

Investigation of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in the air of Aradkooh waste management facility of Tehran and neighboring areas in 2020

Farzaneh Arman¹ , Anooshiravan Mohseni Bandpey² , Abbas Shahsavani³ ,
Mohsen Sadani³ , Mehrnoosh Abtahi^{3*} 

1- M.Sc., Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: Waste management is one of the ways to reduce the environmental and health effects of human activities, however sometimes it causes environmental and health problems. Therefore, knowing the quality and quantity of pollutants released from waste management facilities will make its remedial solutions more effective. In this study, the air concentration of particulate matter (PM) in Aradkooh waste management facility of Tehran and its surrounding area was investigated.

Methods and material: In this cross-sectional study, PM_{2.5} and PM₁₀ were measured with a portable analyzer and samples were taken from 5 points inside and 3 points outside the waste management facility. The sampling was in the summer of 2020 in two consecutive weeks. Ethical considerations were observed in all stages of the study.

Results: The mean values of PM_{2.5} were significantly different by sampling site (p value <0.05). The mean values of PM_{2.5} and PM₁₀ in processing unit were higher than other points and were 405 and 1048 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The mean values of PM_{2.5} in Shurabad and Mahdiabad were 25 and 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The mean values of PM in most cases violated the standard of ambient air quality in Iran.

Conclusion: According to the results of this study, it was not possible to determine the specific origin of PM, but it seemed that in addition to waste management operations, other factors such as traffic, local dust and unknown sources affected the concentration of PM. The results showed that the environmental protection measures inside and around the waste management facility is essential to reduce air pollution, especially PM.

Keywords: Aradkooh waste management facility, PM_{2.5}, PM₁₀, Health effect

Please Cite this article as: Arman F, Mohseni Bandpey A, Shahsavani A, Saadani M, Abtahi M. Investigation of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in the air of Aradkooh waste management facility of Tehran and neighboring areas in 2020. Journal of Health in the Field. 2021; 9(1):1-12.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Email: mehrabtahi@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v9i1.33776>

Received: 18 January 2021

Accepted: 12 Sep 2021

بررسی غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در هوای تسهیلات مدیریت پسماند آرادکوه تهران و مناطق مجاور

در سال ۱۳۹۹

فرزانه آرمان^۱، انوشیروان محسنی بندپی^۲، عباس شاهسونی^۳، محسن سعدانی^۳، مهرنوش ابطی^{۳*}

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: مدیریت پسماند اگرچه خود از روش‌های کاهش اثرات زیست محیطی و بهداشتی فعالیت‌های انسانی است اما گاهی موجب معضلات محیط زیستی و بهداشتی می‌شود. بنابراین آگاهی از کیفیت و کمیت آلاینده‌های منتشره از مدیریت پسماند، راهکارهای اصلاحی آن را موثرتر خواهد کرد. در این مطالعه غلظت ذرات معلق در هوای مجتمع آرادکوه و محدوده اطراف آن بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی مقطعی، ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} با دستگاه داست آنالیزر اندازه‌گیری و نمونه برداری از ۵ نقطه داخل و ۳ نقطه خارج از مجتمع انجام شد. زمان نمونه‌برداری تابستان ۱۳۹۹ و در ۷ روز از دو هفته متوالی بود. ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه رعایت شد.

یافته‌ها: آزمون آماری بین مقادیر میانگین ذرات معلق $PM_{2.5}$ در محل‌های نمونه‌برداری اختلاف معنی‌دار نشان داد ($p < 0.05$). میانگین ذرات معلق در پردازش بیشتر از بقیه نقاط و به ترتیب برای $PM_{2.5}$ و PM_{10} برابر 40.5 و $104.8 \mu g/m^3$ بود. میانگین ذرات $PM_{2.5}$ در شورآباد و مهدی‌آباد به ترتیب 25 و $35 \mu g/m^3$ بود. میانگین ذرات معلق در بیشتر موارد از استاندارد هوای پاک ایران تخطی داشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان دهنده مقادیر بالای ذرات معلق در مجتمع آرادکوه و محدوده اطراف است. باتوجه به نتایج این مطالعه نمی‌توان منشأیابی مشخصی برای ذرات قائل بود؛ ولی به نظر می‌رسد علاوه بر عملیات مدیریت پسماند، عواملی همچون فعالیت‌های ترافیکی، گردوغبار محلی و منابع ناشناخته بر میزان غلظت ذرات معلق تاثیر می‌گذارد. اقدام محیط زیستی داخل مجتمع و محدوده اطراف آن جهت کاهش آلودگی هوا به‌ویژه ذرات معلق ضروری است.

کلید واژه‌ها: مجتمع مدیریت پسماند آرادکوه، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، اثرات بهداشتی

*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: mehrabtahi@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

مقدمه

دفع پسماند روش اصلی دفع ضایعات جامد شهری (Municipal solid waste) در جهان است، زیرا این روش ساده‌ترین و معمولاً ارزان‌ترین روش برای دفع زباله است [۱]. در بیشتر کشورهای در حال توسعه با درآمد کم تا متوسط، تقریباً همه پسماندهای جامد تولید شده به محل دفن زباله می‌روند. حتی در بسیاری از کشورهای پیشرفته، دفن زباله محبوب‌ترین روش دفع است. در اتحادیه اروپا، اگرچه سیاست‌های کاهش و استفاده مجدد به شدت تشویق می‌شود اما هنوز بیش از نیمی از کشورهای عضو اتحادیه بیش از ۷۵٪ زباله‌های خود را به محل دفن زباله ارسال می‌کنند [۲].

اگرچه دفن زباله هنوز یکی از راه‌حل‌های نهایی برای دفع پسماند است اما همراه با چالش‌های فراوانی است. زیرا پسماند در فرایند تولید تا دفع نهایی همواره تحت تاثیر واکنش‌ها و دگرگونی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی است که گاهی منجر به تولید ترکیبات و مواد بسیار خطرناک برای سلامتی و محیط زیست می‌شود. محل دفن زباله، منبع بالقوه آلودگی آبهای زیرزمینی، خاک و گیاهان توسط فلزات سنگین درون شیرابه می‌باشد [۳]. تجزیه مواد آلی و واکنش شیمیایی مواد معدنی درون توده پسماند در مسیر حیات پسماند از تولید تا دفن نهایی نیز منجر به انتشار گازهای متعدد با غلظت قابل توجهی در محیط می‌شود. همچنین بعضی گازهای منتشره از توده پسماند در زمین دفن مانند متان و گاز هیدروژن به شدت قابل اشتعال و انفجار هستند؛ بنابراین احتمال آتش سوزی در زمین دفن و توسعه آن به محیط‌های اطراف وجود دارد. شاید یکی از پرچالش‌ترین معضلات زیست محیطی مدیریت پسماند، انتشار گازهای آلاینده‌ای باشد که حتی در مقادیر بسیار ناچیز هم توسط افراد حساس جامعه قابل تشخیص است و موجب رنجش و آزار ذهنی افراد می‌شود. ضمن اینکه بعضی از آلاینده‌های گازی تولید شده سهمی در تولید آئروسول‌های آلی ثانویه (SOA: Secondary Organic Aerosol) و شرکت در واکنش‌های فتوشیمیایی اتمسفری را دارند [۴، ۵].

