‌های باکتریایی در فصل بهار، به ترتیب بین نقاط بالادست و هوای داخل ساختمان ( $152 \text{ CFU/m}^3$ )، فیلتراسیون و هوای داخل ساختمان ( $135 \text{ CFU/m}^3$ )، پایین دست و هوای داخل ساختمان ( $123 \text{ CFU/m}^3$ )، متعادل ساز و بالا دست ( $116 \text{ CFU/m}^3$ ) و هوادهی و داخل ساختمان اداری ( $113 \text{ CFU/m}^3$ ) مشاهده شد. هم چنین بین واحد متعادل ساز و دیگر نقاط نمونه برداری، بیشترین اختلاف، به ترتیب زیر مشاهده شد.

فصل بهار در هوای داخل ساختمان با میانگین  $\text{CFU/m}^3$   $187/58 \pm 13/41$  و در فصل تابستان در واحد متعادل ساز با میانگین  $\text{CFU/m}^3$   $202/89 \pm 12/11$  مشاهده شد.

همچنین نتایج نشان داد که کمترین دانسیته باکتری‌ها مربوط به ۱۰۰ متر قبل از اولین واحد در بهار ( $34/74 \pm 7/17 \text{ CFU/m}^3$ ) و ۱۰۰ متر بعد از آخرین واحد در تابستان ( $9/72 \pm 2/41 \text{ CFU/m}^3$ ) بود.

نتایج حاصل از آزمون بون فرونی (جداول ۲ و ۳) نشان داد که غلظت بیوآئروسول‌ها در واحدهای مختلف فرآیندی و عملیاتی تصفیه‌خانه از نظر آلودگی یکسان نبوده و اختلاف معنی‌داری بین

جدول ۱: میانگین جمعیت بیوآئروسول‌های باکتریایی در واحدهای مختلف / فصول بهار و تابستان

فصل	محل نمونه برداری	میانگین جمعیت باکتری‌ها بر حسب $\text{CFU/m}^3$	انحراف معیار	سطح معنی‌داری
بهار	متعادل ساز	۱۵۱/۰۷	۱۷/۸۲	$p < 0/001$
	هوادهی	۷۴/۵۱	۱۵/۴۹	
	فیلتراسیون	۵۲/۴۱	۱۳/۰۱	
	۱۰۰ متر بالادست تصفیه‌خانه	۳۴/۷۴	۷/۱۷	
	۱۰۰ متر پایین دست تصفیه‌خانه	۶۳/۹۱	۲۰/۰۳	
	داخل ساختمان اداری	۱۸۷/۵۸	۱۳/۴۱	
تابستان	جمع	۹۴/۰۴	۱۱/۵۸	
	متعادل ساز	۲۰۲/۸۹	۱۲/۱۱	
	هوادهی	۱۴۶/۹۴	۱۲/۸۲	
	فیلتراسیون	۵۷/۷۱	۱۰/۲۶	
	۱۰۰ متر بالادست تصفیه‌خانه	۳۹/۷۶	۶/۹۶	
	۱۰۰ متر پایین دست تصفیه‌خانه	۹/۷۲	۲/۴۱	
	داخل ساختمان اداری	۱۱۸/۳۷	۱۰/۳۵	
	جمع	۹۵/۹۰	۱۰/۴۲	



جدول ۲: اختلاف میانگین غلظت بیوآئروسل ها بین واحدهای مختلف تصفیه خانه در فصول بهار

