

Evaluation of PM_{2.5} Concentration and Determinant Parameters on its Distribution in Tehran's Metro System in 2012

Saeed Motesaddi Zarandi¹, Hossein Raei Shaktaie^{2*}, Jamshid Yazdani Cheratee³, Fateme Hosseinzade⁴, Mohsen Dowlati⁵

¹Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

²MSc Student in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

³Health Sciences research center, Department of Biostatistics, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁴Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

⁵MSc Student in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

(Received 20 June 2013 ; Accepted February 18, 2013)

Abstract

Objective and Background: Among air pollutants, particles are the primary and major pollutant. Research conducted by World Health Organization (WHO) shows that per each 10 micrograms increase in the concentration of particles, the mortality rate rises 1 to 3 times. The purpose of this study has been to determine the concentration of PM_{2.5} and determinants of its distribution in Tehran's metro stations in autumn and winter of 2012.

Materials and Methods: In this study, concentrations of PM_{2.5} in 24 of Tehran's metro stations were measured during autumn and winter. At each station, samples were taken in 4 spots and 4 times: morning, afternoon, evening and night. For sampling of particles, a portable real-time reading particle monitoring device HAZ DUST EPAM 5000 with a flow of 4 liters per minute was used. Results from measurements were compared with EPA and DOE (Department of Environment) standards.

Results: The results showed that max, average and min concentrations of PM_{2.5} in underground stations were 103, 49 and 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively, also max, average and min concentration PM_{2.5} at ground-level stations were 99, 39 and 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively.

Discussion and Conclusion: The results of this study indicate that the average concentration of suspended particles in Tehran metro stations was higher than EPA and DOE environment standards and air quality in metro stations was inappropriate.

Keywords: Suspended Particles, Transportation Systems, Mortality, PM_{2.5}, Metro

بررسی غلظت $PM_{2.5}$ و پارامترهای موثر بر انتشار آن در سیستم متروی ایران به سال ۱۳۹۱

سعید متصدی زرنندی^۱ حسین راعی شکتایی^۲ جمشید یزدانی چراتی^۳ فاطمه حسین زاده^۴ محسن دولتی^۵

چکیده

سابقه و هدف: در بین آلاینده های هوا، ذرات از آلاینده های اولیه و عمده هوا می باشند. تحقیقات انجام گرفته توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) نشان داد که به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم غلظت ذرات، میزان مرگ و میر ۳-۱ برابر افزایش می یابد. لذا هدف از انجام این مطالعه تعیین غلظت $PM_{2.5}$ و پارامترهای موثر بر انتشار در ایستگاه های مترو تهران در دو فصل پاییز و زمستان بوده است.

مواد و روش ها: در این مطالعه غلظت $PM_{2.5}$ در دو فصل پاییز و زمستان در ۲۴ ایستگاه مترو تهران بررسی شد. نمونه برداری ذرات بر روی ۴ نقطه ایستگاه و در ۴ دوره زمانی صبح، ظهر، عصر و شب به عمل آمد. جهت نمونه برداری ذرات معلق از یک دستگاه قرائت مستقیم پرتابل HAZ DUST EPAM 5000 با دبی ۴ لیتر در دقیقه استفاده شد. نتایج حاصله از اندازه گیری با استانداردهای EPA و سازمان حفاظت محیط زیست ایران مقایسه شد.

یافته ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که حداکثر، میانگین و حداقل غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاه های زیرزمینی به ترتیب ۱۰۳، ۴۹ و ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب و در ایستگاه های روزمینی به ترتیب ۹۹، ۳۵ و ۸ میکروگرم بر مترمکعب بود. **استنتاج:** نتایج این مطالعه نشان داده است که میانگین غلظت ذرات معلق در ایستگاه های مترو تهران بالاتر از استانداردهای محیطی EPA و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بوده است.

واژه های کلیدی: ذرات معلق، سیستم حمل و نقل، مرگ و میر، $PM_{2.5}$ ، مترو.

مقدمه

عمومی به عنوان یک گزینه مناسب جهت پیشگیری و کنترل آلودگی هوا محسوب می گردد. یکی از وسایل حمل و نقل عمومی سریع، مطمئن و ایمن که دارای کمترین اثرات زیست محیطی است مترو می باشد (۱).

آلودگی هوای ناشی از زندگی مدرن امروزی، به عنوان یکی از معضلات عظیم کلان شهرهایی نظیر تهران محسوب می شود که می تواند اثرات زیست محیطی مهمی را بر جای بگذارد. لذا حمل و نقل

مؤلف مسئول: حسین راعی شکتایی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

Email: hosseinraei@gmail.com

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۳. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۴. کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۵. دانشجوی کارشناسی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۲/۲

تاکسی و یا اتوبوس استفاده می کنند بیشتر است. مطالعات انجام گرفته نشان داد که هر ۳۰ دقیقه حمل و نقل با مترو و همچنین ۹ دقیقه توقف به منظور انتظار قطار در ایستگاههای مترو در هر روز میزان سطح تماس $Particulate\ Mamattel_{۲/۵}$ را در مقایسه با ماندن در ترافیک سطح شهر ۳ درصد افزایش می دهد. از طرفی میانگن غلظت تماس $Particulate\ Mamattel_{۲/۵}$ و TSP برای کسانی که با مترو رفت و آمد می کنند در مقایسه با رانندگان تاکسی و کسانی که با سایر وسایل ترد می کنند ۱۲-۸ برابر بیشتر است (۵).