فعالیت‌های متعددی در مجتمع‌های مدیریت پسماند منجر به تولید ذرات معلق و گردوغبار می‌گردد. میزان ذرات معلق تولید شده بیشتر به نوع فعالیت و نحوه مدیریت در آن فعالیت خاص بستگی دارد؛ اما عواملی مانند میزان پسماند در حال فرآوری (پردازش یا دفن) و شرایط آب و هوایی نیز در میزان ذرات معلق تولید شده سهم دارند. از فعالیت‌های عمده‌ای که منجر به تولید ذرات معلق در مجتمع مدیریت پسماند می‌شود می‌توان به مواردی همچون جابه‌جایی پسماند در داخل و خارج از سایت، انبار کردن پسماند و پردازش آن، احتراق وسایل نقلیه و دیگر خصوص داخل سایت، رفت و آمد و فعالیت وسایل نقلیه و دیگر وسایل موتوری به‌ویژه در زمین دفن، احتراق در تجهیزات مورد استفاده برای سوزاندن گاز زمین دفن شامل فلرها و موتورهای احتراق داخلی، گردو غبار بلند شده از سطح زمین دفن در نتیجه فرسایش زمین، زیرورو کردن توده کمپوست، بادبردگی زباله از سطح توده تلبار شده و بادبردگی هنگام تخلیه پسماند در سلول‌های دفع اشاره کرد [۸-۶].

متداول‌ترین فرایندهای مکانیکی مدیریت پسماند مولد ذرات معلق و بیوآئروسول‌ها شامل آسیاب، خردکن و جداکننده‌های اجزا در پردازش و کمپوست می‌باشند. ذرات معلق جامد منشاء شده از این فرایندها ممکن است حاوی میکروارگانیسم‌ها باشند. خطر بهداشتی ناشی از بیوآئروسول‌ها، در نتیجه ذخیره طولانی مدت پسماندهای حاوی حتی مقدار کم مواد آلی رخ می‌دهد [۹]. علاوه بر واحد پردازش، واحد کمپوست نیز از منابع بالقوه تولید ذرات معلق به‌ویژه بیوآئروسول‌ها می‌باشند. بیوآئروسول‌ها شامل میکروارگانیسم‌های پاتوژن با غیرپاتوژن، زنده یا مرده از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیسیت‌ها، ویروس‌ها و حتی پولن‌ها می‌باشند. ذرات معلق در طی همه مراحل فرآیند کمپوست امکان تولید دارد. در مراحل اولیه خردکردن و تشکیل توده، زیرورو کردن توده، الک کردن کمپوست نهایی و حتی خود فرایند بیولوژیکی نیز از منابع تولید ذرات معلق یا همان بیوآئروسول‌ها در فرایند کمپوست به‌شمار می‌آیند [۱۲-۱۰].

زمین دفن نیز یکی دیگر از منابع تولید ذرات معلق می‌باشد تقریباً تمام فعالیت‌های انجام شده در زمین دفن تولید کننده ذرات معلق است. به‌ویژه حرکت وسایل نقلیه در محل دفن، عملیات تخلیه زباله، متراکم کردن زباله، فعالیت‌های مربوط به پوشش توده‌های پسماند، سوزاندن گازهای تولیدی در محل دفن و فرسایش باد از منابع تولید ذرات معلق ریز و گاهی بسیار ریز در زمین‌های دفن حساب می‌شوند. احتراق وسایل نقلیه و نیز حرکت آنها بر روی زمین دفن هردو از منابع تولید ذرات معلق هستند. اندازه سطح در حال کار در زمین دفن در میزان ذرات معلق تولید شده موثر است و کارگران شاغل در این محیط‌ها در معرض آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در ذرات معلق قرار دارند. ذرات ساطع شده از محل دفن ممکن است حاوی فلزاتی مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، سرب و منگنز باشد [۱۰]. میزان ذرات معلق انتشار یافته از زمین دفن به سرعت باد و تلاطم هوا، شرایط آب و هوایی (دوره خشکسالی، بارندگی، پوشش برف)، شرایط سطح جاده‌های متصل کننده سلول‌های دفن به یکدیگر و نیز شرایط زمین شناسی سطح زمین دفن از نظر اندازه ذرات خاک آن بستگی دارد [۷، ۱۳].

عامل مهم‌تری که بر میزان انتشار ذرات معلق در تسهیلات پسماند تاثیرگذار است اندازه ذرات معلق تولید شده در این مراکز است. چرا که ذرات معلق بزرگتر از ۱۰ میکرون شانس زیادی برای جابجایی در محل ندارند. اما از آنجایی که ماهیت فعالیت تسهیلات مدیریت پسماند به ویژه در واحدهایی چون پردازش، تبدیل به مواد آلی (کمپوست) و زباله سوزی به نحوی است که اندازه مواد را کاهش می‌دهند، بنابراین این واحدها به عنوان منابع بالقوه تولید ذرات معلق محسوب می‌شوند [۱۳]. به طور کلی ذرات معلق با قطر آئرودینامیک بیشتر از ۳۰ میکرون فقط توانایی جابجایی تا ۱۰۰ متر را دارند. ذرات با قطر بین ۱۰ تا ۳۰ میکرون امکان بادبردگی بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر را دارند اما ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون ممکن است تا فاصله ۱ کیلومتری از مبدا حمل شوند و ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون عملاً نشست نکرده و رسوب

نمی‌کنند. با این حال باید دانست که حتی ذرات فوق ریز (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) پراکندگی کندتر و کمتری نسبت به گازها دارند و ذرات با ماهیت مواد آلی به دلیل دانسیته کمتر، نرخ ترسیب کمتری نسبت به ذرات معلق با ماهیت معدنی دارند [۱۴].