فصل	محل نمونه برداری (A)	محل نمونه برداری (B)	میانگین اختلاف جمعیت A-B (بر حسب CFU/m <sup>3</sup> )	سطح معنی داری
بهار	متعادل ساز	هوادهی	۷۶/۵۶	۰/۲۳۱
		فیلتراسیون	۹۸/۶۳	۰/۰۳۴
		۱۰۰ متر بالادست	۱۱۶/۳۰	۰/۰۰۶
		۱۰۰ متر پایین دست	۸۷/۱۶	۰/۰۹۵
هوادهی	متعادل ساز	داخل ساختمان	-۳۶/۵۱	۱/۰۰۰
	فیلتراسیون	متعادل ساز	-۷۶/۵۶	۰/۲۳۱
	۱۰۰ متر بالادست	فیلتراسیون	۲۲/۰۷	۱/۰۰۰
	۱۰۰ متر پایین دست	۱۰۰ متر بالادست	۳۹/۷۴	۱/۰۰۰
	داخل ساختمان	۱۰۰ متر پایین دست	۱۰/۶۰	۱/۰۰۰
	داخل ساختمان	داخل ساختمان	-۱۱۳/۰۷	۰/۰۰۹
	فیلتراسیون	متعادل ساز	-۹۸/۶۳	۰/۰۳۴
	هوادهی	هوادهی	-۲۲/۰۷	۱/۰۰۰
	۱۰۰ متر بالادست	۱۰۰ متر بالادست	۱۷/۶۷	۱/۰۰۰
	۱۰۰ متر پایین دست	۱۰۰ متر پایین دست	-۱۱/۴۷	۱/۰۰۰
	داخل ساختمان	داخل ساختمان	-۱۳۵/۱۵	۰/۰۰۱
	۱۰۰ متر بالادست	متعادل ساز	-۱۱۶/۳۰	۰/۰۰۶
۱۰۰ متر بالادست	هوادهی	هوادهی	-۳۹/۷۴	۱/۰۰۰
	فیلتراسیون	فیلتراسیون	-۱۷/۶۷	۱/۰۰۰
	۱۰۰ متر پایین دست	۱۰۰ متر پایین دست	-۲۹/۱۴	۱/۰۰۰
	داخل ساختمان	داخل ساختمان	-۱۵۲/۸۲	<۰/۰۰۱
	متعادل ساز	متعادل ساز	-۸۷/۱۶	۰/۰۹۵
	هوادهی	هوادهی	-۱۰/۶۰	۱/۰۰۰
	فیلتراسیون	فیلتراسیون	۱۱/۴۷	۱/۰۰۰
	۱۰۰ متر بالادست	۱۰۰ متر بالادست	۲۹/۱۴	۱/۰۰۰
	داخل ساختمان	داخل ساختمان	-۱۲۳/۶۷	۰/۰۰۳
	متعادل ساز	متعادل ساز	۳۶/۵۱	۱/۰۰۰
	هوادهی	هوادهی	۱۱۳/۰۷	۰/۰۰۹
	فیلتراسیون	فیلتراسیون	۱۳۵/۱۵	۰/۰۰۱
۱۰۰ متر بالادست	۱۰۰ متر بالادست	۱۵۲/۸۲	<۰/۰۰۱	
۱۰۰ متر پایین دست	۱۰۰ متر پایین دست	۱۲۳/۶۷	۰/۰۰۳	



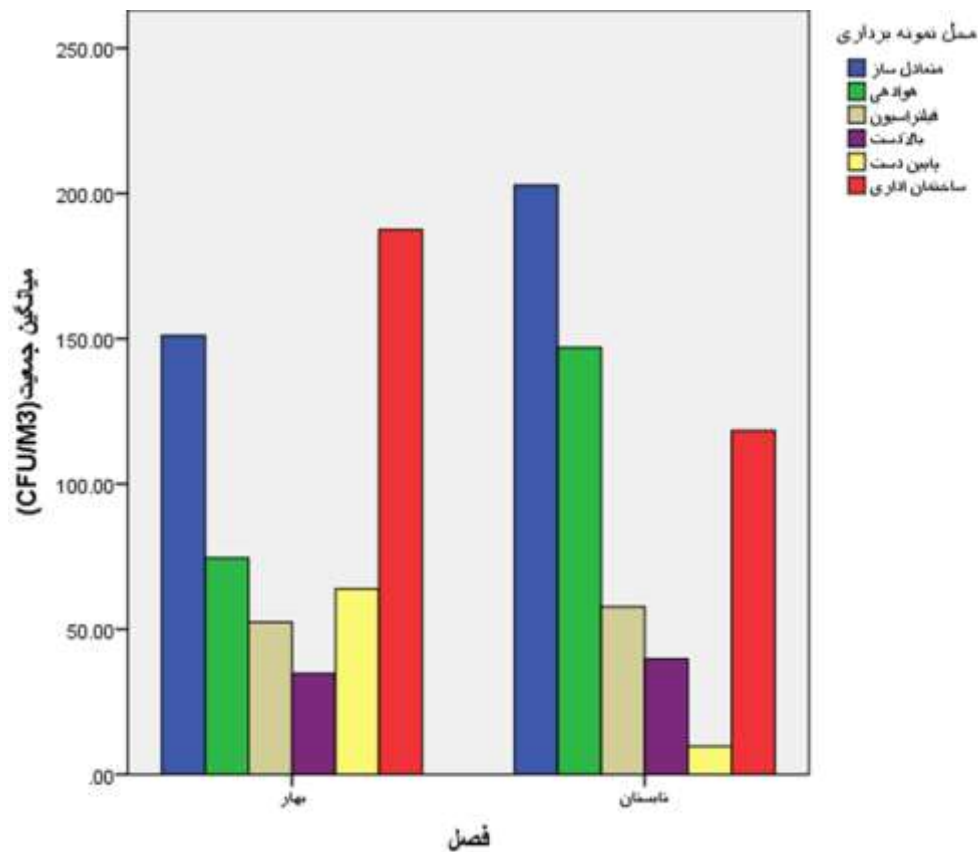
جدول ۳: اختلاف میانگین غلظت بیوآئروسول ها بین واحدهای مختلف تصفیه‌خانه در فصل تابستان