با توجه به اینکه در شهر تهران روزانه میلیونها نفر مسافر در ایستگاههای مترو به منظور حمل و نقل جابه جا می شوند، لذا هدف از انجام این مطالعه بررسی غلظت $Particulate\ Mamattel_{۲/۵}$ در ایستگاههای خط ۱ و ۴ مترو تهران در طی دو فصل پاییز و زمستان بود. همچنین پارامترهای مؤثر بر انتشار غلظت $Particulate\ Mamattel_{۲/۵}$ از نظر آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش ها

در این مطالعه به بررسی و اندازه گیری غلظت $Particulate\ Mamattel_{۲/۵}$ در طی دو فصل پاییز و زمستان ۱۳۹۱ در ۲۴ ایستگاه مترو تهران پرداخته شد. حجم نمونه با استفاده از فرمول آماری محاسبه شد. سپس به هر ایستگاه شماره ای اختصاص و با کمک جدول اعداد تصادفی در نرم افزار EXCEL ایستگاهها انتخاب و بعد به دلیل اندازه گیری در فصول مختلف، زمانهای مختلف و فواصل زمانی شیفت، حجم نمونه در حاصل ضرب حالات مختلف ضرب شد. از کل ایستگاه مورد مطالعه ۷ ایستگاه روزمینی (حرم مطهر، باقرشهر، شهرری، علی آباد، خزانه، شوش و ترمینال جنوب) و ۱۷ ایستگاه زیرزمینی (قلهک، میرداماد،

مترو یک سیستم حمل و نقل ریلی زیرزمینی است که معمولاً در مناطق شهری از آن استفاده می شود و به منظور بهبود بخشیدن به کیفیت حمل و نقل، کاهش تراکم جمعیت سطح خیابانها، پر کردن خلاءهای موجود در سیستم حمل و نقل عمومی و همچنین بالابردن ظرفیت سطح جادهها مورد توجه قرار گرفته به طوریکه سالیانه به میلیونها نفر از مسافری در سراسر دنیا سرویس دهی می نماید. در حال حاضر به سبب گسترده شدن وسعت شهرها و بالا رفتن ازدحام جمعیت، استفاده مردم از سیستمهای حمل و نقل زیرزمینی افزایش یافته است. بنابراین به دنبال آن ممکن است مقدار آلایندهها در این نوع سیستمها بالا رفته و نگران کننده شود (۲).

در بین آلایندههای هوا، ذرات معلق از آلایندههای اولیه و عمده هوا محسوب می شود. ذرات معلق در غلظت های زیاد برای افرادی که سابقه بیماری تنفسی دارند خطرناک می باشند. بیماریهایی مانند عفونت بخش های فوقانی دستگاه تنفس، اختلالات قلبی، برونشیت، تنگی نفس، پنومونی، التهاب ریوی، تأثیرات سوء بر قفسه سینه و تأثیر بر مکانیسم های دفاعی از عمده ترین عوارض ذرات معلق بر روی انسان می باشند. طبق بررسی های سازمان بهداشت جهانی (WHO)، به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم غلظت ذرات معلق، میزان مرگ و میر ۳-۱ درصد افزایش می یابد (۳). به طور کلی عواملی مانند حرکت مسافران در هنگام ورود و خروج به ایستگاه، فعالیت موتور قطار، سیستم های تهویه به منظور برقراری جریان هوا، تمیز کردن کف ایستگاهها و حرکت قطارها به عنوان منابع انتشار ذرات معلق در مترو می باشند (۴، ۵).

به درستی مشخص گردیده میزان مواجهه با ذرات معلق برای گروههایی که از مترو استفاده می کنند در مقابل گروههایی که از سایر سیستم های حمل و نقل مثل

جمعیت مسافری و سیستم تهویه بر انتشار ذرات معلق در نظر گرفته شد و داده‌های حاصل با استفاده از آمار توصیفی، آزمون تی یک نمونه‌ای و رگرسیون لجستیک (تعمیم یافته) مورد تجزیه و تحلیل و جهت تفسیر آنها از نرم افزار SPSS ۱۸ و Excel استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از بررسی غلظت ذرات معلق در ۲۴ ایستگاه مترو تهران نشان داد که ۸۳/۳ درصد ایستگاه‌ها در فصل پاییز و ۴۵/۸ درصد ایستگاه‌ها در فصل زمستان دارای غلظت بالاتر از استاندارد EPA (۳۵ میکروگرم بر مترمکعب) بودند. براساس استاندارد تعریف شده محیطی سازمان حفاظت محیط زیست ایران نیز مشاهده شد که ۹۵/۸ درصد ایستگاه‌ها در فصل پاییز و ۷۹/۲ درصد ایستگاه‌ها در فصل زمستان دارای میانگین غلظت ذرات بالاتر از استاندارد (۲۵ میکروگرم بر مترمکعب) بودند.

شهید حقانی، مصلی، شهید بهشتی، شهید مفتاح، هفت تیر، دروازه دولت، امام خمینی، پانزده خرداد، شوش، ترمینال جنوب، خزانه، علی آباد، شهرری، باقرشهر، حرم مطهر، نبرد، شهدا، دروازه شمیران، ولیعصر، انقلاب اسلامی، توحید و میدان آزادی) جهت نمونه برداری انتخاب شده بودند. نمونه برداری در تمام روزهای هفته ماه آذر ۹۱/۹/۱ تا ۹۱/۹/۳۰ و ماه اسفند ۹۱/۱۲/۱ تا ۹۱/۱۲/۲۹ به عمل آمده بود. نمونه برداری ذرات بر روی ۳ نقطه سکو ابتدا، میان و انتها و ۱ نقطه خروجی ایستگاه در طی ۴ دوره زمانی ۱ ساعته صبح (۷/۳۰-۶/۳۰)، ظهر (۱۲/۳۰-۱۱/۳۰)، عصر (۱۷/۳۰-۱۶/۳۰) و شب (۲۰/۳۰-۱۹/۳۰) به عمل آمده بود. جهت اندازه گیری ذرات معلق از دستگاه پرتابل قرائت مستقیم پایش ذرات معلق HAZ DUST EPAM 5000 با دبی ۴ لیتر در دقیقه استفاده شد. کل مدت زمان نمونه برداری در هر نقطه ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد. دستگاه مورد نظر در هر نقطه با توجه به سطح تراز تنفسی در ارتفاع ۱/۵ متری زمین نصب شد. در این مطالعه تأثیر پارامترهایی مانند تغییرات فصلی، تغییرات