ذرات معلق در غلظت‌های زیاد برای انسانها، بویژه افرادی که سابقه بیماریهای تنفسی دارند، خطر آفرینند. اثر ذرات بر روی انسان به اندازه ذرات بستگی دارد و تاثیرشان می‌تواند متفاوت باشد. ممکن است آن ذره بتواند از قسمت‌های مختلف دستگاه تنفس عبور کند و معمولاً ذرات بین ۵ تا ۱۰ میکرون در ابتدای دستگاه تنفس (حلق و بینی) گرفته می‌شوند و تعداد زیادی از ذرات کمتر از ۵ میکرون حین عبور از نای از هوا جدا می‌شوند. مهمترین بخش ذرات که دارای اهمیت بهداشتی بالایی است، ذرات حدود ۱ تا ۲ میکرون می‌باشد که می‌توانند به راحتی وارد کیسه‌های هوایی شوند و مقداری از آنها می‌توانند مدت‌های زیادی در داخل کیسه‌های هوایی باقی بمانند. طبق بررسی های سازمان جهانی بهداشت هر $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ افزایش ذرات معلق باعث ۰/۲ تا ۰/۶ درصد اضافه مرگ و میرها (بر اساس همه عوامل مرگ) خواهد شد. مواجهه طولانی مدت با ذرات $\text{PM}_{2.5}$ نیز باعث افزایش ۶ تا ۱۳ درصدی مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی به ازای هر $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ افزایش این ذرات می‌شود. بسیاری از مطالعات نشان داده است که وقتی غلظت ذرات معلق ۱۰ میکرون و کمتر، از $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ تجاوز می‌کند افزایش مرگ‌ومیر، معنی‌دار می‌شود. [۱۵-۱۸]. استاندارد ۲۴ ساعته ذرات معلق در استاندارد هوای پاک ایران برای ذرات $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب ۳۵ و $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد. استاندارد مواجهه شغلی با ذرات برای گروه ذرات قابل تنفس (باقطر کمتر از ۱۰۰ میکرون) و ذرات قابل استنشاق (باقطر کمتر از ۵ میکرون) به ترتیب ۱۰ و $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ می‌باشد.

اگرچه در مطالعات زیادی به آلاینده‌های منتشره از تسهیلات مدیریت پسماند پرداخته شده است اما ذرات معلق در این تسهیلات کمتر مورد توجه محققین بوده است. در مطالعه‌ای که

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه مجتمع پردازش و دفع پسماند کهریزک (آراد کوه) بود که مساحت آن ۱۴۰۰ هکتار است و حدوداً از ۴۰ سال قبل کار خود را آغاز کرده است. محل دفن پسماند کهریزک در جنوب شرقی تهران واقع شده است. مختصات عرض جغرافیایی محل دفن آراد کوه "۳۵° ۴۱' ۲۱" شمالی و طول جغرافیایی آن "۵۱° ۲۳' ۲۰" شرقی است [۱۹، ۲۱]. جهت های باد غالب، غربی و شمال غربی است. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب از ۵- درجه سانتیگراد تا ۴۰ درجه سانتیگراد است. میانگین بارندگی و تبخیر سالانه به ترتیب ۲۴۰ میلی متر و ۲۵۰ میلی متر هستند [۱۹].

فرایندهای اصلی در مورد دفع مواد زائد جامد که در مجتمع دفع و پردازش آراد کوه انجام می شود شامل واحد پردازش، کمپوست، دفن زباله و تصفیه خانه شیرابه است [۲۱]. مجتمع پردازش و دفع پسماند آراد کوه، پسماند مخلوط شهری را از مناطق ۲۲ شهرداری تهران، ری، باقرشهر، کهریزک، حسن آباد، تجریش و چهاردانگه را دریافت می کند. پسماندهای شهری شامل پسماند خانگی، تجاری، موسسات (مدارس، ادارات و زندان ها، موسسات خدماتی دیگر)، خدمات شهری (رفت و روب و تنظیف معابر)، تصفیه خانه آب و فاضلاب و نخاله های ساختمانی است. نخاله های ساختمانی با توجه به تنوع ترکیب و مشکلات زیست محیطی و شهری حاصل از مدیریت غیراصولی این نوع پسماندها به مجتمع پردازش و دفع آبعلی منتقل می شود [۲۲، ۲۱].

اجزا پسماند ورودی به مجتمع پردازش و دفع پسماند آراد کوه شامل مواد آلی قابل تجزیه (۷۱/۲٪)، کاغذ و مقوا (۹/۶٪)، مواد پلاستیکی (۵/۹٪)، شیشه (۲/۱٪)، فلزات (۱/۷٪)، منسوجات (۱/۴٪)، چوب (۰/۷٪)، لاستیک (۰/۴٪) و سایر مواد است. در واحد پردازش، به عنوان اولین واحد تصفیه پسماند مجتمع پردازش آراد کوه، اجزای بزرگ از جمله مقوا، پلاستیک ها، شیشه، فلز و غیره را توسط ترومل (دستگاهی است که به صورت مکانیزه

Chalvatzaki و همکاران (۲۰۱۰) در زمین دفن Chania در کشور یونان انجام دادند، میانگین غلظت ذرات PM_{10} بین ۴۲ تا $601 \mu g/m^3$ بدست آمد و بالاترین مقادیر ذرات معلق در هوای آزاد در مرکز زمین دفن ثبت شد. آنها عملیات پوشاندن سلولهای دفن و رفت و آمد کامیون ها و لودرها را مهمترین عامل انتشار ذرات دانستند. ذرات معلق داخل سالن جداسازی و پردازش بالاترین مقدار را در میان فضاهای بسته به خود اختصاص داده اند [۱۰]. Chalvatzaki و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه دیگری سهم انتشار موقتی گردوغبار را در کل ذرات بررسی نمودند. آنها میانگین هفتگی را برابر $275 \mu g/m^3$ بدست آوردند و به ترتیب سهم جاده بدون آسفالت و وزش باد را انتشار موقتی گردوغبار ۷۶ و ۱ درصد اعلام کردند [۱۳]. Hroncová و همکاران (۲۰۲۰) نیز در مطالعه ای که در زمین دفن در اسلوکی انجام دادند غلظت ذرات معلق ۱۰ نانومتر تا ۱۰ میکرون را در دو بازه اولترا و میکرو ذره اندازه گیری کردند. آنها مقادیر ذرات PM_{10} در مطالعه خود بین ۲۹ تا $163 \mu g/m^3$ گزارش کردند [۷].

مجتمع پردازش و دفع آرادکوه در منطقه کهریزک-در جنوب شهر تهران- واقع شده است. این مجتمع دارای بخش های مختلف پیش پردازش، تولید کمپوست، دفن زباله بی خطر سازی شده مراکز بهداشتی و درمانی، دفن زباله و تصفیه شیرابه می باشد. باتوجه به عملیات و فرایندهایی که در این مجتمع انجام می شود، این مجتمع می تواند منشأ تولید و انتشار آلودگی باشد [۱۹، ۲۰]. فعالیت های مجتمع آرادکوه شامل واحد پردازش، کمپوست، زمین دفن و حتی تصفیه خانه شیرابه (با فرض تشکیل آئروسول های ثانویه) همگی از منابع انتشار ذرات معلق محسوب می شوند. باتوجه به نزدیکی این مجتمع به روستاهای شورآباد و مهدی آباد، این مجتمع می تواند منشأ آلودگی در این روستاها و محیط های اطراف باشد. لذا هدف از این مطالعه اندازه گیری ذرات معلق در مجتمع پردازش آراد کوه و نیز محدوده اطراف آن می باشد.