فصل	محل نمونه برداری (A)	محل نمونه برداری (B)	میانگین اختلاف جمعیت A-B (بر حسب CFU/m <sup>3</sup> )	سطح معنی داری
تابستان	متعادل ساز	هوادهی	۵۵/۹۵	۰/۰۰۳
		فیلتراسیون	۱۴۵/۱۶	<۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر بالادست	۱۶۳/۱۳	<۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر پایین دست	۱۹۳/۱۷	<۰/۰۰۱
		داخل ساختمان	۸۴/۵۰	<۰/۰۰۱
	هوادهی	متعادل ساز	-۵۵/۹۵	۰/۰۰۳
		فیلتراسیون	۸۹/۲۱	<۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر بالادست	۱۰۷/۱۸	<۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر پایین دست	۱۳۷/۲۲	<۰/۰۰۱
		داخل ساختمان	۲۸/۵۵	۰/۶۸۷
	فیلتراسیون	متعادل ساز	-۱۴۵/۱۶	<۰/۰۰۱
		هوادهی	-۸۹/۲۱	<۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر بالادست	۱۷/۹۵	۱/۰۰۰
		۱۰۰ متر پایین دست	۴۷/۹۹	۰/۰۱۹
		داخل ساختمان	-۶۰/۶۶	۰/۰۰۱
	۱۰۰ متر بالادست	متعادل ساز	-۱۶۳/۱۳	<۰/۰۰۱
		هوادهی	-۱۰۷/۱۸	<۰/۰۰۱
		فیلتراسیون	-۱۷/۹۵	۱/۰۰۰
		۱۰۰ متر پایین دست	۳۰/۰۴	۰/۵۴۲
		داخل ساختمان	-۷۸/۶۱	<۰/۰۰۱
	۱۰۰ متر	متعادل ساز	-۱۹۳/۱۷	<۰/۰۰۱
	پایین دست	هوادهی	-۱۳۷/۲۲	<۰/۰۰۱
		فیلتراسیون	-۴۷/۹۹	۰/۰۱۹
		۱۰۰ متر بالادست	-۳۰/۰۴	۰/۵۴۲
		داخل ساختمان	-۱۰۸/۶۵	<۰/۰۰۱
	داخل ساختمان	متعادل ساز	-۸۴/۵۰	<۰/۰۰۱
		هوادهی	-۲۸/۵۵	۰/۶۸۷
		فیلتراسیون	۶۰/۶۶	۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر بالادست	۷۸/۶۱	<۰/۰۰۱
		۱۰۰ متر پایین دست	۱۰۸/۶۵	<۰/۰۰۱



جدول ۴: مقایسه میانگین جمعیت کل بیوآئروسل های باکتریایی در فصول بهار و تابستان

فصل	میانگین جمعیت باکتری ها بر حسب CFU/m <sup>3</sup>	انحراف معیار	سطح معنی داری
بهار	۹۴/۰۴	۱۱/۵۸	۰/۹۰۵
تابستان	۹۵/۹۰	۱۰/۴۲	



نمودار ۱: میانگین جمعیت بیوآئروسل های باکتریایی (CFU/m<sup>3</sup>) در فصول بهار و تابستان در واحد های مختلف

مثال، بین واحد متعادل ساز و دیگر نقاط نمونه برداری، بیشترین اختلاف، به ترتیب زیر مشاهده شد.

پایین دست تصفیه خانه > بالادست تصفیه خانه > فیلتراسیون > داخل ساختمان اداری > واحد هوادهی

نتایج آزمون T دو نمونه مستقل در جدول ۴ نشان داد که میانگین تعداد آئروسل های باکتریایی در فصل تابستان (۹۵/۹۰±۱۰/۴۲ CFU/m<sup>3</sup>) اندکی بیشتر از فصل بهار (۹۴/۰۴±۱۱/۵۸ CFU/m<sup>3</sup>) بود، اما به صورت کلی بین میانگین

بالادست تصفیه خانه > فیلتراسیون > پایین دست تصفیه خانه > واحد هوادهی > داخل ساختمان اداری

طبق نتایج، بیشترین اختلاف بین میانگین تعداد بیوآئروسل های باکتریایی در فصل تابستان، به ترتیب بین نقاط پایین دست و متعادل ساز (۱۹۳CFU/m<sup>3</sup>)، بالادست و متعادل ساز (۱۶۳CFU/m<sup>3</sup>)، فیلتراسیون و متعادل ساز (۱۴۵CFU/m<sup>3</sup>)، هوادهی و پایین دست (۱۳۵CFU/m<sup>3</sup>) و پایین دست و داخل ساختمان اداری (۱۱۳CFU/m<sup>3</sup>) مشاهده شد. همچنین به عنوان



بیوآئروسل های تولیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب ۱۰۰۰-۱۰ برابر بیشتر از خود فاضلاب است (۲۶)، لیکن استاندارد مشخصی در رابطه با آلودگی ناشی از بیوآئروسل ها در هوای تصفیه‌خانه فاضلاب و اطراف آن وجود ندارد (۱)، نتایج حاصل از این پژوهش علاوه بر مقایسه با یکدیگر، با دیگر مطالعات نیز مقایسه شده است.