جدول شماره ۱: تغییرات حداکثر و میانگین غلظت $PM_{2.5}$ زمان های مختلف نمونه برداری در ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه در فصل پاییز و زمستان

| زمان نمونه برداری | فصل پاییز | | فصل زمستان | |
|-------------------|--|----------|------------|--------------|
| | غلاظت $PM_{2.5}$ (میکروگرم بر مترمکعب) | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
| صبح | ۷۷ | ۶/۴۸±۳۱ | ۳۱ | ۱۱/۵۳±۲۹ |
| ظهر | ۱۰۰ | ۱۳/۱۹±۳۸ | ۳۸ | ۱۰/۰۳±۳۰ |
| عصر | ۹۳ | ۱۵/۳۲±۳۴ | ۳۴ | ۱۲/۶۴±۲۹ |
| شب | ۹۵ | ۱۵/۴۵±۳۸ | ۳۸ | ۱۷/۰۲±۳۴ |

زمستان نیز مقادیر حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق به ترتیب در طی زمان‌های ظهر و شب با میزان ۷۲، ۳۰ و ۶۵، ۳۴ میکروگرم بر مترمکعب از سایر زمان‌های نمونه برداری بالاتر بود.

براساس زمان‌های مختلف نمونه برداری نتایج نشان می‌دهد که حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق به ترتیب در طی زمان‌های ظهر و شب در فصل پاییز با میزان ۱۰۰، ۳۸ و ۹۵، ۳۸ میکروگرم بر مترمکعب از سایر زمان‌های نمونه برداری بیشتر بود. همچنین در فصل

جدول شماره ۲: تغییرات حداکثر و میانگین غلظت $PM_{2.5}$ نقاط مختلف نمونه برداری در ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه در فصل پاییز و زمستان

| فصل زمستان | | | فصل پاییز | | | مکان نمونه برداری |
|---------------------------------------|---------|--------|---------------------------------------|---------|--------|-------------------|
| غلظت $PM_{2.5}$ (میکروگرم بر مترمکعب) | | | غلظت $PM_{2.5}$ (میکروگرم بر مترمکعب) | | | |
| انحراف معیار | میانگین | حداکثر | انحراف معیار | میانگین | حداکثر | |
| $11/0.9 \pm 33$ | 33 | 92 | $14/4 \pm 44$ | 44 | 121 | ابتدای سکو |
| $9/61 \pm 29$ | 29 | 59 | $8/57 \pm 35$ | 35 | 81 | میان سکو |
| $9/27 \pm 29$ | 29 | 65 | $8/24 \pm 42$ | 42 | 79 | انتهای سکو |
| $10/67 \pm 30$ | 30 | 67 | $10/72 \pm 45$ | 45 | 84 | خروجی ایستگاه |

تغییرات حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ تغییرات حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق در فصل پاییز به ترتیب در ابتدای سکو و خروجی ایستگاه با میزان 92، 33 و 67، 30 میکروگرم بر مترمکعب از سایر نقاط نمونه برداری بالاتر بود (جدول ۲).

بر اساس نقاط مختلف نمونه برداری نتایج نشان داد که تغییرات حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق در فصل پاییز به ترتیب در ابتدای سکو و خروجی ایستگاه با میزان 121، 44 و 84، 45 میکروگرم بر مترمکعب بالاتر از سایر نقاط نمونه برداری بود. همچنین در فصل زمستان

جدول شماره ۳: مقادیر مربوط به حداکثر، میانگین و حداقل غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های مورد پایش در فصل پاییز و زمستان

| ایستگاه | فصل پاییز | | | فصل زمستان | | |
|---------------|-----------|---------|----------------|------------|---------|----------------|
| | حداکثر | میانگین | انحراف معیار | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
| قلهک | 94 | 40 | $11/34 \pm 40$ | 94 | 42 | $11/43 \pm 42$ |
| میرداماد | 166 | 67 | $19/68 \pm 67$ | 85 | 30 | $6/92 \pm 30$ |
| شهید حقانی | 101 | 65 | $14/37 \pm 65$ | 99 | 55 | $8/18 \pm 55$ |
| مصلى | 95 | 37 | $10/30 \pm 37$ | 90 | 32 | $11/66 \pm 32$ |
| شهید بهشتی | 154 | 65 | $16/73 \pm 65$ | 72 | 40 | $5/48 \pm 40$ |
| شهید مفتاح | 77 | 35 | $9/80 \pm 35$ | 65 | 31 | $7/49 \pm 31$ |
| هفت تیر | 142 | 89 | $10/69 \pm 89$ | 139 | 29 | $8/22 \pm 29$ |
| دروازه دولت | 89 | 80 | $15/19 \pm 80$ | 75 | 45 | $10/17 \pm 45$ |
| امام خمینی | 89 | 58 | $13/14 \pm 58$ | 78 | 27 | $9/60 \pm 27$ |
| پانزده خرداد | 122 | 58 | $11/29 \pm 58$ | 71 | 26 | $8/82 \pm 26$ |
| شوش | 73 | 33 | $9/09 \pm 33$ | 68 | 28 | $7/22 \pm 28$ |
| ترمینال جنوب | 86 | 38 | $9/70 \pm 38$ | 81 | 25 | $6/89 \pm 25$ |
| خزانه | 131 | 24 | $17/73 \pm 24$ | 97 | 29 | $10/09 \pm 29$ |
| علی آباد | 121 | 27 | $5/22 \pm 27$ | 48 | 14 | $4/81 \pm 14$ |
| شهری | 191 | 78 | $23/64 \pm 78$ | 93 | 45 | $11/99 \pm 45$ |
| باقر شهر | 225 | 29 | $22/13 \pm 29$ | 71 | 32 | $14/47 \pm 32$ |
| حرم مطهر | 85 | 32 | 7 ± 32 | 102 | 49 | $10/22 \pm 49$ |
| نبرد | 162 | 57 | $12/04 \pm 57$ | 80 | 38 | $8/25 \pm 38$ |
| شهدا | 152 | 87 | $19/59 \pm 87$ | 45 | 28 | $5/60 \pm 28$ |
| دروازه شمیران | 134 | 44 | $11/19 \pm 44$ | 88 | 35 | $6/91 \pm 35$ |
| ولیعصر | 71 | 39 | $4/98 \pm 39$ | 75 | 35 | $8/81 \pm 35$ |
| انقلاب اسلامی | 94 | 45 | $3/97 \pm 45$ | 165 | 55 | $12/55 \pm 55$ |
| توحید | 85 | 37 | $5/45 \pm 37$ | 106 | 35 | $8/34 \pm 35$ |
| میدان آزادی | 144 | 49 | $12/74 \pm 49$ | 97 | 37 | $11/06 \pm 37$ |

