

## *Study Concentration of particulate matter with aerodynamic diameter less than 10 micron (PM10) in the metro underground transport system of Tehran*

Hossein Raaee Shaktaie<sup>1</sup>,  
Saeed Motesaddi Zarandi<sup>2</sup>,  
Mohammad Ali Zazouli<sup>3</sup>,  
Jamshid Yazdani Cheratee<sup>4</sup>,  
Fateme Hosseinzade<sup>5</sup>,  
Mohsen Dowlati<sup>6</sup>

<sup>1</sup> MSc in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>5</sup> MSc in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>6</sup> MSc in Environmental Health Engineering, Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received Jan 28, 2017 Accepted June 14, 2017)

### **Abstract**

**Background and purpose:** Particulate matter is one of the main pollutants in underground transport systems. Increase in its concentration leads to health problems in passengers and metro staff. Current research aimed at studying the concentration of particulate matter with aerodynamic diameter less than 10 micron (PM10) in Tehran underground transport system.

**Materials and methods:** In this study, concentrations of PM10 were measured in 18 over ground stations and two underground stations during one month in autumn. Sampling was done three times a day (morning, afternoon, and evening) at the beginning, middle, and end of the platforms and the ticket hall. A portable Real-Time Direct Reading Particulate Monitor (HAZ DUST EPAM 5000) with a flow of 4 liters per minute was used. We studied the effect of depth of stations, number of passengers in stations and, number of trains on the emission of PM10 concentration.

**Results:** The results showed that average concentrations of PM10 in underground and over ground stations were  $17.23 \pm 33.64$  and  $14.41 \pm 21.60$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The concentration of pollutant were found to be higher at noon ( $8.25 \pm 32.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), beginning of the platforms, and ticket halls ( $3.28 \pm 29.8$  and  $12.82 \pm 39.91$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively).

**Conclusion:** This study indicated that the average concentration of particulate matter in Tehran underground transport system was lower than the standard levels accepted by the Environmental Protection Agency and the Department of Energy.

**Keywords:** particulate matter, transportation systems, metro, health

## بررسی غلظت ذرات معلق با قطر آنرویدینامیکی کم تر از 10 میکرون (PM<sub>10</sub>) در سیستم حمل و نقل متروی تهران

حسین راعی شکتایی<sup>1</sup>  
سعید متصدی زرندی<sup>2</sup>  
محمد علی ززولی<sup>3</sup>  
جمشید یزدانی چراتی<sup>4</sup>  
فاطمه حسین زاده<sup>5</sup>  
محسن دولتی<sup>6</sup>

### چکیده

**سابقه و هدف:** ذرات معلق از آلاینده‌های اصلی موجود در سیستم حمل و نقل زیرزمینی می‌باشند که افزایش غلظت آن‌ها باعث ایجاد پیامدهای بهداشتی متعددی بر سلامت مسافران و کارگران مترو می‌گردد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت ذرات معلق با قطر آنرویدینامیکی کم تر از 10 میکرون در سیستم حمل و نقل متروی تهران در سال 90 انجام شد. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه غلظت ذرات معلق در یکی از ماه‌های پاییز 1390 در 18 ایستگاه روزمینی و خط 1 و 4 ایستگاه زیرزمینی اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در سه بازه زمانی صبح، ظهر، عصر و در مکان‌های ابتدا، میان و انتهای سکو و در قسمت تیکت هال به عمل آمد. از یک دستگاه پرتابل قرائت مستقیم HAZDUSTEPAM5000 با دبی 4 لیتر بر دقیقه برای اندازه‌گیری استفاده شد. تأثیر متغیرهای عمق ایستگاه، جمعیت مسافری ایستگاه و تعداد قطار بر میزان انتشار غلظت PM<sub>10</sub> مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت PM<sub>10</sub> در ایستگاه‌های زیرزمینی و روزمینی به ترتیب 17/23±33/64 و 14/41±21/60 میکروگرم بر مترمکعب بود. در بین ساعات نمونه‌برداری، غلظت PM<sub>10</sub> در زمان ظهر با مقدار 8/25±32/04 میکروگرم بر مترمکعب بیش تر بود. در بین مکان‌های نمونه‌برداری غلظت PM<sub>10</sub> در قسمت ابتدای سکو و تیکت هال ایستگاه با مقدار به ترتیب 12/82±39/91 و 3/28±29/8 میکروگرم بر مترمکعب بیش تر بود. **استنتاج:** غلظت PM<sub>10</sub> در تمامی موارد اندازه‌گیری پایین تر از استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بود.

