علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره شش، شهریور ماه ۹۹

بررسی میزان غلظت ذرات معلق در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران و مقایسه آن با غلظت های محیطی

آمنه بلورچی[۱]

فریده عتابی[۲*]

far-atabi@jamejam.net

فرامرز معطر[۳]

مهدی علی احیایی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۰۵

چکیده

زمینه و هدف: خطوط مترو ۲۰ درصد از سهم کل جابجایی مسافر در شهر تهران را بر عهده دارند. ذرات معلق از مهمترین آلاینده های اصلی موجود درایستگاه های مترو هستند و افزایش غلظت آن‌ها منجر به پیامدهای بهداشتی متعددی برای مسافران و کارکنان مترو می‌گردد. مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در چهار ایستگاه زیرزمینی مترو (آزادی، انقلاب، توحید و ولی عصر) و مقایسه آن ها با غلطت این ذرات در هوای آزاد، انجام شد.

روش بررسی: اندازه گیری غلظت های فصلی ذرات معلق (فروردین ۱۳۹۵ الی فروردین ۱۳۹۶) به مدت یک هفته در ماه های میانی هر فصل، در ساعات ۸ صبح الی ۱۲ ظهر و در سه نقطه در داخل هر ایستگاه (ورودی، میانی و خروجی) و محیط خارج آن انجام شد. سپس نتـایج حاصـله بـا اسـتانداردهای مربوطه مقایسه گردید .

یافته ها: منابع اصلی ذرات معلق در ایستگاه های مترو ناشی از تردد مسافران، فعالیت پیستونی قطار، نظافت محیط داخل ایستگاه، عملیات تعمیر و نگهداری، ترمز، سایش چرخ و ریل و سیستم های تهویه ایستگاه بودند. نتایج اندازه گیری ها در این تحقیق نشان داد که میـانگین سالانه غلظـت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در چهار ایسـتگاه های متروی مذکور به ترتیب ۶۸ و ۴۷ میکروگـرم برمترمکعـب و در هوای آزاد اطراف این ایستگاه ها به ترتیب ۴۲ و ۲۹ میکروگرم بر مترمکعب بوده است.

بحث و نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد کـه در محیط داخل چهار ایستگاه زیرزمینی متروی مورد نظر، میزان میانگین سالانه غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب، ۱/۵ – ۱/۷ برابر مقدار غلظت آن ها در هوای آزاد بوده است.

واژه های کلیدی: ایستگاه زیرزمینی مترو، اندازه گیری میدانی، PM_{10}، $PM_{2.5}$، محیط آزاد، غلظت متوسط سالانه ذرات

۱- دکترای مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (مسوول مکاتبات).

۳- استاد گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- دانشیارگروه مهندسی مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.6, August, 2020

Investigation on the Concentration of Suspended Particulate Matters in Tehran Underground Subway Stations and Compare it with Ambient Concentrations

Ameneh Bolourchi[1]
Farideh Atabi*[2]
far-atabi@jamejam.net
Faramarz Moattar[3]
Mehdi Ali Ehyaei[4]

Accepted: 2018.04.25 Received:2017.08.03

Abstract

Background and Objectives: Metro lines are responsible for 20% of the total passenger traffic in Tehran. Particulate matter is one of the most important major pollutants in subway stations and increasing their concentration leads to numerous health consequences for passengers and subway employees. The aim of this study was to investigate the concentration of PM10 and PM2.5 in four underground metro stations (Azadi, Enghelab, Tohid and Vali Asr) and compare them with the concentration of these particles in the open air. **Research Method**: Seasonal sampling (April 2016 - April 2017) of particulate matters was conducted in the middle months of all four seasons for one week in the middle months of each season at peak traffic times from 8 am to 12 am, at three locations (entrance, middle, and exit in each station) and also at outside ambient of each station. The results were then compared with the relevant standards.

Results and Discussions: The main sources of suspended particulate matter in the underground subway stations were due to passenger traffic, train piston pressure, floor cleaning, maintenance operations, wheel-rail wear and braking and the performance of ventilation system in the subway station. The results of the monitoring measurements in this study showed that the annual average concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the four underground subway stations were 68 $\mu g/m^3$ and 47 $\mu g/m^3$ and in the outdoor ambient around these stations were 42 and 29 $\mu g/m^3$, respectively.

Conclusions: The results of this study showed that in the four underground subway stations, the annual average concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were 1.5 - 1.7 times higher than those in the outdoor ambient, respectively.

Keywords: Underground Subway Station, Field Measurement, PM_{10}, $PM_{2.5}$, Outdoor Ambient, PM Annual Average Concentrations

1 Ph.D., Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Associate Prof., Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran *(Corresponding Author)
3- Prof., Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4- Associate Prof., Department of Mechanical Engineering, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis New City, Iran