تولید بیوآئروسل ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عمدتاً از طریق روش‌های مکانیکی تصفیه که باعث حرکت فاضلاب می‌شوند، مانند دانه گیری یا از طریق تصفیه بیولوژیک، مانند هوادهی انجام می‌شود (۲۷، ۲۸).

یافته‌های حاصل از این مطالعه (جدول ۱) نشان داد واحد متعادل ساز دارای توانایی بالایی در تولید بیوآئروسل های باکتریایی می‌باشد که این امر می‌تواند به علت تلاطم فاضلاب در قسمت ورودی تانک متعادل ساز باشد. ذرات حاصل از تلاطم فاضلاب دوباره به سمت پایین سقوط کرده و در برخورد به سطح فاضلاب، به ذراتی با قطر ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر تبدیل شده که این ذرات کوچک تر سریعاً در هوا تبخیر شده و سرعت ته نشینی آن‌ها کمتر می‌شوند و در نهایت در هوا معلق باقی می‌مانند (۲۵). Boruta و همکاران (۲۹) در مطالعه مشابه، بیشترین انتشار بیوآئروسل ها را در حوالی حوض دانه گیری که اولین واحد تصفیه‌خانه بود مشاهده کردند. گزارشات Ranalli و همکاران نشان می‌دهد که بیشترین انتشار باکتری‌های هوازی در پیش‌تصفیه مکانیکی رخ می‌دهد که با مطالعه‌ی حاضر همخوانی داشت (۳۰).

نتایج مطالعات مشابه نشان داده است که یکی از منابع اصلی بیوآئروسل ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب فرآیند هوادهی،

تعداد باکتری‌ها در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). به عبارت دیگر هرچند که بین میانگین جمعیت باکتریایی در هوای واحدهای مختلف تصفیه‌خانه اختلاف وجود داشت، اما به‌طور کلی میانگین جمعیت واحدهای مختلف در فصول مختلف اختلاف چندانی نداشت.

### بحث و نتیجه‌گیری

فاضلابی که از منابع مختلف خانگی، تجاری و بیمارستانی و یا فاضلاب‌های ترکیبی تولید شده و جهت انجام فرایندهای تصفیه به تصفیه‌خانه فاضلاب فرستاده می‌شود، حاوی تعداد زیاد و متنوعی از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا شامل ویروس‌ها، باکتری‌ها، انواعی از قارچ‌ها، تک‌یاخته‌ها و کرم‌ها می‌باشد که از مدفوع انسانی یا مواد دفعی حیوانات دفع شده و می‌توانند از طریق فرایندهای مختلفی که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب انجام می‌شود، آئروسله (هوایرد) شوند و در نتیجه به عنوان یک خطر سلامتی برای کارگران تصفیه‌خانه‌ها مطرح می‌باشند (۲۳).

کارگران ممکن است در تماس با این عوامل بیماری‌زا و اندوتوکسین باکتریایی باشند که عمدتاً از طریق استنشاق آئروسل‌ها و یا مسیر دست-دهانی صورت می‌گیرد (۲۴). افزایش آگاهی درباره خطرات ایجاد شده توسط میکروارگانیسم‌های هوایرد، دلیلی برای توسعه بحث آئرو میکروبیولوژی بوده است. هرچند به نظر می‌رسد هیچ‌گونه مقدار حد آستانه پذیرفته شده بین‌المللی برای آلودگی بیولوژیکی هوا وجود ندارد (۲۴).

بنابراین نظر به این که یکی از مهم‌ترین محل‌های انتشار ذرات معلق و بیوآئروسل‌های باکتریایی و قارچی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌باشند (۲۵)، هم چنین غلظت میکروارگانیسم‌ها در



