*J TOLOO E BEHDASHT, School of Public Health, Yazd Shahid Sadoughi Univ Med Sci*

*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.)[1], Mohammad Hasan Ehrampoush (Ph.D.)[2], Fahimeh Teimouri (Ph.D.)[3], Maryam Sadeh (Ph.D.)[4], Farzan Madadizadeh (Ph.D.)[5], Gilda Eslami (Ph.D.)[6], Zahra Sotanianzadeh (Ph.D.)[7], Ali Asghar Ebrahimi (Ph.D.)[8]**

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 Paramedicins, 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 Universityof 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/$m^3$.

**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/$m^3$ and in summer in an equalization unit with mean value of 202.89±12.11 CFU/$m^3$.

**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 Madadizadeh, 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]

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

# بررسی جمعیت بیوآئروسل‌های باکتریایی موجود در هوای تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد

**نویسندگان: محمد سالاری[۱]، محمد حسن احرامپوش[۲]، فهیمه تیموری[۳]، مریم ساده[۴]، فرزان مددی زاده[۵]، گیلدا اسلامی[۶]، زهرا سلطانیان زاده[۷]، علی اصغر ابراهیمی[۸]**

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 باکتری‌شناسی، گروه علوم آزمایشگاهی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی، یزد، ایران.

۵.استادیار گروه آمارزیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی ، یزد، ایران.

۶.دانشیارمرکز 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

**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

## چکیده

**مقدمه:** در دهه‌های اخیر با به وجود آمدن فعالیت‌های صنعتی جدید و افزایش تولید مواد زائد، این صنایع نیازمند وجود تجهیزات تصفیه و دفع بهداشتی می‌باشند. این تجهیزات بعضاً سبب انتشار میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا به هوا می‌شوند. صنایع بازیافت مواد زائد و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از آن جمله هستند. بیوآئروسل ها در مراحل مختلف فرایند تصفیه فاضلاب به‌ویژه در فرآیندهایی که شامل مکانیزم های متحرک و هوادهی می‌باشد، تولید می‌شوند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی بیوآئروسل‌های باکتریایی موجود در هوای تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی جهان آباد میبد بوده است.

**روش بررسی:** در این مطالعه از هوای واحدهای مختلف تصفیه‌خانه و نیز از هوای داخل ساختمان نمونه‌برداری انجام گردید. پس از نمونه‌برداری، پلیت‌های حاوی نمونه به مدت ۴۸ – ۲۴ ساعت داخل انکوباتور و در دمای ۳۵ تا ۳۷ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس تعداد کلنی‌های باکتریایی رشد کرده بر روی محیط‌های کشت شمارش و به‌صورت واحد $CFU/m^3$ ثبت شدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میانگین جمعیت آئروسل‌های باکتریایی در فصل تابستان بیشتر از فصل بهار بود. هم چنین بیشترین جمعیت باکتری‌ها در فصل بهار در هوای داخل ساختمان با میانگین $CFU/m^3$ ۱۳/۴۱±۱۸۷/۵۸ و در فصل تابستان در واحد متعادل ساز با میانگین $CFU/m^3$ ۱۲/۱۱±۲۰۲/۸۹ مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های حاصل از این مطالعه نشان داد که تعداد بیوآئروسل‌های باکتریایی در فصول گرم افزایش یافته است. همچنین واحد متعادل ساز دارای توانایی بالایی در تولید و انتشار بیوآئروسل‌های باکتریایی می‌باشد. همچنین افزایش فاصله از منبع آلودگی، سبب کاهش چشم گیر در تعداد بیوآئروسل‌های باکتریایی شده است.

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

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد.



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

**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 افزایش‌یافته 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).

بیوآئروسل ها ذرات بیولوژیکی پراکنده در هوا هستند که شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها، اندوتوکسین باکتریایی، سموم قارچی، گرده و فیبرهای گیاهی می‌باشند که اثرات قابل‌توجهی بر روی سلامتی دارند(۱). تماس با بیوآئروسل ها 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(۵-۳ ، 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 ازجمله ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و پروتوزوا ها 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).