مقدمه

امروزه با گسترش بیش از حد شـهرها و در نتیجـه افـزایش ترافیـک ناشـی از آن، مـردم بـه استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی تشویق و ترغیب شدند. نتایج مطالعه انجام شده توسط عباس پور و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که در میان وسایل نقلیه، مترو به عنوان یکی از پاک ترین و مناسب ترین سیستم های حمل و نقل عمومی در شهرهای بزرگ شناخته شده است، زیرا از حجم بالای ترافیک شهرها می کاهد، سالیانه میلیون ها مسافر را جابجا می کند، سازگاری خوبی با محیط زیست دارد و موجب کاهش تقاضای انرژی می شود (۱). در شهر تهران روزانه تعداد قابل توجهی از افراد از سیستم حمل و نقل مترو استفاده می کنند و مسافران مدت زمـان نسبتا قابـل تـوجهی را در ایسـتگاه های مترو می گذرانند، در نتیجه ممکن است با آلاینـده هـای بسیاری از جمله ذرات معلـق در تمـاس باشند. مواجهه با این نوع آلاینده ها می تواند منجر به ایجاد مخاطرات بهداشتی برای مسـافرین و کارکنان مترو شود (۲). غلظت ذرات در محیط ایستگاه های مترو نه تنها تحت تاثیر نفوذ ذرات از فضای باز می باشد، بلکه غلظت این ذرات تا حد زیادی تحت تاثیر منابع داخلی در ایستگاه است. در صـورت عـدم مـدیریت صحیح ممکن است غلظت ذرات معلق در این محیط ها افزایش یافته و به حد خطرناک برسد (۳). عفونـت هـای بخش فوقانی دستگاه تنفس، اختلالات قلبی، تنگی نفس، برونشیت، التهاب ریوی و ... از جمله بیماری هایی هستند که در نتیجـه تماس با ذرات معلق بروز می کند (۴). بر اساس بررسی های انجام شده توسط سازمان جهانی بهداشت مشـخص گردیـد کـه بـه ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم غلظت ذرات معلق، میزان مرگ و میرناشی از آن ها به میزان ۱ الی۳ درصد افزایش مـی یابـد. پارک و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب ذرات ریز آلوده در هوا، در حدود ۴ ٪، ۶ ٪ و ۸٪ به ترتیب ریسک ابتلا به حملات قلبی ، سرطان ریه و مرگ و میر را افزایش می دهد. از طرفی میانگین غلظت تماس با ذرات معلق برای افرادی که با سیستم مترو رفت وآمد می کنند در مقایسه با رانندگان تاکسی و افرادی که با سایر وسایل تردد می کنند ۸-۱۲ برابر بیش تر است (۵). تا به حال مطالعات زیادی در زمینـه کیفیت هوا در محیط های بسته در کشورهای مختلف انجام گرفته است. همچنین مطالعاتی در رابطه با ایستگاه های مترو با غلظت بالای ذرات معلق انجام شده است. کارلسون و همکاران (۲۰۰۵) مطالعه ای را در زمینه کیفیت هوای ایستگاه های مترو انجام دادند. آن ها به این نتیجه رسیدند که هوای ایستگاه های مترو، حدودا هشت برابر آلوده تر از هوای محیط آزاد هستند و همچنین نشان دادند که هر نفر روزانه، ۳۰ دقیقه سفر با مترو و ۹ دقیقه انتظار سکوی ایستگاه ها را تجربه نموده و این امر میزان مواجهه افراد با ذرات معلق را در مقایسه با حضور روزانه در ترافیک شهری را ۳ درصد افزایش می دهد (6) . آدامز و همکاران (۲۰۰۱)، سطح مواجهه با $PM_{2.5}$ را در ایستگاه های مترو ۳-۱۰ برابر بیشتر از حالت های حمل و نقل جاده ای در لندن اعلام کردند (۷). جانسون و همکاران (۲۰۰۳) به نتایج مشابهی دست یافتند. در آن تحقیق میزان متوسط سطح مواجهه افراد با PM_{10} و $PM_{2.5}$ در یک ایستگاه زیرزمینی مترو به ترتیب ۵ و ۱۰ برابر بیش تر از مقداری بود که در شلوغ ترین خیابان های مرکزی استکهلم اتفاق می افتاد (۸). اندازه گیری های انجام شده توسط ریپانچی و همکاران (۲۰۰۶) حاکی از آن بود که سطح متوسط غلظت PM_{10} در سکوی ایستگاه ها و در تونل زیر زمینی شهر رم ۳/۵ برابر مقدار آن در سطح زمین است (۹). آرینو و همکاران (۲۰۰۵) نیز متوسط روزانه غلظت $PM_{2.5}$ را در ایستگاه های متروهای زیر زمینی شهر هلسینکی ۵-۶ برابر بیش تر از مقدار آن در هوای محیط آزاد اعلام نمودند (۱۰).

سلما و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه ای غلظت ذرات معلق و ترکیبات شیمیایی آن ها را در سیستم متروی تایپه نشان دادند که میانگین غلظت کل ذرات معلق در ایستگاه های مترو ۲/۳ برابر بیش تر از مقادیر آن در هوای آزاد بود (۱۱). همچنین مطالعه دیگری توسط چانگ و همکاران (۲۰۱۰) با عنوان تعیین میزان غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در سیستم متروی تایپه انجام شده است. در این مطالعه میانگین غلظت ذرات معلق در داخل ایستگاه های مترو در مقایسه با هوای محیط آزاد بیش تر و نسبت