انتشاری منتشر می‌شود. از آن جاکه در اکثر موارد سیستم‌های هوادهی عامل اصلی انتشار بیوآئروسول‌ها در هوای تصفیه‌خانه می‌باشند، استفاده از هوادهی‌های دیفیوزری به‌جای هوادهی گسترده سطحی، روش مناسبی جهت کاهش انتشار بیوآئروسول‌ها می‌باشد، زیرا هوادهی‌های دیفیوزری نسبت به هوادهی‌های گسترده، تلاطم کمتری در فاضلاب ایجاد می‌کنند. فلذا حباب‌های تولیدشده توسط آن‌ها نیز کوچک‌تر می‌باشد (۶،۳۶). تعداد این میکروارگانیسم‌ها با افزایش اندازه حباب افزایش می‌یابد (۲۶). درنهایت می‌توان گفت که نوع سیستم هوادهی تا حد زیادی بر میزان تولید بیوآئروسول‌ها مؤثر است (۲۵،۳۴،۳۷). در مطالعات مختلف کمترین میزان بیوآئروسول‌ها در اطراف واحد ته‌نشینی ثانویه مشاهده شد که این می‌تواند به علت عدم وجود دستگاه‌های مکانیکی و تلاطم فاضلاب در این واحد باشد (۵). هم‌چنین هرچه به سمت انتهای مراحل تصفیه فاضلاب می‌رویم، میزان آلودگی فاضلاب کم می‌شود، بنابراین کاهش میزان بیوآئروسول‌های باکتریایی در اطراف واحد ته‌نشینی، دور از انتظار نیست. این فرضیه با نتایج این مطالعه کاملاً تطابق دارد، زیرا که در این مطالعه نیز هرچه به سمت مراحل نهایی تصفیه فاضلاب پیش رفتیم (به‌طور مثال واحد فیلتراسیون)، میزان جمعیت بیوآئروسول‌ها کاهش یافت.

غلظت بیوآئروسول‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وابسته به عواملی چون محل نمونه برداری (۲۹) نوع فاضلاب و نوع روش هوادهی (۳۱) و شرایط آب و هوایی (۳۸) و نوع سیستم تصفیه (۳۹) می‌باشد. از پارامترهای مؤثر در میزان تولید بیوآئروسول‌ها می‌توان به اندازه تصفیه‌خانه، تکنولوژی و نوع فرآیند تصفیه و

تلاطم مکانیکی و همزنی است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت (۶،۱۰،۳۱،۳۲).

میزان بالای آئروسول‌های باکتریایی در تانک هوادهی با نتایج مطالعه Vitezova و همکاران (۳۳) و Karra و همکاران (۱۸) که بیان کردند مجاورت با تانک هوادهی و میزان هوادهی با تولید بیوآئروسول‌ها ارتباط مستقیم دارد، همخوانی داشت. Korzeniewska و همکاران نیز اعلام نمودند که سیستم هوادهی استفاده‌شده در فرایند بیولوژیکی تصفیه فاضلاب در تولید بیوآئروسول‌ها نقش برجسته‌ای دارد که با نتایج این مطالعه همخوانی داشت (۳۴).

Carducci و همکاران دریافته‌اند که اطراف تانک‌های هوادهی، آلاینده‌گی میکروبی بالایی ندارند که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی نداشت (۷). علت عدم همخوانی، احتمالاً به دلیل نوع سیستم و تجهیزات هوادهی می‌باشد. در تصفیه‌خانه مورد مطالعه Carducci، هوادهی به وسیله حباب‌های هوا تحت فشار انجام می‌شد، اما با توجه به اینکه در مطالعه‌ی Carducci، واحد متعادل ساز، غلظت متوسط تا بالایی از بیوآئروسول‌های باکتریایی داشته‌است، بنابراین با نتایج این مطالعه، از این نظر که تجهیزات دارای حرکت مکانیکی نقش زیادی در انتشار میکروارگانیسم‌ها دارد، همخوانی داشت.

تفاوت میزان بیو آئروسول‌های باکتریایی در تانک هوادهی نسبت به واحدهای متعادل ساز را می‌توان طبق نتایج مطالعه‌ی Brandi و همکاران (۳۵) به این علت دانست که در مواردی که از هوادهی سطحی یا همزن مکانیکی در تانک استفاده می‌شود، میزان بیشتری بیوآئروسول نسبت به سیستم هوادهی



مطالعات متعددی ارتباط بین آلودگی باکتریایی و فارچی با فصول و پارامترهای هواشناسی را نشان دادند. Nielsen و همکاران دریافتند که تغییرات فصلی بر غلظت میکروارگانیسم ها تاثیر می گذارد (۴۱). که با مطالعه ی حاضر، همخوانی داشت. همان طور که در نمودار ۱ نشان داده شد، جمعیت بیوآئروسول ها در اکثر نقاط مختلف نمونه برداری در فصل تابستان بیشتر از بهار بود که این نتیجه با فرضیات ما تطابق داشت. اما این نتیجه در مورد ۱۰۰ متر بعد از آخرین واحد تصفیه خانه و ساختمان اداری تطابق نداشت. در مورد ۱۰۰ متر پایین دست تصفیه خانه می توان علت را وزش باد مقطعی از انتها به ابتدای تصفیه خانه دانست و در مورد ساختمان اداری، میتوان استفاده از وسایل سرمایشی و بسته بودن پنجره ها به علت استفاده از کولرگازی در فصل تابستان را علت کاهش در جمعیت بیوآئروسول های باکتریایی، دانست.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت بیوآئروسول ها در فصول مختلف متفاوت است که نتایج حاصل از مطالعه ی (۳۴) موید این مطلب است که در ماه های گرم سال انتشار بیوآئروسول ها بیشتر از ماه های دیگر است.