بیوآئروسل‌ها در مراحل مختلف فرایند تصفیه فاضلاب به ویژه در فرآیندهایی که شامل مکانیزم های متحرک و هوادهی فاضلاب انجام می‌شود، تولید می‌شوند(۹، ۱۰). فوران حباب‌های تولیدشده توسط هوادهی و همزن مکانیکی فاضلاب می‌تواند باعث تولید ذرات بیوآئروسل شده و باعث ورود باکتری‌ها و قارچ‌ها به هوا شود(۱۱). میکروارگانیسم‌های با قطر کمتر از ۴/۷ میکرومتر که در حین تصفیه به هوا منتقل می‌شوند، به دلیل اندازه کوچک، به‌راحتی وارد ریه شده که باعث ایجاد عفونت در افراد دارای نقص ایمنی می‌شود(۲، ۵). 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 خطرآفرین هستند(۲).

تحقیقات نشان داده است که در معرض قرار گرفتن با بیوآئروسل ها از طریق استنشاق $10^5$ برابر بیشتر از تماس پوستی است(۱۲). خطر بالقوه ناشی از بیوآئروسل‌ها به بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌های خاص، عوامل محیطی، میزان و نوع قرار گرفتن در معرض و پاسخ ایمونولوژیک 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 بیوآئروسل‌ها از فرآیندهای تصفیه فاضلاب، نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه‌های



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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

ازجمله این مطالعات می‌توان به مطالعه Kowalski و همکاران، در سال ۲۰۱۷ بر روی باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد جمع‌آوری‌شده در تصفیه‌خانه‌های مختلف فاضلاب لهستان اشاره کرد که در آن سطح غلظت باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد در تمام نقاط تصفیه‌خانه بین $CFU/m^3$ ۱۰۲ تا ۱۰۳ بود(۱۵).

هم چنین نتایج مطالعه‌ی Wenjie و همکاران نشان داد که بیشترین غلظت باکتری‌های هوا $CFU/m^3$ ۵۵۰ ± ۴۱۵۵ در تابستان و پایین‌ترین غلظت باکتری‌ها $CFU/m^3$ ۴۳۴ ± ۱۴۵۸ در زمستان بوده است(۱۶). برخی دیگر از مطالعات ازجمله مطالعه‌ی Wenjie و همکاران(۱۶). وGrisoli و همکاران(۱۷) نیز مؤید این مطلب بودند که فصل به‌طورکلی بر غلظت باکتری‌ها تأثیر می‌گذارد و در تابستان بیشتر از زمستان است.

طبق یافته‌های مطالعه Pascual و همکاران، پیش‌تصفیه و ته‌نشینی اولیه مراحلی با بیشترین میزان انتشار بیوآئروسل ها هستند(۱۰). هم چنین نتیجه مطالعه Karra و همکاران نشان داد که کاهش زیادی در میزان میکروارگانیسم‌های 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 بیوآئروسل‌های حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب برای مردم منطقه کافی است(۱۹).تاکنون مطالعات متعددی در مورداندازه‌گیری جمعیت بیوآئروسل ها 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 بیوآئروسل ها در هوای واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب، لازمه انجام اقدامات کنترلی به‌منظور حفاظت و سلامت کارکنان در این واحدهاست؛ بنابراین این پژوهش باهدف اندازه‌گیری بیوآئروسل‌های موجود در هوای تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد انجام شد.

## روش بررسی

این مطالعه از نوع توصیفی بوده که در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد و در مقطع زمانی ۶ ماه (دو فصل بهار و تابستان) در سال ۹۹ انجام گرفت. شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد 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 تأسیس‌شده است.

در این شهرک ۱۹۰ واحد صنعتی اعم از صنایع غذایی، نساجی، سلولزی، برق و الکتریک، 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.



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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 نمونه برداری ABC (مدل AS26) و ایمکتور تک مرحله‌ای Biostage (مدل SKS ساخت کشور آمریکا) با دبی L/min ۲۸/۳ و مدت‌زمان یک ربع، ماهی دو بار و با استفاده از پلیت‌های ۹ سانتیمتری انجام گرفت.

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

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 پارافیلم 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 ۰/۵± ۳۷ به مدت ۲۴تا ۴۸ساعت قرار گرفتند(۲۲).

تعداد کلنی‌های باکتریایی رشد کرده بر روی محیط‌های کشت شمارش و به‌صورت واحد $CFU/m^3$ انجام شد(۲۰).