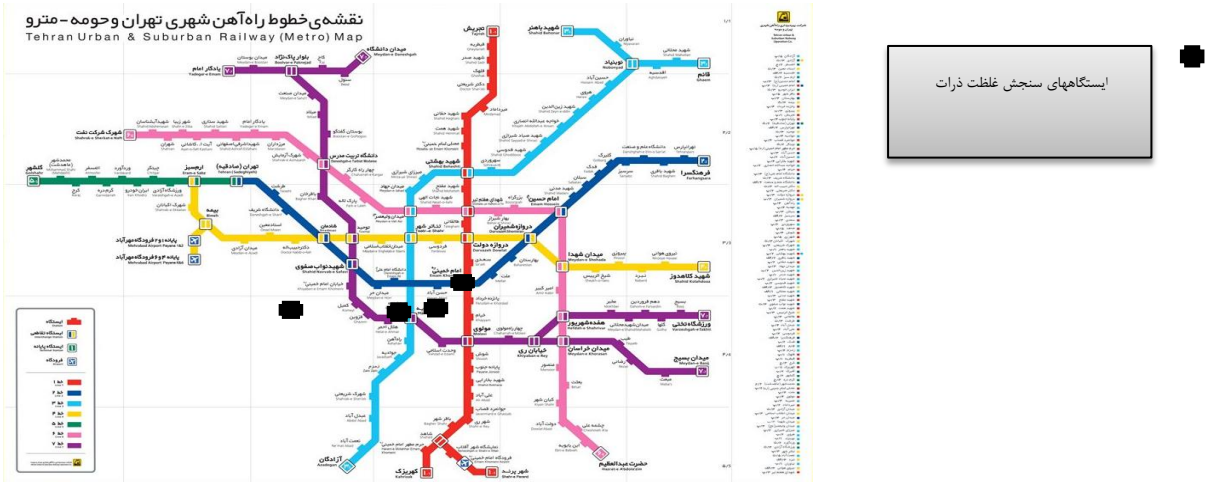
غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در محیط داخل ایستگاه در مقایسه با هوای محیط آزاد به ترتیب ۰/۶۵ – ۱/۵۳ و ۰/۸۹-۱/۷۵ برابر بود (۱۲). کیم و همکاران (۲۰۰۸) نحوه توزیع مکانی ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ در متروی سئول نشان دادند که غلظت ذرات معلق بر روی سکوهای ایستگاه زیرزمینی بیش تر از مقادیر آن در هوای آزاد بود. آن ها اختلاف میزان غلظت ذرات معلق را در سیستم های مترو به دلیل شرایط مختلف نظارت از جمله زمان اندازه گیری، مکان، فصل، تجهیزات و شرایط آب و هوایی می دانستند (۱۳). کام و همکاران (۲۰۱۰) مطالعه ای را در مورد متروی لوس آنجلس انجام دادند. در آن مطالعه میزان غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های زیرزمینی دو برابر مقدار آن در هوای محیط آزاد بود (۱۴). بائو و همکاران (۲۰۱۴) به طور متوسط مقدار غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ (۴۵۷ و ۳۵۲ میکروگرم بر مترمکعب) را در ایستگاه های مترو شانگ های حدود ۲ برابر بیش تر از مقدار اندازه گیری شده در محیط آزاد تخمین زده اند (۱۵).

در این مطالعات روش های نمونه برداری، تجزیه و تحلیل داده ها، مدت زمان اندازه گیری و نوع محیط مورد مطالعه متفاوت بودند. وانگ و گائو (۲۰۱۱) در مطالعه خود نشان دادند که غلظت ذرات درایستگاه های مترو به عوامل متعددی مانند، طول ایستگاه ها وتونل ها، سن قطارها، جنس چرخ و ریل، مکانیزم های ترمز، سرعت و بار قطار، جمعیت مسافران، نوع سیستم تهویه و هواکش ها، فشار هوا، موقعیت قرار گیری ایستگاه ها، کارایی فیلترها، نظارت و بازبینی دوره ای و نظافت، بستگی دارد (۱۶). شهر تهران دارای ۸ میلیون نفر جمعیت است و روزانه حدود ۴ میلیون نفر جمعیت شناورجهت کار و آموزش از حومه شهر به این تعداد افزوده می شود. تا پایان مرداد ماه سال ۱۳۹۵ متروی شهر تهران با چهار خط درون شهری و یک خط برون شهری در حال سرویس دهی به مسافران بود، ولی تا پایان سال ۱۳۹۶ خطوط ۶ و ۷ نیز به بهره برداری خواهند رسید. سیستم متروی تهران بخش عظیمی از بار ترافیکی شهر را کاهش داده و روزانه ۱/۲۵ میلیون مسافر را جابجا می کند. امروزه حدود ۲۰٪ از حمل و نقل عمومی شهری (طی نمودن مسافت حدود ۱۰/۲ کیلومتر در مدت زمان ۳۵ دقیقه) را به خود اختصاص داده است. طول کل سیستم متروی زیرزمینی شهر تهران ۱۰۲/۶ کیلومتر و شامل ۱۴۰ ایستگاه است. قطارها در طول روزهای هفته، از ۵ صبح الی ۱۲ شب با یک فرکانس ۷-۱۵ دقیقه ای، فعالیت دارند. سکوی ایستگاه ها دارای یک سیستم تهویه خاص هستند که هوای محیط بیرون را وارد سیستم تهویه جانبی نموده و هوای پاک را از طریق یک کانال عمودی به محیط سکو تزریق می کند. علاوه بر این، سیستم تهویه در تونل ها متشکل از کانال های عمودی است که هوای آزاد را به داخل تونل منتقل می کنند . اگر چه سیستم ترمزها از نوع الکتریکی هستند، لیکن هنگام عبور قطار از سکوی خطوط، هنگام کاهش سرعت تا توقف کامل در ایستگاه ها از ترمز پنیوماتیکی استفاده می شود (۱۷). هدف از انجام این مطالعه بررسی میزان غلظت های PM_{10} و $PM_{2.5}$ در چهار ایستگاه زیرزمینی مترو (آزادی، انقلاب، توحید و ولی عصر) در شهر تهران و مقایسه با مقادیر غلظت این ذرات در محیط آزاد می باشد.

روش بررسی

در این مطالعه غلظت های فصلی PM_{10} و $PM_{2.5}$ از فروردین ۱۳۹۵ تا فروردین ۱۳۹۶ در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران و فضای خارج ایستگاه در سطح خیابان اندازه گیری و بررسی شد. برای این منظور چهار ایستگاه سیستم متروی تهران به نام‌های ولی عصر (VA)، انقلاب (EN)، توحید (TO) و آزادی (AZ) جهت انجام نمونه برداری ذرات معلق انتخاب شدند. معیار انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس نوع سیستم تهویه آن ها، جمعیت مسافران، عمق سکو از سطح خیابان و موقعیت خیابان‌های پر ترافیک در اطراف ایستگاه ها بوده است. اندازه گیری در کلیه روزهای هفته، یک ماه در هر فصل از فروردین ۱۳۹۵ تا فروردین ۱۳۹۶ به مدت ۴ ساعت در روز (۸ صبح – ۱۲ ظهر) هر بار به مدت ۱۵ دقیقه، در سه نقطه مختلف (ورودی، میانی و خروجی) از سکوی هر یک از چهار ایستگاه زیر زمینی مورد نظر انجام شد. جهت مقایسه کیفیت هوا در محیط داخل ایستگاه های مترو با هوای سطح خیابان، غلظت $PM_{2.5}$ درمحیط خارج ایستگاه و در فاصله ۱/۵ متری از سطح زمین،