طبق نتایج حاصل از این مطالعه، تراکم باکتری های هوابرد در هوای تصفیه خانه فاضلاب مورد بررسی (جدول ۳)، کمتر از  $500 \text{ CFU/m}^3$  (میزان قابل قبول کنفرانس آمریکایی متخصصین بهداشت صنعتی دولتی) بود (۴۲).

طبق نتایج جدول ۱، میانگین جمعیت باکتری ها در واحد فیلتراسیون و نقاط بالادست و پایین دست تصفیه خانه، کمتر از  $100 \text{ CFU/m}^3$  بود و طبق استاندارد کنفرانس دولتی بهداشت

نوع سیستم هوادهی نام برد. لازم به ذکر است که کمترین میزان انتشار بیوآئروسول ها توسط سیستم هوادهی افشانه ای رخ می دهد (۳۳).

به طور کلی، میانگین جمعیت بیوآئروسول ها با تصفیه ی بیشتر فاضلاب، کاهش می یابد. در نتیجه، پیش تصفیه و ته نشین کننده های اولیه مراحل با بالاترین غلظت بیوآئروسول ها هستند، زیرا آن ها مرحله هایی هستند که فاضلاب هنوز به طور ضعیف تصفیه می شود و بنابراین کیفیت میکروبیولوژیکی پایین تری دارد (۱۰).

میزان بالای تراکم بیوآئروسول های باکتریایی را در هوای ساختمان این تصفیه خانه می توان به این علت دانست که آزمایشات مربوطه جهت گزارش کیفیت فاضلاب، در همان محل استقرار کارکنان انجام می شود. همچنین توجه به این نکته ضروری است که در تصفیه خانه های فاضلاب و دیگر اماکن، کیفیت هوای آزاد می تواند بر کیفیت هوای ساختمان تاثیر بگذارد، بنابراین می توان گفت که غلظت آلاینده ها در هوای آزاد پارامتر اولیه در تعیین کیفیت هوای داخل ساختمان می باشد (۴۰).

طبق نتایج حاصل از این مطالعه، افزایش فاصله از منبع آلودگی باعث کاهش چشمگیر در تعداد بیوآئروسول های باکتریایی شد که با مطالعات Fernando و همکاران (۳۷) و Carducci و همکاران (۷) همخوانی داشت. طبق گزارش Stellacci در فاصله ۳۰۰ متری تصفیه خانه ها، امکان وجود بیوآئروسول ها وجود نداشت و حتی تحت شرایط نامساعد آب و هوایی مشکل سلامتی برای کارکنان منطقه وجود نداشت (۱۹).



استفاده از فیلترهای هوا در بخش هایی که از اختلاط مکانیکی استفاده می شود، به حداقل می رسد (۴۴). هم چنین بر اساس نتایجی که Li و همکاران به دست آوردند، استفاده از روش جذب بر روی کربن فعال گرانوله، یک روش فعال برای پاک سازی میکروارگانسیم های هوا برد است (۴۵).

نهایتاً رعایت بهداشت فردی و شستشوی مرتب دست ها و استفاده از لباس محافظ و ماسک می تواند مخصوصاً هنگام کار در مناطق آلوده تر، می تواند روش مناسبی برای جلوگیری از عفونت در میان کارگران تصفیه خانه فاضلاب باشد (۴۶).

بنابراین با توجه به عدم وجود رهنمود و استاندارد مشخص در مورد آلودگی ناشی از بیوآئروسول های باکتریایی در هوای تصفیه خانه فاضلاب، لازم و ضروری است که دستگاه های مسئول اقدامات لازم را جهت تدوین این رهنمودها انجام دهند (۱).

### تضاد منافع

بدین وسیله نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

### تشکر و قدر دانی

بدین وسیله از مدیریت محترم شهرک صنعتی جهان آباد مید (جناب آقای مهندس ماندگاری) و اپراتورهای محترم تصفیه خانه (آقایان کریمی، ملانوری و احمدزاده) و تمام کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری نموده اند، تشکر و قدردانی می نمایم.

### References

1-Dehghani A, Kermani M, Farzadkia M, Naddafi K, Alimohammadi MA. Comparative study

صنعتی آمریکا، جزو میزان بیوآئروسول کم موجود در هوا، قرار گرفت. اما در واحدهای متعادل ساز و هوادهی، جزء میزان بیوآئروسول متوسط (بین  $100$  تا  $1000$  CFU/m<sup>3</sup>) موجود در هوا، قرار گرفت.

هم چنین میانگین جمعیت باکتری ها در هوای داخل ساختمان، کمتر از مقادیر پیشنهادی ارائه شده (برای اماکن مسکونی) توسط WHO ( $500$  CFU/m<sup>3</sup>) بود (۴۳).