برای جداسازی مقوا و پلاستیک به کار می‌رود) و یا به صورت دستی، توسط کارگرانی که در دو طرف نوار نقاله قرار دارند، برداشته می‌شود. فلزات به وسیله آهنرباهای قوی جداسازی می‌شوند و مواد آلی به واحد کمپوست‌سازی منتقل می‌شوند. سایر مواد زائد باقی مانده (تحت عنوان ریجکتی) با استفاده از کامیون‌ها بارگیری می‌شوند و به مناطق دفن زباله منتقل می‌گردند. کمپوست از سه بخش؛ هوادهی، دپو و پالایش تشکیل شده است. برای کنترل رطوبت و دمای فرآیند کمپوست، هوادهی هر ۳ تا ۵ روز یکبار انجام می‌شود. پس از ۳۰ تا ۵۰ روز، مواد زائد آلی که کم آب و تجزیه شده‌اند به مدت شش ماه تا یک سال در قسمت، پالایش و دپو نگهداری می‌شوند [۲۱، ۲۲]. محل دفن زباله شامل دوبخش است یکی محل‌های دفنی که در حال حاضر در آنجا دفن پسماند صورت می‌گیرد و دیگری محل دفن بهداشتی مخصوص زباله‌های بهداشتی و درمانی است. محل دفن پسماند عادی در شرق واحدهای پردازش و کمپوست قرار دارد و بعضی از بخش‌های آن تعطیل شده و بعضی از بخش‌ها در حال کار هستند. شیرابه‌های حاصل از محل‌های دفن زباله و کمپوست در فرآیندهای بی‌هوازی تصفیه‌خانه شیرابه، تصفیه می‌شوند. همچنین بخشی از شیرابه در زمانی که تصفیه‌خانه شیرابه در حال تعمیرات و نگهداری است به محوطه کناری تصفیه‌خانه شیرابه منتقل می‌شود و دریاچه شیرابه را تشکیل می‌دهد. شیرابه دریاچه برای کنترل رطوبت زمین دفن (جلوگیری از انتشار گردو غبار محل دفن) و کاهش انتشارات گازی به زمین دفن بازگردانده می‌شود. گرچه مدیریت مجتمع آرادکوه سعی در کاهش حجم دریاچه شیرابه دارد اما در سال انجام این مطالعه دریاچه شیرابه در محوطه مجتمع وجود داشت و نکته منفی این

دریاچه علاوه بر تخریب خاک و آب زیرزمینی، نزدیکی به مناطق مسکونی و انبارهای صنعتی در شورآباد می‌باشد [۲۰، ۲۱]. در این مطالعه $PM_{2.5}$ و PM_{10} اندازه گیری شدند. اندازه گیری ذرات معلق با استفاده از دستگاه داست آنالیزر ساخت شرکت ایرانی فن پایا انجام شد. زمان نمونه برداری هفت روز در دوهفته متوالی آخر مرداد و اول شهریور سال ۱۳۹۹ بود. دستگاه قابل حمل بود و داده‌های مربوط به غلظت ذرات را در لحظه ثبت می‌کرد. نمونه‌برداری در ۸ نقطه و در ۲ هفته (۷ روز غیرمتوالی) انجام شد و برای هر نقطه ۷ میانگین لحظه‌ای ثبت شد. در کل ۵۶ میانگین ثبت گردید. در نقاط اندازه گیری نتایج به دست آمده در انتها با استفاده از نرم افزار SPSS ورژن ۲۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه عوامل محیطی نظیر دما، جهت باد، سرعت باد، رطوبت نسبی، فشار هوا نیز ثبت شد. به منظور سنجش تفاوت میزان ذرات معلق در مجتمع آرادکوه و اطراف آن، نقاط اندازه‌گیری انتخاب شدند که شامل نقاط نمونه‌برداری درون تسهیلات مدیریت پسماند: واحد کمپوست (۱)، واحد پردازش (۲)، مجاورت زمین دفن (۳)، مجاورت تصفیه‌خانه شیرابه (۴)، مجاورت دریاچه شیرابه (۵) و نقاط نمونه‌برداری در مناطق مجاور شامل شورآباد (۶)، مهدی آباد (۷)، بیابان (۸) بودند. فاصله شعاعی نقاط اندازه‌گیری در شورآباد، مهدی‌آباد و بیابان نسبت به پردازش به ترتیب حدود ۳، ۲/۵ و ۱/۲ کیلومتر بود؛ اما شورآباد در مجاورت مجتمع و در نزدیکی تصفیه‌خانه و دریاچه شیرابه (فاصله تقریبی ۲/۲۵ کیلومتر) بود. ذکر این توضیح ضروری است که نقاط اندازه گیری شده در نتیجه بازدید میدانی و مصاحبه با افراد محلی انتخاب شدند. نقشه (شکل شماره ۱) جانمایی نقاط اندازه گیری را نمایش می‌دهد.



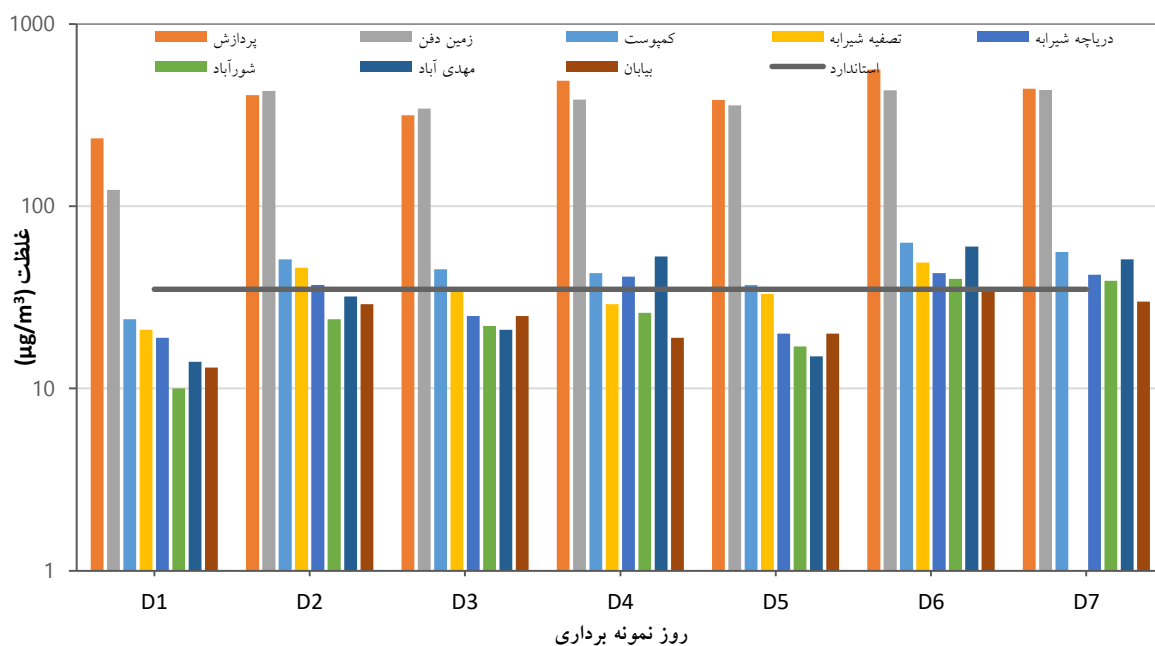
شکل ۱- نقاط اندازه گیری ذرات معلق در مجتمع آرادکوه و اطراف آن شامل ۱- کمپوست، ۲- پردازش، ۳- زمین دفن، ۴- تصفیه خانه شیرابه، ۵- دریاچه شیرابه (درون تسهیلات مدیریت پسماند)، ۶- شورآباد، ۷- مهدی آباد، ۸- بیابان (خارج از تسهیلات)