نزدیک به ایستگاه اتوبوس یا تاکسی اندازه گیری شد. جهت انجام آزمایش ذرات معلق از دستگاه DustTrak مدل ۸۲۵۰ با ظرفیت ۱/۷ لیتر بر دقیقه شامل دو نوع نازل به اندازه های ۲/۵ و ۱۰ میکرون، ساخت کشور آمریکا، استفاده شد. این دستگاه به روش Laser Scattering جهت شمارش مستقیم ذرات عمل کرده و غلظت ذرات محیطی $PM_{2.5}$ ، PM_{10} را اندازه گیری می کند . دستگاه دارای کالیبراتور بود و در مدت زمان کم تر از ۲ دقیقه کالیبره می شد. فلومتر جهت تنظیم فلوی ورودی به دستگاه و حافظه آن جهت ثبت ۳۳۰۰۰ دیتا بود .اندازه گیری درارتفاع حدود ۱/۵ - ۲ متری از سطح زمین ، در ناحیه تنفسی افراد انجام شد. در این مطالعه تأثیر پارامترهایی مانند تغییرات فصلی، تغییرات براساس زمان های مختلف نمونه برداری، تعداد جمعیت مسافران و نوع سیستم تهویه بر میزان غلظت ذرات معلق مورد بررسی قرارگرفت. تحلیل آماری پارامترهای موثر بر میزان انتشار ذرات معلق در ایستگاه های زیرزمینی مترو با استفاده از آمار توصیفی،آزمون تی یک نمونه ای و رگرسیون لجلستیک (تعمیم یافته) انجام شد. آزمایش ضریب همبستگی گشتاوری (پیرسون) به منظور تعیین ارتباط میان میزان غلظت ذرات در داخل ایستگاه مترو و غلظت آن ها در محیط خارج ایستگاه مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۱) خطوط سیستم متروی شهر تهران و موقعیت چهار ایستگاه زیرزمینی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه خط های ۱ الی ۷ سیستم متروی شهر تهران و موقعیت ایستگاه های مورد نظر جهت سنجش غلظت ذرات (۱۷)

Figure 1 - Map of lines 1 to 7 of Tehran subway system and the location of the desired stations to measure the concentration of particles (17)

یافته ها

نتایج حاصل از اندازه گیری های انجام شده در ایستگاه‌های ولی عصر (VA)، انقلاب (عج) (EN)، توحید (TO) و آزادی (AZ) طی فصول مختلف در جدول (۱) ارایه شده است. همان گونه که در جدول (۱) ملاحظه می گردد، میانگین فصلی غلظت های $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های ولی عصر(VA)، انقلاب (عج) (EN)، توحید (TO) و آزادی (AZ) طی فصول مختلف به ترتیب ۶۸، ۷۶، ۶۹ و ۶۲ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. غلظت $PM_{2.5}$ در تمامی ایستگاه ها بالاتر از مقادیر استاندارد تعریف شده ذرات در محیط داخل (۲۵ $\mu g/m^3$) بوده است و هم چنین میانگین فصلی غلظت های PM_{10} در ایستگاه‌های ولی عصر، انقلاب (عج) ، توحید و آزادی به ترتیب ۷۳، ۸۹، ۷۷ و ۶۷ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. به عبارت دیگر در ایستگاه‌های مورد پایش میانگین غلظت ذرات معلق PM_{10} نیز در کلیه ایستگاه ها بالاتر از حد استاندارد ذرات در محیط داخل (۵۰ $\mu g/m^3$) بوده است. در جدول (۱) میانگین فصلی غلظت ذرات معلق در هوای محیط خارج از ایستگاه ها نیز ارایه گردیده است. همان گونه که

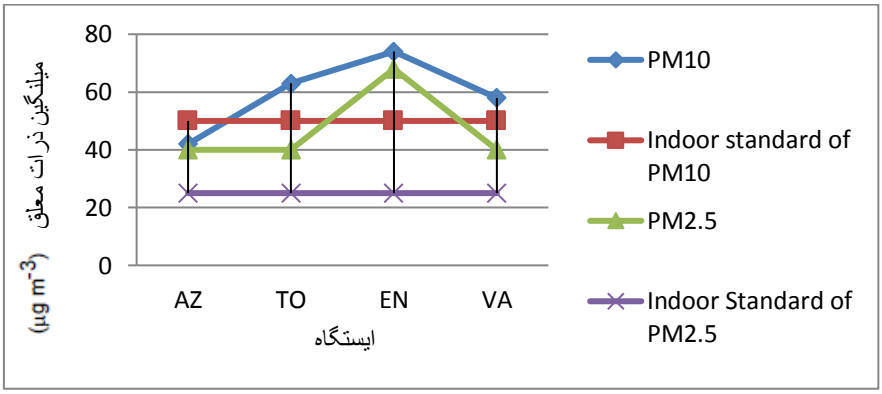
ملاحظه می گردد، کیفیت هوای ایستگاه های زیرزمینی مترو در مقایسه با هوای سطح شهر تهران نامطلوب تر بوده، به طوری که نسبت غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ موجود در محیط این ایستگاه های مترو در مقایسه با هوای فضای آزاد سطح شهر به ترتیب حدود ۱/۵ – ۱/۷ برابر بیش تر بوده است. در سطح خیابان با توجه به فضای باز و تهویه و جابه‌جایی طبیعی هوا به واسطه جریان باد، امکان پراکندگی و تمرکز ذرات کم تر بوده ولیکن در ایستگاه‌های زیرزمینی مترو به دلایل متعددی از جمله پایین بودن از سطح زمین، جابه‌جایی هوا به طریق مصنوعی و با استفاده از هواساز و نامناسب بودن عملکرد آن‌ها به مراتب بیش تر بوده است. در ضمن نتایج حاصله نشان داد که میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ابتدای سکو و خروجی ایستگاه به مراتب بیش تر از سایر نقاط اندازه گیری می‌باشد. ورود قطار با سرعت زیاد به داخل ایستگاه و ایجاد حالت دمش، قرار گرفتن خروجی ایستگاه‌ها در مجاورت خیابان‌های شلوغ و پر ترافیک، عدم پاکسازی مناسب کف و دیواره ایستگاه و ورود و خروج مسافرین به ایستگاه از عوامل موثر در بالا بردن غلظت ذرات معلق در این دو نقطه نمونه برداری بوده است. علاوه بر این، میزان غلظت ذرات معلق در ایستگاه های زیرزمینی مترو بطور قابل توجهی تحت تاثیرغلظت ذرات معلقی است که از طریق سیستم های تهویه، تونل ایستگاه پله برقی و راهروها وارد ایستگاه مترو می شوند. با بررسی های انجام شده مشخص گردید که منابع تولید ذرات معلق در ایستگاه های متروی زیرزمینی شهر تهران شامل مواردی هم چون تماس چرخ و ریل ، ترمز قطار، انتقال ذرات از سطح خیابان، ورود و خروج مسافران، عبور قطارها روی ریل ها، اثر فشار پیستونی قطار، نظافت ایستگاه ها و سیستم تهویه بودند.