در رهنمود ارائه شده توسط گروه مدیریت کیفیت هوای داخلی هنگ کنگ، مقدار باکتری های هوا برد در فضاهای داخلی با غلظت کمتر از ( $500$  CFU/m<sup>3</sup>) در کلاس عالی و غلظت کمتر از ( $1000$  CFU/m<sup>3</sup>) در کلاس خوب رتبه بندی شده است (۴۳)، که کیفیت هوای ساختمان این تصفیه خانه در کلاس عالی قرار گرفت.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در معرض قرار گرفتن کارگران تصفیه خانه به ویژه در نزدیکی واحدهای هوادهی و متعادل ساز باید محدود شود که جداسازی فیزیکی مناطق آلوده تر از مناطق با آلودگی کمتر می تواند یکی از روش های موثر برای حفاظت از کارکنان در آن محدوده باشد (۳۶).

همچنین ایجاد یک اتافک به عنوان پوشش، تعداد بیوآئروسول ها را در تصفیه خانه ها و محیط اطراف آن، کاهش می دهد که می تواند راهکاری برای کاهش بار آلودگی محیط تصفیه خانه ها باشد (۲۵). Brooks و همکاران گزارش دادند که در تصفیه خانه های فاضلاب محصور شده، مواجهه با بیوآئروسول ها با



for potential of microbial pollution in the ambient air of Milad hospital, blood transfusion organization and Tehrans shahrake gharb wastewater treatment plant, *The Journal of Urmia Nursing and Midwifery Faculty*, 2014;12(3): 183-92.

2-Kermani M ,BahramiAsl F , Farzadkia M, Nadafi K, Zeinalzadeh D , Dehghani A. Concentration and Distribution of Airborne Fungi in the Ambient Air of Milad Hospital, Blood Transfusion Organization, and Shahrake Ghods Wastewater Treatment Plant in Tehran, Iran, *Journal of Health Research in Community*. 2015;1(3): 57-68

3-O'Gorman CM, Fuller HT. Prevalence of culturable airborne spores of selected allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *Atmospheric Environment*. 2008;42(18):4355-68.

4-Jahangiri M, Neghab M, Kahdemain V, et al. Investigating Density and Type of Bioaerosols in a Petrochemical Wastewater Treatment Plant: Mahshar - Iran, 2013, Iran. *J. Health & Environ*. 2013;6(1) :113-22

5-Fathi S, Hajizadeh Y, Nikaeen M, Gorbani M. Assessment of microbial aerosol emissions in an urban wastewater treatment plant operated with activated sludge process. *Aerobiologia*. 2017;33(4):507-15.

6-Sanchez-Monedero M, Aguilar M, Fenoll R, Roig A. Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. *Water Research*. 2008;42(14):3739-44.

7-Carducci A, Tozzi E, Rubulotta E, Casini B, Cantiani L, Rovini E, et al. Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Research*. 2000;34(4):1173-8.

8-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. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(20):16014-21.

9-Fracchia L, Pietronave S, Rinaldi M, Martinotti MG. Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Research*. 2006;40(10):1985-94.

10-Pascual L, Perez-Luz S, Yáñez MA, Santamaría A, Gibert K, Salgot M, et al. Bioaerosol emission from wastewater treatment plants. *Aerobiologia*. 2003;19(3):261-70.

11-Malakootian M, Radhakrishna N, Mazandarany MP, Hossaini H. Bacterial-aerosol emission from wastewater treatment plant. *Desalination and Water Treatment*. 2013;51(22-24):4478-88.



- 12-Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The lancet oncology*. 2013;14(9):813-22.
- 13-Burkowska A, Kalwasińska A, Walczak M. Airborne mesophilic bacteria at the Ciechocinek health resort. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2012;21(2):307-12.
- 14-Korzeniewska E. Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants—a review. *Front biosci (Schol ed)*. 2011;3:393-407.
- 15-Kowalski M, Wolany J, Pastuszka J, Płaza G, Wlazło A, Ulfig K, et al. Characteristics of airborne bacteria and fungi in some Polish wastewater treatment plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2017;14(10):2181-92.
- 16-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):211-24.
- 17-Grisoli P, Rodolfi M, Villani S, Grignani E, Cottica D, Berri A, et al. Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research*. 2009;109(2):135-42.
- 18-Karra S, Katsivela E. Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water research*. 2007;41(6):1355-65.
- 19-Stellacci P, Liberti L, Notarnicola M, Haas CN. Hygienic sustainability of site location of wastewater treatment plants: A case study. I. Estimating odour emission impact. *Desalination*. 2010;253(1-3):51-6.
- 20-Pourhassan B, Golbabaie F, Pourmand MR, et al. Examining performance of the conventional and photocatalytic HEPA filters on removal of the airborne microorganisms, *Journal of Health and Safety at Work*. 2018;8(3): 251-65.
- 21-Hameed AA, Khoder M, Yuosra S, Osman A, Ghanem S. Diurnal distribution of airborne bacteria and fungi in the atmosphere of Helwan area, Egypt. *Science of the Total Environment*. 2009;407(24):6217-22.
- 22-Naddafi K, Rezaei S, Nabizadeh R, Yonesian M, Jabbari H. Density of Airborne Bacteria in a Children's Hospital in Tehran, Iran. *J. Health & Environ*. 2009;1(2):75-80.