Figure 1- Air sampling points for measuring $PM_{2.5}$ and PM_{10} in solid waste management facility of Tehran and neighboring areas: 1: Composting unit, 2: Processing unit, 3: Sanitary landfill site, 4: Leachate treatment plant, 5: Leachate lake, (within facility) 6: Shurabad, 7: Mahdiabad, 8: Undeveloped area (outside facility)

یافته‌ها

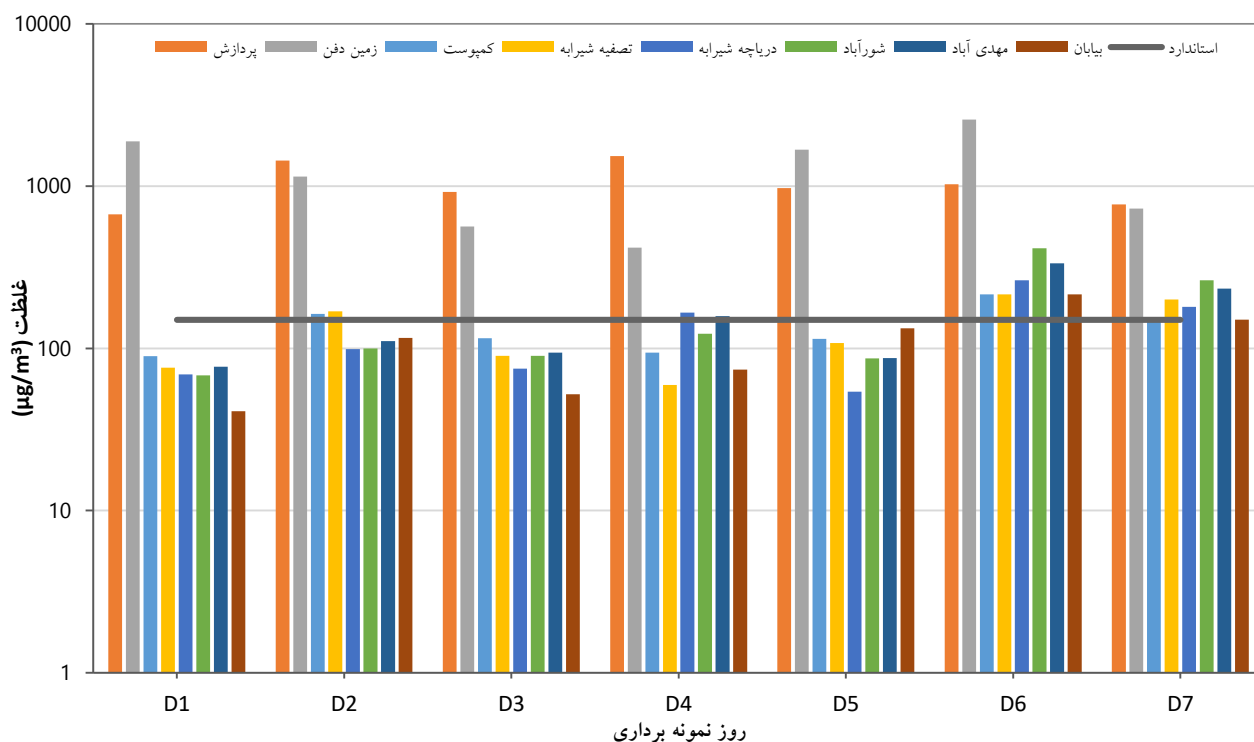
غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در نقاط مختلف نمونه‌برداری و روزهای مختلف، متفاوت می‌باشد. آنچنان که از شکل مشخص است بالاترین میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ به ترتیب در واحد پردازش، تصفیه خانه شیرابه، مهدی آباد و دریاچه شیرابه اندازه گیری شده است. اگرچه بالاترین غلظت‌ها در مهدی آباد ثبت شده‌اند. شکل ۳ تغییرات میانگین غلظت PM_{10} در نقاط مختلف اندازه گیری در مجتمع آرادکوه و اطراف آن را نشان می‌دهد. میانگین غلظت PM_{10} متفاوت از $PM_{2.5}$ بود. همانطور که در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود بالاترین میانگین غلظت‌ها به ترتیب در واحد پردازش، شورآباد، مهدی آباد و کمپوست اندازه‌گیری شده است.

نتایج اندازه‌گیری ذرات معلق در شکل‌های زیر به نمایش درآمده است. همچنین جدول ۱ میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. شکل شماره ۲، میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در روزهای مختلف اندازه گیری در مجتمع آرادکوه و اطراف آن را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشخص است بالاترین غلظت‌های $PM_{2.5}$ به ترتیب در روزهای ششم و هفتم نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است. شکل شماره ۳، میانگین غلظت PM_{10} در روزهای مختلف را نشان می‌دهد. میانگین غلظت ذرات PM_{10} در روزهای اول و دوم بیشتر از سایر روزها بود، به عبارتی تغییرات زمانی $PM_{2.5}$ و PM_{10} از همدیگر تبعیت نمی‌کردند. در همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود،