جدول ۱- مقادیر میانگین فصلی غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در نقاط مختلف اندازه گیری در ایستگاه‌های سنجش و محیط آزاد (فروردین ۱۳۹۵ تا فروردین ۱۳۹۶)

Table 1- Seasonal averages of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations at different sampling points (in underground subway stations and outdoor ambient) (April 2016 – April 2017)

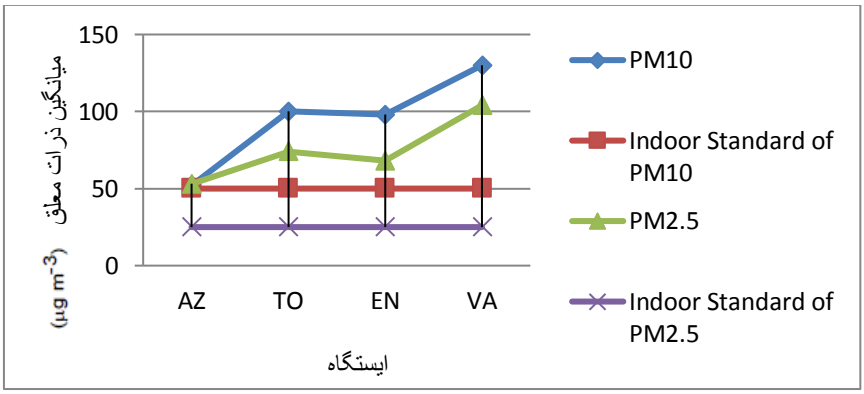
فصل	نام ایستگاه	جمعیت (نفر)	محیط خارج ایستگاه		محیط داخل ایستگاه					
			$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)			PM_{10} ($\mu g/m^3$)		
					ابتدای سکو	میان سکو	انتهای سکو	ابتدای سکو	میان سکو	انتهای سکو
تابستان	(VA)	۱۶۳۰۲	۴۵	۳۷	۷۱	۳۶	۶۲	۵۹	۳۷	۴۶
	(EN)	۲۴۱۸۷	۴۸	۴۶	۶۸	۷۰	۷۸	۷۲	۶۶	۷۴
	(AZ)	۳۸۱۲۹	۲۶	۲۷	۴۰	۳۱	۴۲	۴۲	۲۹	۴۲
	(TO)	۱۴۱۵۲	۴۳	۴۰	۵۹	۴۰	۶۹	۶۳	۴۲	۵۵
پاییز	(VA)	۱۶۷۱۸	۶۵	۸۱	۱۰۱	۱۰۰	۱۰۴	۱۳۰	۱۰۴	۷۷
	(EN)	۲۶۹۴۵	۴۲	۶۱	۶۸	۵۸	۴۲	۹۸	۷۰	۷۴
	(AZ)	۴۱۷۷۰	۳۳	۳۲	۴۸	۳۷	۵۳	۵۲	۴۱	۵۰
	(TO)	۱۵۴۸۳	۴۶	۶۲	۷۲	۶۷	۷۴	۱۰۰	۷۴	۶۷
زمستان	(VA)	۱۶۹۵۰	۴۷	۵۳	۷۵	۴۶	۷۱	۸۴	۷۱	۷۸
	(EN)	۲۷۶۴۵	۹۱	۱۰۳	۱۴۵	۹۲	۱۴۶	۱۶۵	۹۴	۱۵۳
	(AZ)	۴۲۶۳۰	۷۱	۷۲	۱۰۰	۹۷	۱۱۳	۱۱۵	۷۲	۱۰۳
	(TO)	۱۶۲۷۸	۷۱	۹۷	۱۰۶	۸۵	۱۱۴	۱۵۴	۸۵	۱۰۶
بهار	(VA)	۱۶۷۱۸	۴۴	۵۲	۷۱	۳۹	۴۶	۸۴	۵۰	۵۴
	(EN)	۲۶۹۴۵	۳۴	۵۸	۵۴	۴۵	۴۶	۹۲	۴۵	۶۰
	(AZ)	۳۸۱۲۹	۷۲	۹۰	۱۱۵	۴۵	۵۰	۱۴۴	۴۲	۷۲
	(TO)	۱۵۴۸۳	۳۵	۵۳	۵۵	۳۷	۴۰	۸۵	۴۰	۵۴