**واژه‌های کلیدی:** ذرات معلق، سیستم حمل و نقل، مترو، سلامت

### مقدمه

با ترکیبات شیمیایی، ذرات معلق هوای آزاد را جزء گروه 1 مواد سرطان‌زا برای انسان تقسیم‌بندی نموده‌اند (2). ذرات PM<sub>10</sub> شامل ذرات با قطر آنرویدینامیکی 10 میکرون و کم تر می‌باشند و به دلیل

از دیدگاه مخاطرات سلامت و محیط‌زیست ذرات معلق جزء آلاینده‌های اصلی هوا می‌باشد (1). در اکتبر 2013، کارشناسان موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان وابسته به سازمان بهداشت جهانی IARC فارغ از اندازه

Email: mohsendowlati.69@gmail.com

**مؤلف مسئول: محسن دولتی** - تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط

1. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
  2. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
  3. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
  4. دانشیار گروه آمار زیستی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
  5. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
  6. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
- تاریخ دریافت: 1395/11/9 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1396/1/24 تاریخ تصویب: 1396/3/24

Perales و همکاران، مواجهه کم تر مسافران مترو با ذرات معلق، مونوکسید کربن و بنزن نسبت به مسافران سایر وسایل حمل و نقل عمومی گزارش شد (23). در شهر تهران سیستم حمل و نقل عمومی شامل تاکسی، اتوبوس و مترو می باشد. جابه جایی سریع مسافر، هزینه کم، امنیت و راحتی مسافر در حین سفر سبب گردید که مترو به عنوان یک سیستم حمل و نقل عمومی مهم و قابل توجه در بین شهروندان تهرانی محسوب گردد. متروی تهران با طول تقریبی 128 کیلومتر و 81 ایستگاه دارای 3 خط فعال درون شهری شامل خط 1 (خط قرمز) مسیر دسترسی شمال به جنوب، خط 2 (خط آبی) و خط 4 (خط زرد) مسیر دسترسی شرق به غرب تهران و یک خط برون شهری شامل خط 5 (خط سبز) مسیر دسترسی غرب به حومه تهران و شهر کرج می باشد. با توجه به این که روزانه تقریباً 2 میلیون نفر مسافر به جهت استفاده از مترو در قسمت های مختلف سکو و سالن های ایستگاه تردد دارند و جهت سوار شدن بر روی سکوی ایستگاه به انتظار قطار می نشینند، از این رو کیفیت هوا و پایش آن در چنین محیط هایی ضروری می باشد. لذا این مطالعه با هدف اندازه گیری غلظت ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی کم تر از 10 میکرون و تأثیر فاکتورهای مؤثر بر انتشار آن در ایستگاه های زیرزمینی و روزمینی خط 1 و 4 متروی تهران در فصل پاییز انجام گرفت.

## مواد و روش ها

در این مطالعه قدمت و نوع ایستگاه، معیار انتخاب خطوط 1 و 4 متروی تهران برای اندازه گیری غلظت ذرات معلق بود. خط 1 از خطوط قدیمی مترو و دارای ایستگاه های زیرزمینی و روزمینی و خط 4 با ایستگاه های زیرزمینی از خطوط جدید و تازه بهره برداری مترو در زمان نمونه برداری بود. در مجموع تعداد 24 ایستگاه خط 1 و 4 متروی تهران برای نمونه برداری انتخاب شد.

عبور از بینی، گلو و رسوب در ریه به ذرات توراسیک (ذرات با قطر کم تر از 25 میکرون) (Thoracic) معروف هستند (3). مواجهه با ذرات ریز ممکن است با تشدید نارسایی قلبی - عروقی و در نتیجه افزایش ریسک بستری شدن بیماران با نارسایی قلبی همراه باشد (4، 7). در سیستم های حمل و نقل عمومی زیرزمینی یا مترو، ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی کم تر از 10 میکرون یکی از آلاینده های مهم می باشد (8، 9).

مترو به دلیل توانایی در جابه جایی حجم بالای مسافر، کاهش غلظت آلاینده های هوای آزاد و کاهش مصرف انرژی در بهبود کیفیت هوای شهر مؤثر بوده و امروزه در بین مردم به عنوان یک سیستم حمل و نقل عمومی مهم و قابل توجه می باشد (10). تجهیزات مورد استفاده و هوای آزاد بیرون، فاکتورهای مؤثر در کیفیت هوای مترو می باشند (11). سایش ناشی از چرخ، ریل و ترمز قطار، توربلانس هوا در ایستگاه و داخل تونل، فعالیت های مربوط به تعمیر و نگهداری شبانه مانند ساخت و ساز، جوشکاری و تردد دیزل، نظافت، سیل، حریق و فرسایش بادی داخل تونل و روی سکو به عنوان منابع اصلی انتشار ذرات معلق در سیستم مترو می باشند (12). در طی سال های اخیر غلظت ذرات معلق در سیستم مترو کشورهایی مانند میلان (13)، بارسلونا (14)، تایوان (15، 17)، سئول (18، 21)، مکزیک (22، 23)، لوس آنجلس (24، 25)، نیویورک (26، 28)، شانگهای (29)، سیدنی (30)، آرژانتین (31)، فرانسه (32)، بوداپست (33)، بلژیک (34، 35)، پرگوئه (36)، رم (37)، هلند (38)، لندن (39)، استوکهولم (41)، هونگ کونگ (42)، توکیو (43)، بوستون (44) و برلین (45) مطالعه شد.