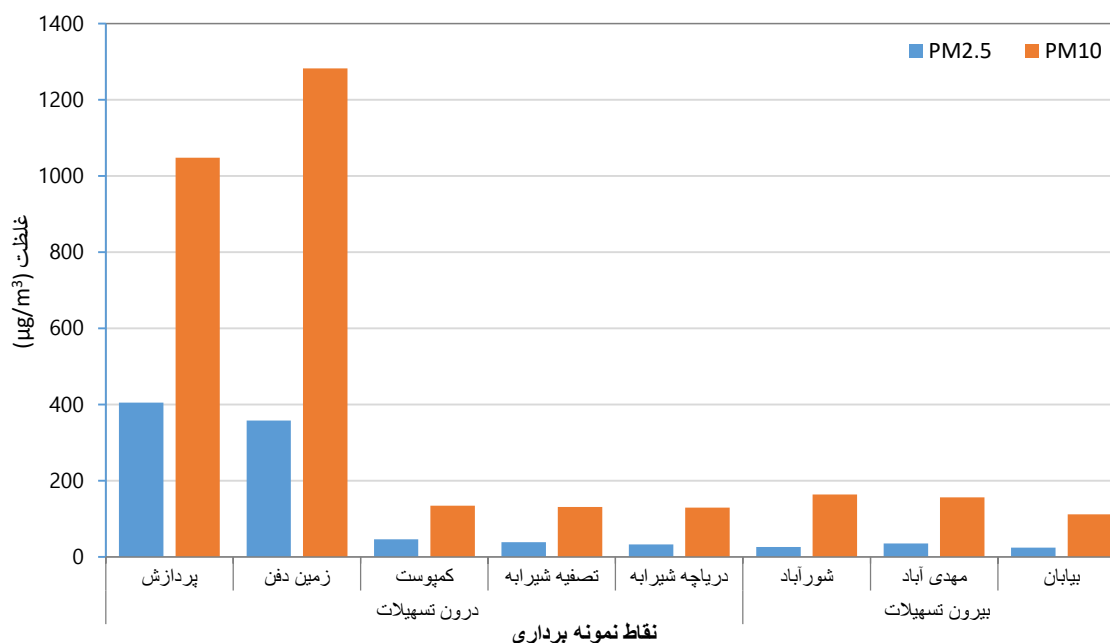
شکل ۲- میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در روزهای مختلف اندازه گیری در مجتمع آرادکوه و اطراف آن

Figure 2- Average concentration of $PM_{2.5}$ on different days in solid waste management facility of Tehran and neighboring areas



شکل ۳- میانگین غلظت PM_{10} در روزهای مختلف اندازه گیری در مجتمع آرادکوه و اطراف آن

Figure 3- Average concentration of PM_{10} on different days in solid waste management facility of Tehran and neighboring areas



شکل ۴- میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در نقاط مختلف اندازه‌گیری در مجتمع آرادکوه و اطراف آن

Figure 4- Average concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in solid waste management facility of Tehran and neighboring areas

مدیریت پسماند، عملیات تخلیه پسماند، متراکم کردن پسماند، فعالیت‌های مربوط به پوشش توده‌های پسماند، سوزاندن گازهای تولیدی در محل دفن و فرسایش باد از منابع تولید ذرات معلق ریز و گاهی بسیار ریز در تسهیلات مدیریت پسماند محسوب می‌شوند. اگرچه بدلیل رطوبت پسماند شهری، تخلیه پسماند همراه با تولید ذرات قابل توجهی نیست؛ عملیات پردازش معمولاً ذرات معلق زیادی تولید می‌کند. کمپوست نیز از منابع بالقوه تولید ذرات معلق است به خصوص زمانی که در سیستم‌های ویندرو، توده‌های زباله برگردانده می‌شوند، انتشار ذرات معلق رخ می‌دهد. احتراق وسایل نقلیه و نیز حرکت آنها در تسهیلات مدیریت پسماند که اغلب خاکی، غیرآسفالته و بدون پوشش می‌باشند. این امر موجب پراکنش گردوغبار بر روی زمین و نیز ذرات منتشره حاصل سوخت وسایل نقلیه می‌شود. دفن هردو از منابع تولید ذرات معلق هستند. اندازه سطح در حال کار در زمین دفن در میزان ذرات معلق تولید شده موثر است. عملیات انجام شده در زمین دفن شامل حفر، پوشش گذاری کف سلول دفن، تخلیه زباله در سلول‌ها و در نهایت پوشاندن سلول‌های پر شده

جدول ۱ - میانگین کل غلظت‌های اندازه‌گیری شده $PM_{2.5}$ و

Table 1- Total average of measured concentration $PM_{2.5}$ and PM_{10} in solid waste management facility of Tehran and neighboring areas

محل نمونه‌برداری	غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	PM_{10}	$PM_{2.5}$
کمپوست	۱۳۴	۴۶
پردازش	۱۰۴۸	۴۰۵
زمین دفن	۱۲۸۲	۳۵۸
تصفیه‌خانه شیرابه	۱۳۱	۳۸
دریاچه شیرابه	۱۲۹	۳۲
شورآباد	۱۶۳	۲۵
مهدی آباد	۱۵۶	۳۵
بیابان	۱۱۲	۲۴

بحث

عملیات مدیریت پسماند می‌تواند منبع مهمی از تولید ذرات معلق باشد تقریباً تمام فعالیت‌های انجام شده در زمین دفن تولید کننده ذرات معلق است. به‌ویژه حرکت وسایل نقلیه در تسهیلات

از زباله همراه با تولید میزان قابل توجهی از ذرات معلق می‌باشد. کارگران شاغل در تسهیلات مدیریت پسماند در معرض آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در ذرات معلق قرار دارند. ذرات ساطع شده از محل دفن ممکن است حاوی فلزاتی مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، سرب و منگنز باشد. بادرگذاری ذرات معلق به اطراف تسهیلات مدیریت پسماند، تهدیدی برای سلامت ساکنین اطراف این تسهیلات محسوب می‌شود [۱۰، ۷، ۶].

همانطور که در بخش مواد و روش‌ها آورده شد، اندازه‌گیری ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) با استفاده از دستگاه داست آنالیزر و به صورت لحظه‌ای انجام شد. نتایج این اندازه‌گیری در شکل‌های ۲ تا ۴ و جدول ۱ ارائه شده است. براساس شکل ۲ و ۳ مشخص است که بالاترین مقادیر $PM_{2.5}$ و PM_{10} در روزهای ششم و هفتم ثبت شده است. براساس جدول مشخص می‌شود که بیشترین میزان غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده در پردازش و زمین دفن می‌باشد. با اینکه واحد پردازش در محوطه نیمه محصور قرار دارد اما ماهیت فعالیت‌های این واحد منجر به مقادیر بالاتر ذرات معلق در آن شده است. به نظر می‌رسد فعالیت واحد کمپوست به دلیل رطوبت بالاتر، ذرات کمتری تولید کرده است. ذرات اندازه‌گیری شده در شورآباد و مهدی‌آباد نیز مقادیر بالاتری می‌باشند. در این مناطق شاید فعالیت ترافیکی نیز در ایجاد ذرات معلق موثر باشند.