- 23-Albatanony M, El-Shafie M. Work-related health effects among wastewater treatment plants workers. *Int J Occup Environ Med (The IJOEM)*. 2011;2(4).
- 24-Mirzaee SA, Nikaeen M, Hajizadeh Y, Nabavi BF, Hassanzadeh A. Detection of *Legionella* spp. by a nested-PCR assay in air samples of a wastewater treatment plant and downwind distances in Isfahan. *Advanced biomedical research*. 2015;4.
- 25-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 Journal of Environmental Studies*. 2000;9(4):273-80.
- 26-Bunger J, Schappler-Scheele B, Hilgers R, Hallier E. A 5-year follow-up study on respiratory disorders and lung function in workers exposed to organic dust from composting plants. *International archives of occupational and environmental health*. 2007;80(4):306-12.
- 27-Filipkowska Z, Janczukowicz W, Krzemieniewski M, Pesta J. Municipal Wastewater Treatment Plant with Activated Sludge Tanks Aerated by Celpox Devices as a Source of Microbiological Pollution of the Atmosphere. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2002;11(6).
- 28-Haas D, Unteregger M, Habib J, Galler H, Marth E, Reinthaler FF. Exposure to bioaerosol from sewage systems. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2010;207(1):49-56.
- 29-Breza-Boruta B, Paluszak Z. Influence of Water Treatment Plant on Microbiological Composition of Air Bioaerosol. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2007;16(5).
- 30-Ranalli G, Principi P, Sorlini C. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: Culture methods and bio-molecular tools. *Aerobiologia*. 2000;16(1):39-46.
- 31-Kruczalak K, Olanczuk-Neyman K. Microorganisms in the Air Over Wastewater Treatment Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2004;13(5).
- 32-Laitinen S, Kangas J, Kotimaa M, Liesivuori J, Martikainen PJ, Nevalainen A, et al. Workers' exposure to airborne bacteria and endotoxins at industrial wastewater treatment plants. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1994;55(11):1055-60.
- 33-Vítezova M, Vítez T, Mlejnkova H, Losak T. Microbial contamination of the air at the wastewater treatment plant. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2012;60(3):233-40.



- 34-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 research*.2009;43(11):2841-51.
- 35-Brandi G, Sisti M, Amagliani G. Evaluation of the environmental impact of microbial aerosols generated by wastewater treatment plants utilizing different aeration systems. *Journal of Applied Microbiology*. 2000;88(5):845-52.
- 36-Kim KY, Kim HT, Kim D, Nakajima J, Higuchi T. Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the feedstuff-manufacturing factories. *Journal of hazardous materials*. 2009;169(1-3):1054-60.
- 37-Fernando NL, Fedorak PM. Changes at an activated sludge sewage treatment plant alter the numbers of airborne aerobic microorganisms. *Water Research*. 2005;39(19):4597-608.
- 38-Michałkiewicz M, Pruss A, Dymaczewski Z, Jez-Walkowiak J, Kwasna S. Microbiological Air Monitoring around Municipal Wastewater Treatment Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2011;20(5).
- 39-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).
- 40-Rezaei S, Naddafi K, Jabbari H, Yonesian M, et al. Raygan Shirazi Nejad A, Relationship between the Particulate Matter Concentrations in the Indoor and Ambient Air of the Tehran Children Hospital in.2013;6(1): 103-12
- 41-Nielsen BH, Nielsen EM, Breum NO. Seasonal variation in bioaerosol exposure during biowaste collection and measurements of leaked percolate. *Waste management & research*. 2000;18(1):64-72.
- 42-Xu P, Zhang C, Mou X, Wang XC. Bioaerosol in a typical municipal wastewater treatment plant: concentration, size distribution, and health risk assessment. *Water Science and Technology*. 2020;82(8):1547-59.
- 43-Mirhoseini SH, Nikaeen M, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A, Assessment of bioaerosol concentration in the indoor environments, *Journal of Health System Research*, 2014 10(2), 376-85
- 44-Brooks JP, Gerba CP, Pepper IL. Bioaerosol Emission, Fate, and Transport from Municipal and Animal Wastes. *Biological Aerosols Generated from the Land Application of Biosolids, Microbial Risk Assessment*. 2004;1050:19.



45-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):910-5.

46-Heinonen-Tanski H, Reponen T, Koivunen J. Airborne enteric coliphages and bacteria in sewage treatment plants. *Water research*. 2009;43(9):2558-66.