شکل (۲) میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} را در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران برای فصل تابستان ۱۳۹۵ نشان می دهد. مطابق این شکل در فصل تابستان میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های مترو مذکور به ترتیب، ۴۰-۶۸ و ۴۲-۷۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. همانگونه که ملاحظه می گردد، میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل تابستان در کلیه ایستگاه ها از مقدار استاندارد EPA بالاتر بوده است. لیکن میزان میانگین غلظت PM_{10} در برخی از ایستگاه ها از مقدار استاندارد بالاتر و در بعضی دیگر از این میزان کم تر بوده است. همچنین میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه انقلاب ۶۸ و ۴۲ میکروگرم بر مترمکعب بوده و بیشترین فاصله را با مقدار استاندارد دارند. شکل (۳) میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} را در ایستگاه های متروی شهر تهران در فصل پاییز ۱۳۹۵ نشان می دهد. در این فصل میانگین میزان غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های مترو به ترتیب، ۵۳-۱۰۴ و ۵۲-۱۳۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. در این شکل، میزان غلظت $PM_{2.5}$ $PM_{2.}$ و PM_{10} در فصل پاییز در کلیه ایستگاه ها از حد استاندارد EPA بالاتر بوده است. میزان غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه ولیعصر با میانگین غلظت ۱۰۴ و ۱۳۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده و بیش ترین فاصله را با حد استاندارد محیط های داخلی دارند.



شکل ۲- میانگین غلظت های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران در فصل تابستان ۱۳۹۵

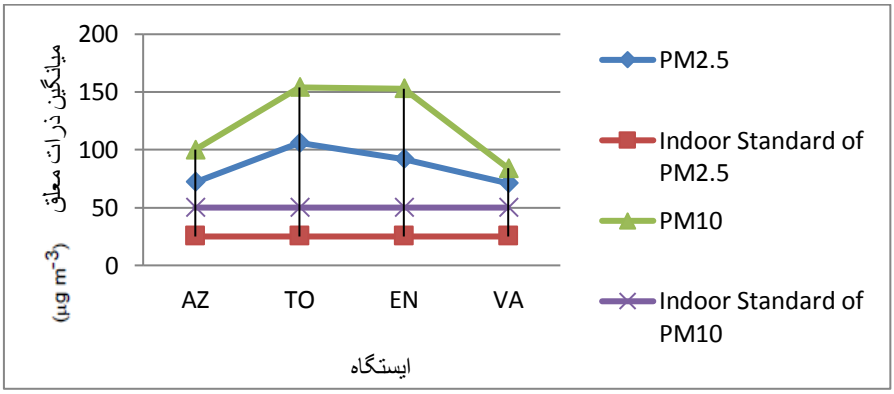
Figure 2- Average concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Tehran underground subway stations in summer 2016



شکل ۳- میزان میانگین غلظت های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران در فصل پاییز ۱۳۹۵

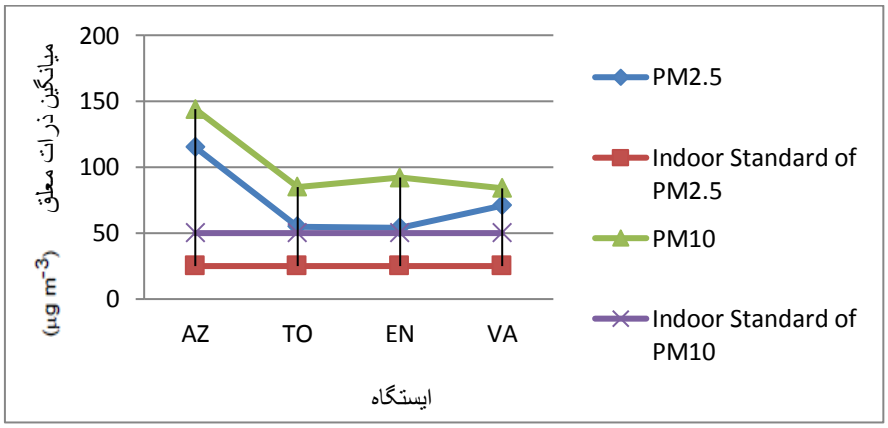
Figure 3- Average concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Tehran underground subway stations in autumn 2016

شکل (۴) میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} را در چهار ایستگاه متروی مورد نظر در شهر تهران برای فصل زمستان ۱۳۹۵ نشان می دهد. در این فصل میزان متوسط غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های زیرزمینی مترو به ترتیب، ۱۰۶-۷۱ و ۸۴-۱۵۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. مطابق این شکل، میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در فصل زمستان در کلیه ایستگاه ها از مقادیر استاندارد EPA بالاتر بوده است. همچنین میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه توحید به ترتیب ۱۰۴ و ۱۵۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده و بیش ترین فاصله را با حد استاندارد دارند. شکل (۵) میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} را درچهار ایستگاه زیرزمینی متروی شهر تهران در فصل بهار ۱۳۹۵ نشان می دهد. در این فصل میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در این ایستگاه ها مترو به ترتیب، ۵۴-۱۱۵ و ۸۴-۱۴۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. در این شکل، میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در فصل بهار در کلیه ایستگاه ها از حد استاندارد EPA بالاتر بوده است. میزان میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه آزادی به ترتیب غلظت ۱۱۵ و ۱۴۴ میکروگرم بر مترمکعب بوده و بیش ترین فاصله را با مقادیر استاندارد محیطهای داخلی دارند. مطالعات گوناگونی در زمینه تأثیر تغییرات فصل بر انتشار غلظت ذرات معلق در ایستگاه های مترو صورت گرفته است.