نسبت میانگین غلظت ذرات معلق فصل پاییز به فصل زمستان 1/4 برابر بود (جدول ۳).

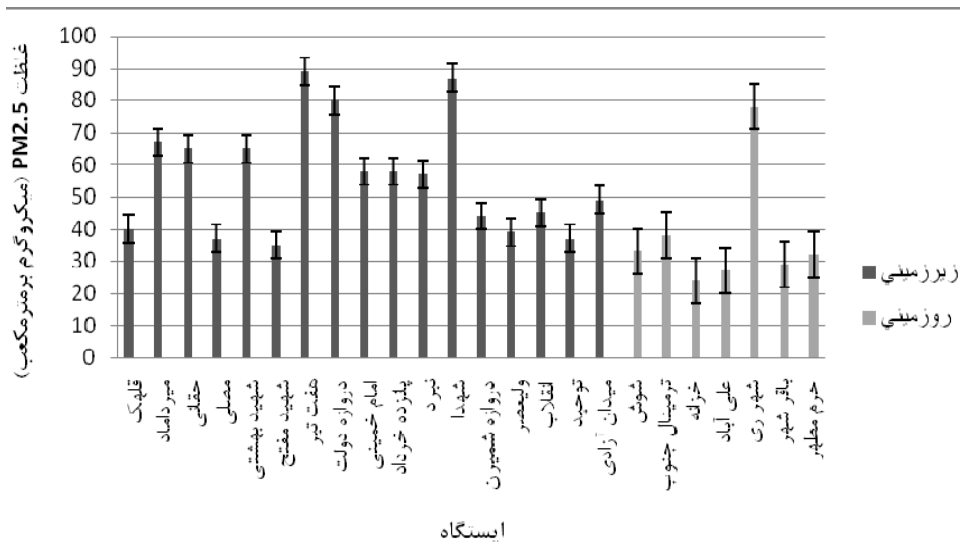
میانگین غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های مورد پایش در فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان بود، به طوریکه

جدول شماره ۴: مقایسه میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاههای مورد بررسی بر اساس جمعیت جابه جا شده در روز

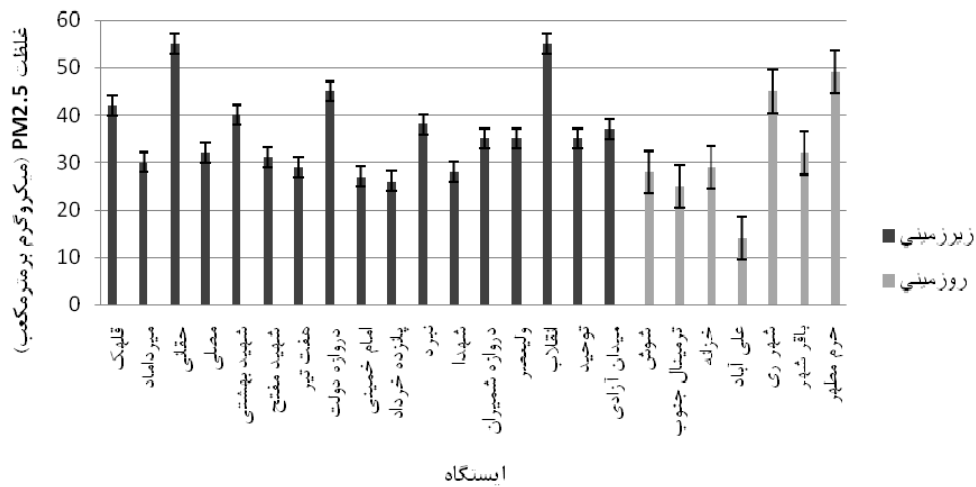
| نام ایستگاه | جمعیت مسافری جابه جا شده در روز فصل پاییز | میانگین غلظت $PM_{2.5}$ (میکروگرم بر مترمکعب) | جمعیت مسافری جابه جا شده در روز فصل زمستان | میانگین غلظت $PM_{2.5}$ (میکروگرم بر مترمکعب) |
|----------------|---|---|--|---|
| قلهک | ۲۱۹۲۵ | ۴۰ | ۱۹۱۹۵ | ۴۲ |
| میرداماد | ۴۱۳۵۵ | ۶۷ | ۳۶۷۵۴ | ۳۰ |
| حقانی | ۳۳۲۵۱ | ۶۵ | ۳۳۳۷۰ | ۵۵ |
| مصلی | ۲۱۳۶۹ | ۳۷ | ۲۰۳۳۲ | ۳۲ |
| بهشتی | ۵۷۲۶۷ | ۷۵ | ۴۹۴۴۱ | ۴۰ |
| مفتح | ۲۶۴۱۸ | ۳۵ | ۲۶۷۵۴ | ۳۱ |
| هفت تیر | ۵۷۲۶۷ | ۸۹ | ۵۹۶۴۵ | ۴۸ |
| دروازه دولت | ۲۲۱۲۹ | ۸۰ | ۲۱۵۵۵ | ۴۵ |
| امام خمینی | ۲۹۲۰۴ | ۵۸ | ۳۲۰۲۴ | ۴۵ |
| پانزده خرداد | ۲۷۵۹۷ | ۵۸ | ۲۵۲۰۰ | ۴۰ |
| نبرد | ۳۸۹۲۲ | ۵۷ | ۳۷۱۲۰ | ۲۱ |
| شهدا | ۲۷۸۳۵ | ۸۷ | ۲۵۴۳۳ | ۴۲ |
| دروازه شمیران | ۵۳۱۲۰ | ۴۴ | ۴۸۰۹۶ | ۳۵ |
| ولیعصر | ۱۶۷۱۸ | ۳۹ | ۱۶۳۰۲ | ۳۵ |
| انقلاب | ۲۶۹۴۵ | ۴۵ | ۲۴۱۷۸ | ۵۰ |
| توحید | ۱۵۴۸۳ | ۳۷ | ۱۳۱۵۲ | ۲۸ |
| میدان آزادی | ۳۸۱۲۹ | ۴۹ | ۴۱۷۷۰ | ۳۷ |
| شوش | ۱۲۰۶۰ | ۳۳ | ۱۰۵۹۱ | ۲۱ |
| ترمینال جنوب | ۱۱۴۸۹ | ۳۸ | ۱۲۸۹۳ | ۲۵ |
| خزانه | ۶۹۷۹ | ۲۴ | ۵۴۹۶ | ۱۷ |
| علی آباد | ۱۱۴۸۹ | ۲۷ | ۹۴۶۸ | ۱۴ |
| شهر ری | ۴۴۹۹۵ | ۷۸ | ۴۰۹۸۲ | ۳۰ |
| باقر شهر | ۱۸۲۰ | ۲۹ | ۱۶۴۵ | ۲۰ |
| حرم امام خمینی | ۴۱۱۷۸ | ۳۲ | ۳۹۳۵۳ | ۳۷ |