مقایسه غلظت ذرات معلق با استاندارد هوای پاک ایران که برای ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب ۳۵ و $150 \mu g/m^3$ است نشان‌دهنده تخطی میزان ذرات معلق در نقاط اندازه‌گیری شده در بیشتر روزها می‌باشد. به طوری که مقدار $PM_{2.5}$ در کمپوست فقط یکروز پایین‌تر از استاندارد ملی بوده است و در شورآباد ۵ روز و مهدی‌آباد ۳ روز مقادیر کمتر از استاندارد ملی بوده است. آزمون آماری بین مقادیر میانگین ذرات معلق $PM_{2.5}$ در محل‌های نمونه‌برداری اختلاف معنی‌دار نشان داد ($p < 0.05$). اما میانگین ذرات معلق PM_{10} در محل‌های نمونه‌برداری باهم اختلاف

معنی‌داری نشان ندادند. همانطور که شرح داده شد، ذرات معلق در هوای یک منطقه ممکن است اولیه و ناشی از فرآیندهای فیزیکی و یا بادآوردگی از مناطق دیگر باشد و یا در نتیجه تشکیل آئروسول‌های آلی ثانویه ناشی از واکنش شیمیایی آلاینده‌های گازی حضور داشته باشند. بهرحال در محل‌های نمونه‌برداری این مطالعه هردو عامل در مقدار کلی ذرات معلق موثر هستند. شاید این دلایل توجیه‌کننده عدم سیر یکنواخت کاهش ذرات معلق با دورشدن از فرایندهای تولید کننده ذرات معلق در مجتمع پردازش باشد. همچنین آزمون آماری همبستگی $PM_{2.5}$ با پارامترهای هواشناسی نشان‌دهنده همبستگی مثبت با دما و سرعت باد بود. همبستگی $PM_{2.5}$ با دما -0.45 و با سرعت باد 0.451 بدست آمد. همبستگی PM_{10} با دما -0.301 و با سرعت باد 0.395 بود. میزان ذرات با تغییرات رطوبت همبستگی نداشتند.

در مطالعه Chalvatzaki و همکاران که غلظت ذرات معلق را در لندفیل در یونان را بررسی کرده بودند مشاهده کردند که غلظت بالای ذرات معلق در زمان فعالیت لندفیل رخ می‌دهد. شرایط آب و هوایی مانند افزایش سرعت باد و دما (که موجب از دست رفتن رطوبت خاک می‌شود) موجب افزایش انتشار ذرات معلق می‌شد. آنها با مقایسه غلظت PM_{10} در لندفیل و PM_{10} زمینه‌ای نتیجه‌گیری کردند که فعالیت زمین دفن بر غلظت ذرات معلق محلی اثر می‌گذارد. همچنین بین مقادیر اندازه‌گیری شده و زمینه‌ای هیچ همبستگی مشاهده نکردند [۱۰]. در مطالعه حاضر نیز غلظت PM_{10} بین 2002 تا $5247 \mu g/m^3$ بدست آمد و بین غلظت ذرات و سرعت باد همبستگی مثبت وجود داشت. Chalvatzaki و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه دیگری سهم انتشار موقتی گردوغبار را در کل ذرات بررسی نمودند و میانگین هفتگی را برابر $275 \mu g/m^3$ گزارش کردند. در مطالعه حاضر میانگین هفتگی ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب 176 و $545 \mu g/m^3$ بدست آمد.

فوق ریز (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) پراکندگی کندتر و کمتری نسبت به گازها دارند و ذرات با ماهیت مواد آلی به دلیل دانسیته کمتر، نرخ ترسیب کمتری نسبت به ذرات معلق با ماهیت معدنی دارند [۷،۱۰].

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده مقادیر بالای ذرات معلق در مجتمع پردازش و دفع آرادکوه و محدوده اطراف است. این مقادیر در بیشتر مواقع از میزان استاندارد تخطی می‌نماید. با توجه به نتایج حاصل شده در این مطالعه نمی‌توان منشأ یابی مناسبی برای ذرات قائل بود ولی به نظر می‌رسد عوامل دیگری همچون فعالیت‌های ترافیکی، گردوغبار محلی و منابع ناشناخته دیگری بر میزان غلظت ذرات معلق تاثیر می‌گذارد. با اینحال مقادیر بالای ذرات معلق در ۷ روز نمونه‌برداری در کهریزک نشان‌دهنده نیاز به اقدام محیط زیستی در جهت کاهش آلودگی است. این اقدامات ممکن است شامل اقدامات اصلاحی در زمین دفن مانند پوشش سطوح مولد گردوغبار مانند جاده‌های درون زمین دفن با ماسه، محصور کردن فضاها، پردازش و فیلتراسیون ذرات معلق تولیدی یا ایجاد فضای سبز قوی‌تر در اطراف مجتمع می‌باشد. همچنین گردش محلی و منشأ یابی ذرات معلق در خارج از مجتمع رویکرد مناسب دیگری است. مجاورت کهریزک با بیابان می‌تواند منبع دیگر ذرات باشد. در این خصوص ایجاد کمربند سبز در اطراف مناطق مسکونی شورآباد و مهدی‌آباد می‌تواند در کاهش غلظت ذرات معلق موثر باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1398.169 مصوب دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است. بدین وسیله از همه کسانی که در انجام پایان نامه ما را یاری دادند، سپاسگزاری به عمل می‌آید.

در مطالعه Hroncová و همکاران که ذرات معلق بسیار ریز را در شرایط آب و هوایی بدون باد و خشک اندازه‌گیری کردند تعداد ذرات معلق را در این شرایط آب و هوایی بین ۲۵۰۰ تا ۵۵۰۰ ذره در هر سانتیمتر مکعب گزارش دادند و غلظت میکروذرات بین ۲۹ تا $163 \mu g/m^3$ متغیر بود [۷]. غلظت ذرات معلق در مطالعه حاضر بالاتر از نتایج مطالعه آنها بدست آمد.

اهمیت نسبی مکانیسم‌های رهاسازی میان تسهیلات مدیریت پسماند، وابسته به نوع و میزان پسماندی که مورد فراوری قرار می‌گیرد، مدت زمان عملیات و ماهیت پسماند، متفاوت خواهد بود. علاوه بر این عوامل خارجی بر میزان آزاد شدن و پراکندگی تأثیر می‌گذارند، از این میان شرایط هواشناسی به ویژه میزان باران و قدرت باد مهم است. توپوگرافی نیز یکی از عوامل تأثیر گذار است گاهی موانع حتی ساختمان‌های اداری می‌توانند به نحو موثری از پراکندگی ذرات معلق در تسهیلات پسماند ممانعت کنند. همچنین تسهیلاتی که پردازش پسماند را داخل ساختمان انجام می‌دهند تا حد زیادی کمتر از تسهیلات در فضای باز در معرض شرایط آب و هوایی هستند [۹،۷].