درنهایت داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه۲۲ و Excel تجزیه‌وتحلیل شدند. با استفاده از آنالیزهای آماری T-test مستقل، تحلیل واریانس ولچ و آزمون بون فرونی در نرم‌افزار SPSS درستی فرضیه‌ها تجزیه‌وتحلیل 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($P < ۰/۰۰۱$).

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



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

فصل بهار در هوای داخل ساختمان با میانگین $CFU/m^3$ ۱۸۷/۵۸±۱۳/۴۱ و در فصل تابستان در واحد متعادل ساز با میانگین $CFU/m^3$ ۲۰۲/۸۹±۱۲/۱۱ مشاهده شد.

همچنین نتایج نشان داد که کمترین دانسیته باکتری‌ها مربوط به ۱۰۰ متر قبل از اولین واحد در بهار ($CFU/m^3$ ۳۴/۷۴±۷/۱۷) و ۱۰۰ متر بعد از آخرین واحد در تابستان($CFU/m^3$ ۹/۷۲±۲/۴۱) بود.

نتایج حاصل از آزمون بون فرونی (جداول ۲ و ۳) نشان داد که غلظت بیوآئروسل‌ها در واحدهای مختلف فرآیندی و عملیاتی تصفیه‌خانه ازنظر آلودگی یکسان نبوده و اختلاف معنی‌داری بین میزان آلودگی در اکثر واحدهای مختلف تصفیه‌خانه وجود داشت ($P<۰/۰۵$).

طبق نتایج، بیشترین اختلاف بین میانگین تعداد بیوآئروسل‌های باکتریایی در فصل بهار، به ترتیب بین نقاط بالادست و هوای داخل ساختمان ($۱۵۲CFU/m^3$)، فیلتراسیون و هوای داخل ساختمان ($۱۳۵CFU/m^3$)، پایین دست و هوای داخل ساختمان ($۱۲۳CFU/m^3$)، متعادل ساز و بالا دست ($۱۱۶CFU/m^3$) و هوادهی و داخل ساختمان اداری ($۱۱۳CFU/m^3$) مشاهده شد. هم چنین بین واحد متعادل ساز و دیگر نقاط نمونه برداری، بیشترین اختلاف، به ترتیب زیر مشاهده شد.

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

| فصل | محل نمونه‌برداری | میانگین جمعیت باکتری‌ها برحسب $CFU/m^3$ | انحراف معیار | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| بهار | متعادل ساز | ۱۵۱/۰۷ | ۱۷/۸۲ | $p<۰/۰۰۱$ |
| | هوادهی | ۷۴/۵۱ | ۱۵/۴۹ | |
| | فیلتراسیون | ۵۲/۴۱ | ۱۳/۰۱ | |
| | ۱۰۰ متر بالادست تصفیه‌خانه | ۳۴/۷۴ | ۷/۱۷ | |
| | ۱۰۰ متر پایین‌دست تصفیه‌خانه | ۶۳/۹۱ | ۲۰/۰۳ | |
| | داخل ساختمان اداری | ۱۸۷/۵۸ | ۱۳/۴۱ | |
| | جمع | ۹۴/۰۴ | ۱۱/۵۸ | |
| تابستان | 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 پایین‌دست تصفیه‌خانه | ۹/۷۲ | ۲/۴۱ | |
| | داخل ساختمان اداری | ۱۱۸/۳۷ | ۱۰/۳۵ | |
| | جمع | ۹۵/۹۰ | ۱۰/۴۲ | |

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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