روز در فصل پاییز و زمستان می باشد که نشان می دهد با تغییرات جمعیت مسافری، میزان غلظت ذرات معلق نیز تغییر کرده بود.

جدول ۴ مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در ایستگاههای مورد نمونه برداری بر اساس جمعیت مسافری جابه جا شده در طی



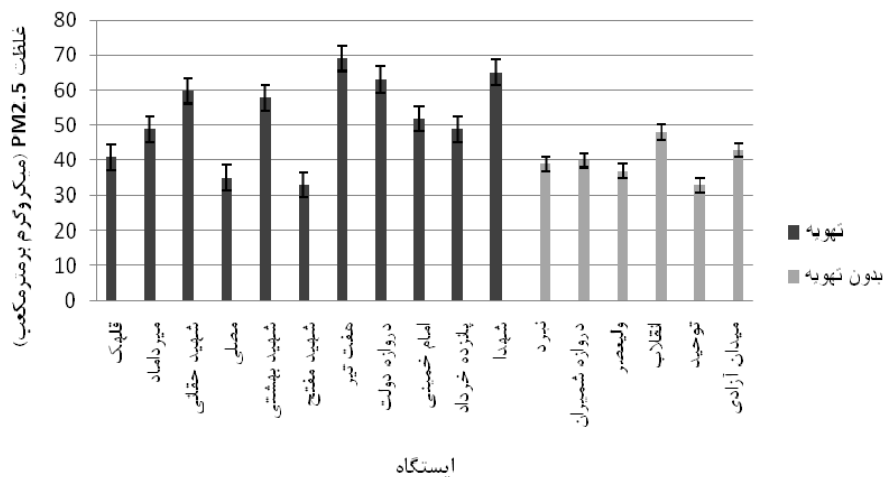
نمودار ۱: مقایسه میانگین غلظت $PM_{2.5}$ ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی در فصل پاییز



نمودار ۲: مقایسه میانگین غلظت $PM_{2.5}$ ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی در فصل زمستان

ذرات ایستگاه‌های زیرزمینی و روزمینی را نشان می‌دهد مشاهده می‌شود که میانگین غلظت ذرات در ایستگاه‌های زیرزمینی در مقایسه با ایستگاه‌های روزمینی بیشتر و بالاتر بود.

نمودار ۱ و ۲ مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در فصل پاییز و زمستان را نشان می‌دهد. از روی نمودار مشاهده می‌گردد که غلظت ذرات معلق در فصل پاییز نسبت به فصل زمستان بیشتر بود. از طرفی از روی نمودار که میانگین غلظت



نمودار ۳: مقایسه میانگین غلظت $PM_{2.5}$ ایستگاه‌های دارای سیستم تهویه و بدون تهویه

ایستگاه‌هایی که دارای سیستم تهویه بودند در مقایسه با ایستگاه‌های بدون سیستم تهویه بیشتر و تقریباً ۲/۴ برابر بود.

نمودار ۳ مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های دارای سیستم تهویه و بدون سیستم تهویه را نشان می‌دهد. از روی نتایج مشاهده می‌گردد که میانگین غلظت ذرات معلق در

بحث

نتایج حاصل از بررسی در ۲۴ ایستگاه مترو تهران نشان داد که میانگین غلظت ذرات معلق $۸۳/۳$ درصد ایستگاه‌ها در فصل پاییز و $۴۵/۸$ درصد ایستگاهها در فصل زمستان از استاندارد EPA (۳۵ میکروگرم بر مترمکعب) بالاتر بود. براساس مقایسه داده‌های حاصل با استاندارد محیطی سازمان حفاظت محیط زیست ایران نیز مشاهده شد که میانگین غلظت ذرات $۹۵/۸$ درصد ایستگاه‌ها در فصل پاییز و $۷۹/۲$ درصد رفرنس؟؟

ایستگاه‌ها در فصل زمستان بالاتر از استاندارد (۲۵ میکروگرم بر مترمکعب) بود.