شکل ۴- میانگین غلظت های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران در فصل زمستان ۱۳۹۵

Figure 4- Average concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Tehran underground subway stations in winter 2016



شکل ۵- میانگین غلظت های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران در فصل بهار ۱۳۹۵

Figure 5- Average concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Tehran underground subway stations in spring 2016

نتیجه گیری

در این مطالعه غلظت های فصلی PM_{10} و $PM_{2.5}$ از فروردین ۱۳۹۵ تا فروردین ۱۳۹۶ در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران و فضای خارج ایستگاه در سطح خیابان اندازه گیری و بررسی شد. برای این منظور چهار ایستگاه سیستم متروی تهران به نام‌های ولی عصر (VA)، انقلاب (عج) (EN)، توحید (TO) و آزادی (AZ) جهت انجام نمونه برداری ذرات معلق انتخاب شدند. نمونه برداری در کلیه روزهای هفته، یک ماه در هر فصل در فاصله یکسال به مدت ۴ ساعت در روز (۸ صبح – ۱۲ ظهر)، در سه نقطه مختلف (ورودی، میانی و خروجی) از سکوی هر یک از چهار ایستگاه مورد نظر انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاه‌های ولی عصر، انقلاب (عج)، توحید و آزادی طی فصول مختلف به ترتیب ۶۸، ۷۶، ۶۹ و ۶۲ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. غلظت $PM_{2.5}$ در تمامی ایستگاه ها بالاتر از حد استاندارد برای محیط داخل ($۲۵\ \mu g/m^3$) بوده است. میانگین غلظت PM_{10} در ایستگاه‌های مذکور، به ترتیب ۷۳، ۸۹، ۷۷ و ۶۷ میکروگرم بر متر مکعب بود. به عبارت دیگر میانگین غلظت ذرات معلق PM_{10} در کلیه ایستگاه های مورد پایش، بالاتر از حد استاندارد محیط داخل ($۵۰\ \mu g/m^3$) بوده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که میانگین غلظت ذرات در قسمت ابتدای سکو و خروجی ایستگاه به مراتب بالاتر از مقادیر ان در نقاط میانی سکوی ایستگاه ها بوده است. همچنین اگرچه میانگین غلظت ذرات در ایستگاه‌های زیرزمینی مترو در مقایسه با هوای بیرون بیش تر بود، لیکن میانگین غلظت ذرات درهوای آزاد پایین تر از حد استاندارد محیطی بوده است. مقدار متوسط غلظت ذرات معلق در ایستگاه های زیرزمینی مترو حدود ۱/۵ – ۱/۷ برابر مقدار آن در محیط بیرون بود. نتایج نشان می دهد که ایستگاه های متروی زیر زمینی شهر تهران شدیدا آلوده به ذرات ریز است. بسیاری از ذرات موجود در ایستگاه های زیرزمینی مترو توسط سیستم های تهویه که در سطح خیابان نصب شده اند از طریق اگزوز وسایل نقلیه موتوری، به داخل سکوی ایستگاه های زیرزمینی نفوذ کرده و موجب افزایش غلظت ذرات معلق ریز در ایستگاه های مترو می شوند. در محیط آزاد بدلیل امکان تهویه و جا به جایی هوا به صورت طبیعی و به واسطه سرعت جریان باد امکان پراکندگی ذرات بیش تر و در نتیجه غلظت آن ها کم تر می باشد، لیکن در ایستگاه های زیرزمینی به دلایل متعددی از جمله پایین بودن از سطح زمین، جابه جایی هوا به طریق مصنوعی و با استفاده از هواسازها و نامناسب بودن عملکرد آن ها، غلظت ذرات به مراتب بیش تر بود. همچنین مشخص شد مهم ترین دلایل بالا بودن غلظت ذرات در فصل پاییز و زمستان، بالا بودن بار ترافیکی در سطح خیابان ها، تراکم جمعیت مسافران در ایستگاه ها وشرایط پایداری اتمسفری هوا در محیط خارج می باشند. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد سیستم هواساز در ایستگاه های زیرزمینی متروی شهر تهران جهت کاهش غلظت ذرات معلق مطلوب نبوده و عمدتا تنها در تنظیم شرایط دمایی و رطوبتی محیط ایستگاه ایفای نقش می نمودند. درجدول (۲) میزان غلظت ذرات معلق در سیستم های مترو در شهرهای مختلف جهان از جمله تایپه، برلین، لس آنجلس، بوستون، پراگ، رم، سیدنی، بوداپست، سئول و هلسینکی را با نتایج مطالعه حاضر مقایسه شده است. دلیل تفاوت در میزان غلظت ذرات معلق در سیستم های مترو می تواند به دلیل سایش چرخ و ریل یا انحنای خطوط، و یا تفاوت در سیستم های ترمز باشد. همچنین سیستم های تهویه متروهای قدیمی، نسبت به سیستم های جدید در حذف مقدار بالای ذرات معلق ضعیف تر عمل می کنند (۱۸). متوسط میزان PM_{10} در این ایستگاه ها حدود $۲۴\text{-}۴۰۷\ \mu g/m^3$ (از کم به زیاد) بوده است. با مقایسه این مقادیر می توان نتیجه گرفت که ایستگاه های مورد مطالعه متروی در شهر تهران از نظرمیزان غلظت PM_{10} در مقایسه با ایستگاه های متروی شهرهای تایپه و لس آنجلس آلوده تر بوده ولی در مقایسه با سایر کشورها از وضعیت مطلوب تری برخوردار است. همچنین متوسط میزان غلظت $PM_{2.5}$ روی سکوی ایستگاه های مورد نظر در محدوده $۳۶\text{-}۲۲۸\ \mu g/m^3$ بوده است. مقایسه این مقادیر نشان می دهد که ایستگاه های مورد مطالعه

متروی تهران از نظرمیزان غلظت $PM_{2.5}$ در مقایسه با متروی هنگ کنگ، نیویورک و سیدنی آلوده تر بوده ولی در مقایسه با سایر کشورها وضعیت مطلوب تری دارد.