| فصل | محل نمونه‌برداری (A) | محل نمونه‌برداری (B) | میانگین اختلاف جمعیت A-B (برحسب $CFU/m^3$) | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| بهار | متعادل ساز | هوادهی | ۷۶/۵۶ | ۰/۲۳۱ |
| | | فیلتراسیون | ۹۸/۶۳ | ۰/۰۳۴ |
| | | ۱۰۰ متر بالادست | ۱۱۶/۳۰ | ۰/۰۰۶ |
| | | ۱۰۰ متر پایین‌دست | ۸۷/۱۶ | ۰/۰۹۵ |
| | | داخل ساختمان | -۳۶/۵۱ | ۱/۰۰۰ |
| | هوادهی | متعادل ساز | -۷۶/۵۶ | ۰/۲۳۱ |
| | | فیلتراسیون | ۲۲/۰۷ | ۱/۰۰۰ |
| | | ۱۰۰ متر بالادست | ۳۹/۷۴ | ۱/۰۰۰ |
| | | ۱۰۰ متر پایین‌دست | ۱۰/۶۰ | ۱/۰۰۰ |
| | | داخل ساختمان | -۱۱۳/۰۷ | ۰/۰۰۹ |
| | فیلتراسیون | متعادل ساز | -۹۸/۶۳ | ۰/۰۳۴ |
| | | هوادهی | -۲۲/۰۷ | ۱/۰۰۰ |
| | | ۱۰۰ متر بالادست | ۱۷/۶۷ | ۱/۰۰۰ |
| | | ۱۰۰ متر پایین‌دست | -۱۱/۴۷ | ۱/۰۰۰ |
| | | داخل ساختمان | -۱۳۵/۱۵ | ۰/۰۰۱ |
| | ۱۰۰ متر بالادست | متعادل ساز | -۱۱۶/۳۰ | ۰/۰۰۶ |
| | | هوادهی | -۳۹/۷۴ | ۱/۰۰۰ |
| | | فیلتراسیون | -۱۷/۶۷ | ۱/۰۰۰ |
| | | ۱۰۰ متر پایین‌دست | -۲۹/۱۴ | ۱/۰۰۰ |
| | | داخل ساختمان | -۱۵۲/۸۲ | <۰/۰۰۱ |
| | ۱۰۰ متر | متعادل ساز | -۸۷/۱۶ | ۰/۰۹۵ |
| | پایین‌دست | هوادهی | -۱۰/۶۰ | ۱/۰۰۰ |
| | | فیلتراسیون | ۱۱/۴۷ | ۱/۰۰۰ |
| | | ۱۰۰ متر بالادست | ۲۹/۱۴ | ۱/۰۰۰ |
| | | داخل ساختمان | -۱۲۳/۶۷ | ۰/۰۰۳ |
| | داخل ساختمان | متعادل ساز | ۳۶/۵۱ | ۱/۰۰۰ |
| | | هوادهی | ۱۱۳/۰۷ | ۰/۰۰۹ |
| | | فیلتراسیون | ۱۳۵/۱۵ | ۰/۰۰۱ |
| | | ۱۰۰ متر بالادست | ۱۵۲/۸۲ | <۰/۰۰۱ |
| | | ۱۰۰ متر پایین‌دست | ۱۲۳/۶۷ | ۰/۰۰۳ |



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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

| فصل | محل نمونه‌برداری (A) | محل نمونه‌برداری (B) | میانگین اختلاف جمعیت A-B (برحسب $CFU/m^3$) | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| تابستان | متعادل ساز | هوادهی | ۵۵/۹۵ | ۰/۰۰۳ |
| | | فیلتراسیون | ۱۴۵/۱۶ | <۰/۰۰۱ |
| | | ۱۰۰ متر بالادست | ۱۶۳/۱۳ | <۰/۰۰۱ |
| | | ۱۰۰ متر پایین‌دست | 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 پایین‌دست | 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 پایین‌دست | 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 پایین‌دست | ۳۰/۰۴ | ۰/۵۴۲ |
| | | داخل ساختمان | -۷۸/۶۱ | <۰/۰۰۱ |
| | ۱۰۰ متر | متعادل ساز | -۱۹۳/۱۷ | <۰/۰۰۱ |
| | پایین‌دست | 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 پایین‌دست | ۱۰۸/۶۵ | <۰/۰۰۱ |