در فصل پاییز ایستگاه هفت تیر با میانگین ۸۹ میکروگرم بر مترمکعب غلظت و خزانه با میانگین ۲۴ میکروگرم بر مترمکعب به ترتیب آلوده‌ترین و پاک‌ترین ایستگاه‌های مورد بررسی بودند. در فصل زمستان نیز ایستگاه‌های شهید حقانی و علی آباد با میانگین غلظت ذرات به ترتیب ۵۵ و ۱۴ میکروگرم بر مترمکعب آلوده‌ترین و پاک‌ترین ایستگاه‌های مورد بررسی بودند. جدول ۱ تغییرات غلظت ذرات معلق $PM_{۱۰}$ در طی زمان‌های مختلف نمونه برداری در فصل پاییز و زمستان را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت ذرات در زمان‌های ظهر و شب از سایر زمان‌های نمونه برداری بیشتر بود. به نظر می‌رسد خاموش بودن سیستم تهویه و هواکش‌های ایستگاه، عوامل مؤثر در بالا بودن غلظت ذرات در این دو دوره زمانی بودند.

جدول ۳ و ۲ تغییرات غلظت حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق در نقاط مختلف نمونه برداری در فصل پاییز و زمستان را نشان می‌دهد. از روی نتایج مشاهده می‌شود که تغییرات غلظت ذرات در فصل پاییز و زمستان در قسمت ابتدای سکو و خروجی ایستگاه از سایر نقاط نمونه برداری بالاتر بود. به نظر می‌رسد در قسمت ورودی ایستگاه به دلیل ورود قطار با سرعت زیاد

به داخل ایستگاه و ایجاد حالت دمش در فضای سکو و قرار گرفتن سیستم هواساز در ابتدای سکو افزایش غلظت دیده شد. از آنجایی که بیشتر ایستگاه‌ها در مجاورت خیابان‌های شلوغ و پر ترافیک بوده، ترافیک سطح شهر و ورود و خروج مسافری به ایستگاه از عوامل تأثیر گذار در زیاد بودن غلظت ذرات در این دو نقطه نمونه برداری بودند.

نمودار ۱ مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی را نشان می‌دهد. از روی نمودار مشاهده می‌شود که میانگین غلظت ذرات در ایستگاه‌های زیرزمینی به مراتب از ایستگاه‌های روزمینی بیشتر و تقریباً $۱/۴$ برابر بود. به نظر می‌رسد باز بودن دوطرف سکوی ایستگاه‌های روزمینی و برقراری جریان هوا بر روی سکو از دلایل کم بودن غلظت ذرات معلق ایستگاه‌های روزمینی در مقایسه با ایستگاه‌های زیرزمینی بود. مطالعاتی که در زمینه مقایسه غلظت ذرات ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی انجام گرفت نتایج آنها مشابه نتایج این مطالعه بود. به عنوان نمونه مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ توسط kim با عنوان بررسی توزیع فضایی ذرات معلق در ایستگاه‌های مترو سئول انجام گرفت نتایج نشان داد که غلظت ذرات معلق بر روی سکوی ایستگاه‌های زیرزمینی از سکوی ایستگاه‌های روزمینی بیشتر بود (۲). در سال ۲۰۱۱ مطالعه دیگری در ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی مترو لوس آنجلس توسط Winin Kam انجام شد نشان داد که غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های زیرزمینی دو برابر ایستگاه‌های روزمینی بود (۱۰). مطالعه دیگری به سال ۲۰۰۴ در ایستگاه‌های مترو هلسینکی فنلاند توسط Aarnio Päivi انجام گرفت نتایج مطالعه نشان داد که میانگین غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های زیرزمینی سه برابر ایستگاه‌های روزمینی بود (۹).

از نظر بررسی و تحلیل آماری تأثیر سه پارامتر تغییرات فصل، تغییرات جمعیت و عملکرد سیستم تهویه بر انتشار ذرات معلق زیر حاصل شد. نتایج حاصل

از تجزیه آمار توصیفی و رگرسیون لجستیک بین تغییرات فصل و انتشار غلظت ذرات با ($P_{\text{value}} < 0/05$) نشان داد که بین این دو پارامتر رابطه معنی داری وجود داشت به طوریکه نسبت غلظت ذرات معلق $\text{Particulate Mamattel}_{7/5}$ فصل پاییز نسبت به فصل زمستان $1/5$ برابر بود. به نظرمی رسد از مهمترین عوامل بیشتر بودن غلظت ذرات در فصل پاییز، بیشتر بودن فعالیت‌های تجاری، بالا بودن بار ترافیکی در سطح خیابان‌ها و تراکم مسافری در ایستگاه‌ها و ایجاد شرایط جوی مانند وارونگی هوایی (اینورژن) بود. مطالعات گوناگونی که در زمینه تأثیر تغییرات فصل بر انتشار غلظت ذرات معلق انجام گرفت نتایج آنها مشابه نتایج این مطالعه بود. به عنوان نمونه مطالعه ای در سال ۲۰۰۲ توسط Avad در ایستگاه‌های مترو مصر انجام شد نتایج آنها نشان داد که تغییرات غلظت ذرات معلق تحت تأثیر تغییرات فصل بود (۶). مطالعه دیگری که توسط مجید کرمانی در سال ۸۵ به منظور بررسی میزان TSP و $\text{Particulate Mamattel}_1$ در هوای شهر تهران در دو فصل زمستان و بهار انجام گرفت نشان داد که غلظت ذرات معلق وابسته به تغییرات فصل بوده و با تغییر شرایط فصلی از زمستان به بهار میزان انتشار غلظت ذرات نیز تغییر می کرد (۳). Jong Ryeul Sohn و همکاران در سال ۲۰۰۶ در مطالعه ای که در سیستم مترو کره جنوبی در طی دو فصل زمستان و تابستان انجام دادند نشان دادند که تغییرات غلظت $\text{Particulate Mamattel}_{7/5}$ وابسته به تغییرات فصل بود، به طوریکه غلظت $\text{Particulate Mamattel}_{7/5}$ فصل زمستان در مقایسه با فصل تابستان بیشتر و نسبت این غلظت در فصل زمستان در مقایسه با تابستان $0/98$ بود (۱۱).