جدول ۲- مقایسه میزان غلظت PM در سیستم های مترو در شهرهای مختلف با نتایج مطالعه حاضر

Table 2- Comparison of PM concentrations in subway systems in various cities with the results of the present study

City	Mean PM concentration ($\mu g/m^3$)	Reference
PM_{10}		
Budapest	**180**	**Salma et al. (2007)**
Prague	**103**	**Branis (2006)**
Rome	**407**	**Ripanucci et al. (2006)**
Seoul	**359**	**Kim et al. (2008)**
Seoul	**129**	**Park and Ha (2008)**
Taipei	**51**	**Tsai et al. (2008)**
Los Angeles	**24**	**Kamet al. (2011)**
Tehran	**68**	**Present Study**
$PM_{2.5}$		
Hong Kong	**37**	**Li et al. (2006)**
Boston	**65**	**Levy et al. (2002)**
New York	**44**	**Wang and Gao (2011)**
Seoul	**129**	**Kim et al. (2008)**
Los Angeles	**62**	**Kamet al. (2011)**
London	**228**	**Adams et al. (2001)**
London	**170**	**Seaton et al. (2005)**
Seoul	**105**	**Park and Ha (2008)**
Sydney	**36**	**Knibbs and de Dear (2010)**
Taipei	**100**	**Tsai et al. (2008)**
Tehran	**47**	**Present Study**

با توجه به این که طراحی سیستم های تهویه مترو به گونه ای است که هوای مورد نیاز آن از محیط بیرون تأمین می شود، لذا عدم نصب فیلتر جمع کننده ذرات و یا در صورت نصب، عدم کارایی مناسب فیلترهای نصب شده بر روی فن های مکش کننده هوا از بیرون، باعث ورود ذرات معلق به داخل ایستگاه می شود. از جمله اقدامات موثر به منظور کاهش غلظت ذرات معلق در هوای ورودی به داخل هواساز استفاده از فیلترهای مناسب، بهبود سیستم های تهویه و هواکش های موجود در ایستگاه، بررسی نظام پایش زیست محیطی در ایستگاه ها، تونل ها و کابین های مترو، پاک سازی و شست و شوی مناسب و منظم کف و دیواره ایستگاه ها و تونل ها، طرح ریزی برنامه پایش دوره ای از سیستم های تهویه و فیلترهای هواساز توسط مسوولین مترو و به خصوص طراحی و به کارگیری سیستم های جداکننده سکو در ایستگاه های مترو به منظور کاهش غلظت آلاینده ها و ممانعت از ورود آلاینده ه های داخل تونلی به سکوی ایستگاه، اشاره نمود.

منابع

1. Abbaspour, M., Jafari, M. J., Mansouri, N., Moattar, F., Nouri, N., Allahyari, M., 2008. Thermal comfort evaluation in Tehran metro using Relative

Warmth Index. Atmos Int. J. Environ. Sci. Tech, Vol 5 (3), pp. 297-304. (Persian)

2. Cheng, Y.H and Yan, J.W., 2011. Comparisons of particulate matter, CO, and CO_2 levels in underground and ground level stations in the Taipei mass rapid transit system. Atmospheric Environment, Vol 45, pp. 4882-4891.
3. Fenger S., 1999. Urban air quality. Atmospheric Environment, Vol 33, pp. 4877-4900.
4. Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., 2011. Compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol 43(8), pp. 1575-1581.
5. Park, D.U. and Ha, K.C., 2008. Characteristics of PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO_2 and CO monitored in interiors and platforms of subway train in Seoul, Korea. Environ. Int, Vol 34, pp. 629-634.
6. Karlsson, H.L., Nilsson, L., Mo¨ller, L., 2005. Subway particles are more genotoxic than street particles and induce oxidative stress in cultured human lung cells. Chemical Research in Toxicology, Vol 18, pp. 19–23.
7. Adams H., M. Nieuwenhuijsen, R. Colvile, M. McMullen, P. Khandelwal., 2001. “Fine particle ($PM_{2.5}$) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. The Science of the Total Environment, Vol 279, pp. 29-44.
8. Johansson C., P.A. Johansson., 2003. Particulate matter in the underground of Stockholm. Atmospheric Environment, Vol 37, pp. 3-9.
9. Ripanucci G., M. Grana, L. Vicentini, A. Magrini, A. Bergamaschi., 2006. Dust in the underground railway tunnels of an Italian town. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Vol 3, pp.16-25.
10. Aarnio, P., Yli-Tuomi, T., Kousa, A., Mäkelä, T., Hirsikko, A., Hämeri, K., Päisänen, M., Hillamo, R., Koskentalo, T. and Jantunen. M., 2005. The concentrations and composition of and exposure to fine particles ($PM_{2.5}$) in the Helsinki subway system. Atmospheric Environment, Vol 39, pp. 5059-5066.
11. Salma, I., Pósfai, M., Kovács, K., Kuzmann, E., Homonnay, Z. and Posta, J., 2009. Properties and sources of individual particles and some chemical species in the aerosol of a metropolitan underground railway station. Atmospheric Environment, Vol 43, pp. 3460-3466.
12. Chang, S.C., Chou, C.C.K., Chan, C.C. and Lee, C.T., 2010. Temporal characteristics from continuous measurementsof $PM_{2.5}$ and speciation at the Taipei aerosol supersite from 2002 to 2008. Atmospheric Environment. Vol 44, pp. 1088-1096.
13. Kim, K.Y. and Kim, Y.S., et al., 2008. Spatial distribution of particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) in Seoul metropolitan subway stations. Journal of Hazardous Materials, Vol 154, pp. 440-443.
14. Kam, W., Cheung, K., Daher, N. and Sioutas, C., 2010. Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles metro. Atmospheric

Environment, Vol 45, pp. 1506-1516.

15. Bao, L., Lei, Q., Tan, M., Li, X., Zhang, G., Liu, W. and Li, Y., 2014. Study on transition metals in airborne particulate matter in Shanghai city's subway. EU PMC, Vol 35(6), pp. 2052-2059.
16. Wang, X. and Gao, H.O., 2011. Exposure to fine particle mass and number concentrations in urban transportation environments of New York city.Transp. Res. D Trans. Environ, Vol 16, pp. 384-391.
17. Tehran Metro Public Relations., 2016. Tehran and suburban metro map. http://www.tehranmetro.com. (In Persian)
18. Asmi, E., Antola, M., Yli-Tuomi, T., Jantunen, M., Aarnio, P., Mäkelä, T., Hillamo, R. and Hämeri. K., 2009. Driver and passenger exposure to aerosol particles in buses and trams in Helsinki, Finland. Sci. Total Environ, Vol 407, pp. 2860- 2867.