عامل مهم‌تری که بر میزان انتشار ذرات معلق در تسهیلات پسماند تأثیرگذار است اندازه ذرات معلق تولید شده در این مراکز است. چرا که ذرات معلق بزرگتر از ۱۰ میکرون شانس زیادی برای جابجایی در محل ندارند. اما از آنجایی که ماهیت فعالیت تسهیلات مدیریت پسماند به ویژه در واحدهایی چون پردازش، تبدیل به مواد آلی (کمپوست) و زباله سوزی به نحوی است که اندازه مواد را کاهش می‌دهند بنابراین این واحدها به عنوان منابع بالقوه تولید ذرات معلق محسوب می‌شوند [۸،۷،۲۳].

به طور کلی ذرات معلق با قطر آئرودینامیک بیشتر از ۳۰ میکرون فقط توانایی جابجایی تا ۱۰۰ متر را دارند. ذرات با قطر بین ۱۰ تا ۳۰ میکرون امکان بادبردگی بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر را دارند اما ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون ممکن است تا فاصله ۱ کیلومتری از مبدا حمل شوند و ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون عملاً نشست نکرده و رسوب نمی‌کنند. با این حال باید دانست که حتی ذرات

Reference

- 1- Liu Y, Yang H, Lu W. VOCs released from municipal solid waste at the initial decomposition stage: Emission characteristics and an odor impact assessment. *Journal of Environmental Sciences* 2020; 98:143-50.
- 2- Zhao Y, Zhou Q, Hidetoshi K, Luo L. Nitrogen flow characteristics of solid waste in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2021; 208:111596.
- 3- Cheela VRS, John M, Biswas WK, Dubey BJE. Environmental Impact Evaluation of Current Municipal Solid Waste Treatments in India Using Life Cycle Assessment. *Energies* 2021; 14(11):3133.
- 4- Park J-W, Shin H-C. Surface emission of landfill gas from solid waste landfill. *Atmospheric Environment* 2001; 35(20):3445-51.
- 5- Vinti G, Bauza V, Clasen T, Medlicott K, Tudor T, Zurbrugg C, et al. Municipal Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021; 18(8):4331.
- 6- Jia Q, Huang Y, Al-Ansari N, Knutsson SJJoES, Engineering G. Dust emissions from landfill deposition: a case study in Malmberget mine, Sweden. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* 2013; 3(3):25-34.
- 7- Hroncová E, Ladomerský J, Ladomerská DJD. Landfill air pollution by ultrafine and microparticles in case of dry and windless weather conditions. *Detritus* 2020; 10:139-46.
- 8- Araújo IP, Costa DB, De Moraes RJJS. Identification and characterization of particulate matter concentrations at construction jobsites. *Sustainability* 2014; 6(11):7666-88.
- 9- Ladji R, Yassaa N, Cecinato A, Meklati BY. Seasonal variation of particulate organic compounds in atmospheric PM10 in the biggest municipal waste landfill of Algeria. *Atmospheric Research* 2007; 86(3):249-60.
- 10- Chalvatzaki E, Kopanakis I, Kontaksakis M, Glytsos T, Kalogerakis N, Lazaridis M. Measurements of particulate matter concentrations at a landfill site (Crete, Greece). *Waste Management* 2010; 30(11):2058-64.
- 11- Aghaei M, Yaghmaei K, Hassanvand MS, Hedayati MH, Yousefian F, Janjani H, et al. Exposure to endotoxins and respiratory health in composting facilities. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2020; 202:110907.
- 12- Ghanbarian M, Ghanbarian M, Ghanbarian M, Mahvi AH, Hosseini M. Determination of bacterial and fungal bioaerosols in municipal solid-waste processing facilities of Tehran. *Journal of Environmental Health Science Engineering* 2020; 18(2):865-72.
- 13- Chalvatzaki E, Glytsos T, Lazaridis M. A methodology for the determination of fugitive dust emissions from landfill sites. *International Journal of Environmental Health Research* 2015; 25(5):551-69.
- 14- Deed C. Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities, Technical Guidance Document (Monitoring) M17, Bristol: Environment Agency, UK; 2004.
- 15- Hadei M, Hopke PK, Nazari SSH, Yarahmadi M, Shahsavani A, Alipour MR. Estimation of mortality and hospital admissions attributed to criteria air pollutants in Tehran metropolis, Iran (2013-2016). *Aerosol Air Quality Research* 2017; 17(10):2474-81.
- 16- Faridi S, Shamsipour M, Krzyzanowski M, Künzli N, Amini H, Azimi F, et al. Long-term trends and health impact of PM2. 5 and O3 in Tehran, Iran, 2006–2015. *Environment International* 2018; 114:37-49.
- 17- Jahangiri Rad M, Motavali, M. Investigating the selected sub-goals of sustainable development indicators in the health, environment and sanitation sectors in Iran and their comparison with the world situation during the years 2013 to 2018. *Journal of Health in the Field* 2020; 8(1):1-12 (In Persian).
- 18- Almasi A, Asadi F, Mohammadi M, Farhadi F, Atafar Z, Khamutian R, Moahammadi A. Survey of pollutant emissions from stack of Saman cement factory of Kermanshah city from year 2011 to 2012. *Journal of Health in the Field* 2013; 1(2): 36-43 (In Persian).
- 19- Ghasemabad Shuroabad. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Qasemabad_shorabad. Accessed nov,24.2020 (In Persian).
- 20- Yaghmaien K, Hadei M, Hopke P, Gharibzadeh S, Kermani M, Yarahmadi M, et al. Comparative health risk assessment of BTEX exposures from landfills, composting units, and leachate treatment plants. *Air Quality, Atmosphere Health* 2019; 12(4):443-51.

- 21- Yousefian F, Hassanvand MS, Nodehi RN, Amini H, Rastkari N, Aghaei M, et al. The concentration of BTEX compounds and health risk assessment in municipal solid waste facilities and urban areas. *Environmental Research* 2020; 191:110068.
- 22- Abtahi M, Saeedi R, Nasrollah Boroojerdi M, Fakhraeefar A, Bayat A, Mokari S, et al. Public awareness, education and participation in solid waste management in Tehran. *Journal of Health in the Field* 2015; 3(2):7-16 (In Persian).
- 23- Aljaradin M, Persson K. Environmental impact of municipal solid waste landfills in semi-arid climates-case study-Jordan. *The Open Waste Management Journal* 2012; 5(1):28-39.