نتایج تحلیل آماری بین سیستم تهویه و انتشار غلظت ذرات معلق با ($P_{\text{value}} < 0/05$) نشان داد که بین این دو پارامتر رابطه معنی داری دیده شد با توجه به نمودار ۳ که مربوط به مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق ایستگاه‌های دارای سیستم تهویه و بدون سیستم

تهویه می‌باشد نشان می‌دهد ایستگاه‌هایی که دارای سیستم تهویه بودند میانگین غلظت ذرات معلق $\text{Particulate Mamattel}_{7/5}$ با ضریب واریانس $39/16$ میکروگرم در واحد نسبت به ایستگاه‌هایی که بدون سیستم تهویه بودند بیشتر بود. به نظر می‌رسد عواملی مانند ناکارایی فیلترهای نصب شده بر روی دمپرهای ورود هوا به ایستگاه و در نتیجه وارد نمودن ذرات موجود در هوای بیرون به داخل ایستگاه، عدم کارکرد حوضچه‌های شستشوی هوا، عدم نظارت و بازبینی دوره‌ای فیلترهای هواساز، خاموش بودن هواساز در زمان‌های طولانی از روز به علت شرایط فصلی (سردی هوا) در بیشتر بودن غلظت ذرات در ایستگاه‌هایی با سیستم تهویه مؤثر بودند. به طور کلی به نظر می‌رسد که سیستم هواساز در ایستگاه‌های مترو تهران در کاهش غلظت ذرات تأثیر آن‌چنانی نداشته و بیشتر در بهینه کردن شرایط دمایی و رطوبتی ایستگاه ایفای نقش می نمود.

نتایج تحلیل آماری با ($P_{\text{value}} > 0/05$) نشان داد که بین جمعیت و انتشار غلظت ذرات معلق رابطه معنی داری دیده نشد ولی شواهد توصیفی تا حدودی بیانگر تأثیر این عامل بر انتشار غلظت ذرات معلق بود، به طوریکه در مقایسه ایستگاه‌های با حداقل و حداکثر جمعیت مسافری با هم، مشاهده شد که از نظر میزان غلظت ذرات معلق در اختلاف بودند. به عنوان نمونه ایستگاه‌های شهید بهشتی و باقرشهر با جمعیت مسافری جابه جاشده به ترتیب 57267 و 1820 نفر در روز در فصل پاییز دارای میانگین غلظت به ترتیب 75 و 29 میکروگرم بر مترمکعب بودند. ایستگاه‌های هفت تیر و خزانه با جمعیت جابه جاشده به ترتیب 56267 و 6979 نفر در روز دارای میانگین غلظت به ترتیب 89 و 24 میکروگرم بر مترمکعب بودند، ایستگاه‌های دروازه شمیران و ترمینال جنوب با جمعیت جابه جاشده به ترتیب 53120 و 11489 نفر در روز دارای میانگین غلظت به ترتیب 44 و 38 میکروگرم بر مترمکعب بودند.

غلظت $PM_{2.5}$ در زمان های صبح و عصر با تراکم بالای جمعیت مسافری بود (۱۲). با توجه به نتایج حاصله می توان نتیجه گرفت از دلایلی که در این مطالعه موجب شد که بین پارامتر جمعیت و انتشار غلظت ذرات معلق از نظر تحلیل آماری اختلافی معنی داری مشاهده نشود شاید انتخاب ایستگاههای با جمعیت مشابه و نزدیک به هم بوده که در این مورد نیاز به بررسی و مطالعات بیشتری می باشد. با توجه به اهمیت ذرات معلق بر روی سلامتی، میزان آنها در ایستگاههای مترو بایستی کاهش یابد و به منظور کاهش این دسته از آلاینده ها به کارگیری سیستم های هواساز مناسب و کارا، برنامه پایش زیست محیطی ایستگاهها و داخل کابین های قطار و تونل های مترو، پاکسازی مناسب و منظم کف و دیواره ایستگاهها و طراحی PSD (Platform Screen Doors) که در کاهش ورود آلاینده ها به فضای داخل ایستگاه و روی سکو نقش دارد پیشنهاد می گردد. در مورد کارایی سیستم PSD بر کاهش غلظت آلاینده در سیستم های زیرزمینی، مطالعه ای در سال ۲۰۱۲ توسط Querol و همکاران در سیستم مترو بارسلونا انجام گرفت و نتایج آنها نشان داد که میزان مواجهه غلظت ذرات معلق و همچنین ترکیبات شیمیایی آنها بر روی سکوی ایستگاههای زیرزمینی مترو که مجهز به سیستم PSD بودند در مقایسه با سکوی ایستگاهی که فاقد سیستم PSD بودند کمتر بود (۱۳).