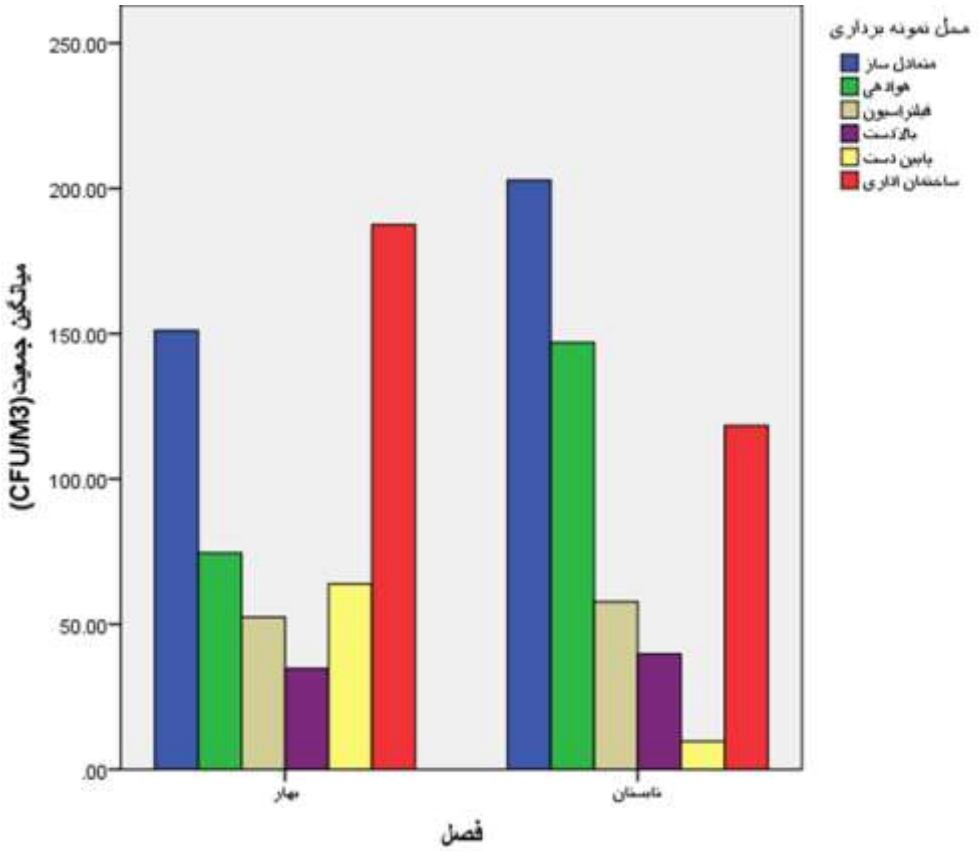


[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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

| فصل | میانگین جمعیت باکتری‌ها برحسب $CFU/m^3$ | انحراف معیار | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|
| بهار | ۹۴/۰۴ | ۱۱/۵۸ | ۰/۹۰۵ |
| تابستان | ۹۵/۹۰ | ۱۰/۴۲ | |




نمودار ۱: میانگین جمعیت بیوآئروسل های باکتریایی **($CFU/m^3$)**در فصول بهار و تابستان در واحد های مختلف

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

طبق نتایج، بیشترین اختلاف بین میانگین تعداد بیوآئروسل‌های باکتریایی در فصل تابستان، به ترتیب بین نقاط پایین دست و متعادل ساز ($۱۹۳CFU/m^3$)، بالادست و متعادل ساز ($۱۶۳CFU/m^3$)، فیلتراسیون و متعادل ساز ($۱۴۵CFU/m^3$)، هوادهی و پایین دست ($۱۳۵CFU/m^3$) و پایین دست و داخل ساختمان اداری ($۱۱۳CFU/m^3$) مشاهده شد. همچنین به عنوان 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 درجدول ۴ نشان داد که میانگین تعداد آئروسل‌های باکتریایی در فصل تابستان ($۹۵/۹\pm۱۰/۴۲ CFU/m^3$) اندکی بیشتر از فصل بهار ($۹۴/۰۴\pm۱۱/۵۸ CFU/m^3$) بود، اما به‌صورت کلی بین میانگین



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

تعداد باکتری‌ها در فصول مختلف، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P> ۰/۰۵). به‌عبارت‌دیگر هرچند که بین میانگین جمعیت باکتریایی در هوای واحدهای مختلف تصفیه‌خانه اختلاف وجود داشت، اما به‌طورکلی 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 تولیدشده 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 (هوابرد) شوند و درنتیجه 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 هوابرد، دلیلی برای توسعه بحث آئرو میکروبیولوژی بوده است. هرچند به نظر می‌رسد هیچ‌گونه مقدار حد آستانه پذیرفته‌شده 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 می باشند(۲۵)، هم چنین غلظت میکروارگانیسم ها در 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 تصفیه خانه 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 بیوآئروسل‌ها 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).