نتیجه گیری نهایی

با بررسی ۲۴ ایستگاه روزمینی و زیرزمینی مترو تهران در دو فصل پاییز و زمستان مشاهده گردید که غلظت $PM_{2.5}$ در تمامی موارد از حد استاندارد EPA (۳۵ میکرو گرم بر متر مکعب) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۲۵ میکرو گرم بر متر مکعب) بالاتر بود. و غلظت $PM_{2.5}$ در مقایسه با فصل

همچنین برای فصل زمستان نیز به همین صورت بود، به طوریکه مشاهده شد ایستگاههای میدان آزادی و شوش با جمعیت مسافری جابه جاشده به ترتیب ۴۱۷۷۰ و ۱۰۵۹۱ نفر در روز دارای میانگین غلظت ۳۷ و ۲۱ میکرو گرم بر متر مکعب بودند، ایستگاههای شهر ری و توحید با جمعیت جابه جاشده به ترتیب ۴۰۹۸۲ و ۱۳۱۵۲ نفر در روز دارای میانگین غلظت ذرات به ترتیب ۳۰ و ۲۸ میکرو گرم بر متر مکعب بودند. در نتیجه اگرچه از نظر آماری اختلاف معنی داری بین دو پارامتر مشاهده نگردید، ولی نتایج نشان می دهد هرچه جمعیت جابه جاشده ایستگاهها نیز در روز بیشتر بوده میانگین غلظت ذرات معلق نیز در همان ایستگاهها نیز بیشتر بود و به نظر می رسد که نمی توان پارامتر جمعیت را بر انتشار ذرات معلق بی تأثیر در نظر گرفت و نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه می باشد. مطالعات گوناگونی در زمینه تأثیر تغییرات جمعیت بر انتشار غلظت ذرات معلق انجام گرفت، به عنوان نمونه در سال ۲۰۰۸ مطالعه ای توسط Cheng و همکاران در سیستم های حمل و نقل سریع تایوان انجام گرفت نتایج آنها مشابه نتایج این مطالعه بود و نشان داد که بین جمعیت و انتشار غلظت ذرات معلق اختلاف معنی داری دیده نشد (۷). در سال ۲۰۰۵ توسط You Sun Kim و همکاران در مترو سئول نشان دادند که بین جمعیت و انتشار غلظت ذرات اختلاف معنی داری به صورت معکوس وجود داشت به طوریکه نتایج آنها نشان داد که با افزایش جمعیت، به علت کاهش تردد و حرکت مسافریین میزان انتشار ذرات کاهش می یافت (۸). مطالعه Aarnio Päivi و همکاران در مترو هلسینکی نشان داد که بین جمعیت و انتشار غلظت ذرات اختلاف معنی دار وجود داشت (۹). Onat و همکاران در سال ۲۰۱۲ مطالعه ای با عنوان ارزیابی ذرات معلق ریز $PM_{2.5}$ در سیستم متروی استانبول انجام دادند، نتایج آنها نشان داد که در بین سه زمان نمونه برداری صبح، ظهر و عصر بیشترین

از شرکت بهره برداری مترو تهران و حومه جهت
در اختیار گذاردن دستگاه نمونه برداری تشکر و
قدردانی می گردد.

زمستان بیشتر و نسبت غلظت PM_{10} برابر فصل زمستان بود.
فصل پاییز تقریباً $1/5$ برابر فصل زمستان بود.

سپاسگزاری

References

1. Jafari MJ, Atabi F, Khorram M. Survey of environmental impacts exhaust ventilation system between northern half station line 1 Tehran metro. *J Environ Sci &tech* 2006; 4(8): 39-49(Persian.)
2. Kim KY, Kim YS, Roh YM, Lee CM, Kim CN. Spatial distribution of particulate matter (PM10 and PM2.5) in Seoul metropolitan subway stations. *J Hazard Materials* 2008; 154(1-3): 440-443.
3. Kermani M, Naddafi K, Shariat M, Mesbah AS. TSP and PM10 measurement description of air quality index (AQI) in the ambient air Shariati hospital district. *J SPHIPHR* 2004;2(1): 27-46 (Persian.)
4. Jung HJ, Kim B, Ryu J, Maskey S, Kim JC, Sohn J, et al. Source identification of particulate matter collected at underground subway stations in Seoul, Korea using quantitative single-particle analysis *Atmospheric Environment* 2010; 44(19): 2287-2293.
5. Nieuwenhuijsen MJ, Gomez- Perales JE, Colvile RN. Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinations and health effects in metro systems. *Atmospheric Environment* 2007; 41(37): 7995-8006.
6. Awad AH. Environmental study in subway metro stations in Cairo, Egypt. *J Occup Health* 2002;44(2): 112-118.
7. Cheng YH, Lin YL, Liu CC. Levels of PM10 and PM2.5 in Taipei Rapid Transit System. *Atmospheric Environment* 2008; 42(31): 7242-7249.
8. Kim YS, Roh YM, Lee CM, Park wm. Exposure level of particle matter materials and CO2 in subway carriage in Seoul. *J Atmospher Environ* 2005; 48: 512-518.
9. Aarnio P, Yli-Toumi T, Kousa A, Makela T, Hirsikko A, Hameri K, et al. The concentration and composition of and exposure to fine particles (PM2,5) in the Helsinki subway systems. *Atmospheric Environment* 2005; 39(28): 5059-5066.
10. Kam W, Cheung K, Daher N, Sioutas C. Particulate matter (PM) concentration in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles metro. *Atmospheric Environment* 2011; 45(8):1506-1516.
11. Sohn JR, Kim JC, Kim MY, Son YS, Sun WY. Particulate behavior in subway airspace. *Aisan J Atmos Environ* 2008; 2(1): 54-59.
12. Onat B, Stakeeva B. Assessment of fine particulate matters in the subway system of Istanbul. *Indoor Built Environ* 2012 Oct 18 . [Epub ahead of print]
13. Querol X, Moreno T, Karanasion A, Reche C, Alastuey A, Viana M et al. Variability of levels and composition of PM10 and PM2.5 in the Barcelona metro system. *Atmos Chem Phys* 2012 ; 12(11): 5055-5076.