یافته های حاصل از این مطالعه (جدول ۱) نشان داد واحد متعادل ساز دارای توانایی بالایی در تولید بیوآئروسل های باکتریایی می باشد که این امر می تواند 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 آن ها کمتر می شوند و در نهایت در هوا معلق باقی می مانند(۲۵). Boruta و همکاران (۲۹) در مطالعه مشابه، بیشترین انتشار بیوآئروسل ها را در حوالی حوض دانه گیری که اولین واحد تصفیه خانه بود مشاهده کردند. گزارشات Ranalli و همکاران نشان می‌دهد که بیشترین انتشار باکتری‌های هوازی در پیش‌تصفیه مکانیکی رخ می‌دهد که بامطالعه‌ی حاضر همخوانی داشت(۳۰).

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



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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

میزان بالای آئروسل‌های 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 بیوآئروسل‌ها ارتباط مستقیم دارد، همخوانی داشت. Korzeniewska و همکاران نیز اعلام نمودند که سیستم هوادهی استفاده‌شده در فرایند بیولوژیکی تصفیه فاضلاب در تولید بیوآئروسل‌ها نقش برجسته‌ای دارد که با نتایج این مطالعه همخوانی داشت(۳۴).

Carducci و همکاران دریافتند که اطراف تانک‌های هوادهی، آلایندگی 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 موردمطالعه 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 بیوآئروسل‌های 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 آئروسل‌های باکتریایی در تانک هوادهی نسبت به واحدهای متعادل ساز را می توان طبق نتایج مطالعه ی Brandi و همکاران (۳۵) به این علت دانست که در مواردی که از هوادهی سطحی یا همزن مکانیکی در تانک استفاده می شود، میزان بیشتری بیوآئروسل نسبت به سیستم هوادهی انتشاری منتشر می شود. از آن جاکه در اکثر موارد سیستم‌های هوادهی عامل اصلی انتشار بیوآئروسل ها در هوای تصفیه‌خانه می‌باشند، استفاده از هواده‌های دیفیوزری به‌جای هوادهی گسترده سطحی، روش مناسبی جهت کاهش انتشار بیوآئروسل ها می‌باشد، زیرا هواده‌های دیفیوزری نسبت به هواده‌های 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 بیوآئروسل ها مؤثر است(۲۵،۳۴،۳۷).

در مطالعات مختلف کمترین میزان بیوآئروسل ها در اطراف واحد ته نشینی ثانویه مشاهده شد که این می‌تواند به علت عدم وجود دستگاه‌های مکانیکی و تلاطم فاضلاب در این واحد باشد(۵). هم چنین هرچه به سمت انتهای مراحل تصفیه فاضلاب می‌رویم، میزان آلودگی فاضلاب کم می‌شود، بنابراین کاهش میزان بیوآئروسل‌های باکتریایی در اطراف واحد ته نشینی، دور از انتظار نیست. این فرضیه با نتایج این مطالعه کاملا تطابق دارد، زیرا که در این مطالعه نیز هرچه به سمت مراحل نهایی تصفیه فاضلاب پیش رفتیم(به طور مثال واحد فیلتراسیون)، میزان جمعیت بیوآئروسل‌ها کاهش یافت.

غلظت بیوآئروسل‌ها 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)می باشد. از پارامترهای مؤثر در میزان تولید بیوآئروسل ها می‌توان به‌اندازه تصفیه‌خانه، تکنولوژی و نوع فرآیند تصفیه و



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

نوع سیستم هوادهی نام برد. لازم به ذکر است که کمترین میزان انتشار بیوآئروسل ها توسط سیستم هوادهی افشانه‌ای رخ می‌دهد(۳۳).

به طور کلی، میانگین جمعیت بیوآئروسل‌ها با تصفیه‌ی بیشتر فاضلاب، کاهش می یابد. در نتیجه، پیش تصفیه و ته نشین کننده های اولیه مراحلی با بالاترین غلظت بیوآئروسل ها هستند، زیرا آن‌ها مرحله هایی هستند که فاضلاب هنوز به طور ضعیف تصفیه می شود و بنابراین کیفیت میکروبیولوژیکی پایین‌تری دارد(۱۰).

میزان بالای تراکم بیوآئروسل‌های 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 تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و دیگر اماکن، کیفیت هوای آزاد می‌تواند بر کیفیت هوای ساختمان تاثیر بگذارد، بنابراین می‌توان گفت که غلظت آلاینده‌ها 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 بیوآئروسل های باکتریایی شد که با مطالعات Fernando و همکاران (۳۷) و Carducci و همکاران (۷) همخوانی داشت. طبق گزارش Stellacci در فاصله ۳۰۰ متری تصفیه‌خانه‌ها، امکان وجود بیوآئروسل‌ها وجود نداشت و حتی تحت شرایط نامساعد آب و هوایی مشکل سلامتی برای کارکنان منطقه وجود نداشت(۱۹).

مطالعات متعددی ارتباط بین آلودگی باکتریایی و قارچی 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 بیوآئروسل 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 درمورد ۱۰۰متر بعد از آخرین واحد تصفیه خانه و ساختمان اداری تطابق نداشت. در مورد ۱۰۰متر پایین دست تصفیه خانه می‌توان علت را وزش باد مقطعی از انتها به ابتدای تصفیه خانه دانست و درمود 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 بیوآئروسل های باکتریایی، دانست.

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

طبق نتایج حااصل از این مطالعه، تراکم باکتری‌های هوابرد در هوای تصفیه خانه فاضلاب مورد بررسی(جدول ۳)، کمتر از ۵۰۰CFU/m$^3$ (میزان قابل‌قبول کنفرانس آمریکایی متخصصین بهداشت صنعتی دولتی) بود(۴۲).

طبق نتایج جدول۱، میانگین جمعیت باکتری‌ها در واحد فیلتراسیون و نقاط بالادست و پایین دست تصفیه خانه، کمتر از ۱۰۰CFU/m$^3$بود و طبق استاندارد کنفرانس دولتی بهداشت



[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

صنعتی آمریکا، جزو میزان بیوآئروسل کم موجود در هوا، قرار گرفت. اما در واحدهای متعادل ساز و هوادهی، جزء میزان بیوآئروسل متوسط (بین $CFU/m^3$ ۱۰۰ تا ۱۰۰۰) 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 ($۵۰۰CFU/m^3$) بود(۴۳).

در رهنمود ارایه شده توسط گروه مدیریت کیفیت هوای داخلی هنگ کنگ، مقدار باکتری‌های هوابرد در فضاهای داخلی با غلظت کمتر از ($۵۰۰CFU/m^3$)در کلاس عالی و غلظت کمتر از ($۱۰۰۰CFU/m^3$) در کلاس‌خوب رتبه بندی شده‌است(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 تصفیه‌خانه 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 اتاقک به‌عنوان پوشش، تعداد بیوآئروسل‌ها را در تصفیه‌خانه‌ها و محیط اطراف آن، کاهش می‌دهد که می‌تواند راهکاری برای کاهش بار آلودگی محیط تصفیه‌خانه‌ها باشد(۲۵).Brooks و همکاران گزارش دادند که در تصفیه خانه‌های فاضلاب محصورشده، مواجهه با بیوآئروسل‌ها با استفاده از فیلترهای هوا در بخش‌هایی که از اختلاط مکانیکی استفاده می‌شود، به حداقل می‌رسد(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 پاک‌سازی میکروارگانیسم‌های هوابرد است(۴۵).

نهایتاً رعایت بهداشت فردی و شستشوی مرتب دست ها و استفاده از لباس محافظ و ماسک می‌تواند مخصوصاً هنگام کار در مناطق آلوده‌تر، 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 بیوآئروسل های باکتریایی در هوای تصفیه خانه فاضلاب، لازم و ضروری است که دستگاه‌های 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 منافعی وجود ندارد.

## تشکر و قدر دانی

بدین‌وسیله از مدیریت محترم شهرک صنعتی جهان‌آباد میبد (جناب آقای مهندس ماندگاری) و اپراتورهای محترم تصفیه‌خانه (آقایان کریمی، ملانوری و احمدزاده) و تمام کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماییم.

References

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

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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 WastewaterTreatment 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 PetrochemicalWastewater 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.

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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, Golbabaei 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 Childrenís Hospital in Tehran, Iran. J. Health & Environ. 2009;1(2):75-80.

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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 Treamtment 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.

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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.

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]

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.

[ Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-06-17 ]

[ DOI: 10.18502/tbj.v20i6.8955 ]