مواجهه 3 تا 8 برابری مسافران مترو با  $PM_{2.5}$  نسبت به مسافران سایر وسایل حمل و نقل عمومی در مطالعه Adams و همکاران گزارش شد (39). مواجهه کم تر  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  و مونوکسید کربن مسافران مترو نسبت به مسافران سایر وسایل حمل و نقل عمومی در مطالعه Chan و همکاران گزارش شد (42). در مطالعه Gómez-

تعداد قطارهای ورودی و خروجی به ایستگاه به صورت دستی ثبت گردید.

در پایان هر دوره نمونه برداری، داده‌های اندازه‌گیری برای آنالیز به کامپیوتر انتقال داده شد. تأثیر فاکتورهای عمق ایستگاه، جمعیت مسافری ایستگاه و تعداد قطار بر میزان انتشار غلظت ذرات معلق، مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالعاتی که در این زمینه در متروی سایر کشورها انجام گردید، میانگین غلظت PM10 حاصله با استاندارد غلظت PM10 هوای آزاد مطابقت داده شد (15، 18، 19، 33، 46). برای آنالیز داده‌ها و بررسی تأثیر متغیرها بر میزان انتشار غلظت PM10 از آزمون آماری رگرسیون خطی، T test، Anova و آنالیز همبستگی استفاده شد. جهت تعیین میانگین، انحراف معیار، واریانس، تعیین ضریب همبستگی بین داده‌های مذکور و ترسیم نمودارها از نرم افزار Excell استفاده گردید.

## یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق PM10 در 24 ایستگاه زیرزمینی و روزمینی خطوط 1 و 4 متروی تهران و مقایسه نتایج با استاندارد EPA، 150 میکروگرم در مترمکعب برای میانگین 24 ساعته (47) و استاندارد ملی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (50 میکروگرم در مترمکعب برای میانگین 24 ساعته) (48) شان داد که در تمامی موارد، مقادیر غلظت ذرات پایین‌تر از حد استاندارد و به ترتیب 0/22 و 0/67 میکروگرم بر متر مکعب استاندارد EPA و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بود (18، 24، 46). نتیجه‌گیری می‌شود که کیفیت هوا در داخل ایستگاه‌های متروی تهران مطلوب می‌باشد.

از کل ایستگاه‌های انتخابی، تعداد 17 ایستگاه آن از خط 1 (6 ایستگاه روزمینی و 11 ایستگاه زیرزمینی) و تعداد 7 ایستگاه از خط 4 (زیرزمینی) انتخاب شد. ذرات معلق در طول 24 روز از ابتدا تا انتهای ماه آذر سال 90 نمونه برداری شد. از یک دستگاه پرتابل قرائت مستقیم HAZDUST EPAM5000 با دبی 4 لیتر بر دقیقه برای نمونه برداری غلظت ذرات معلق استفاده شد. مطابق با مطالعات انجام شده با توجه به سطح تماس تنفسی افراد، دستگاه در ارتفاع 1/5 متری سطح زمین نصب شد (33، 18، 19، 33، 46). با توجه به تحقیقات انجام شده (15، 18، 19، 33، 46) که به ساعات و زمان نمونه برداری در مطالعه خود اشاره نمودند و هم‌چنین با تحقیق و بررسی به عمل آمده با کارکنان باجه‌های فروش بلیط مستقر در ایستگاه و هم‌چنین مرکز کنترل ترافیک خطوط مترو در خصوص بار جمعیت مسافری، ساعات صبح و عصر به عنوان زمان با تعداد بیش‌تر مسافر و زمان ظهر با تعداد مسافر کم‌تر و حداقل، جهت ساعات نمونه برداری انتخاب شدند. از این رو سه دوره زمانی یک‌ساعته صبح (7/00-8/00)، ظهر (11/00-12/00) و عصر (16/00-17/00) برای نمونه برداری غلظت ذرات معلق انتخاب شد. نمونه برداری بر روی سکو و راهروی دسترسی مسافران به سکوی ایستگاه انجام شد. با توجه به تعداد نقاط نمونه برداری، تعداد 288 نمونه برداری ذرات معلق در 24 ایستگاه انجام گردید. بر روی سکو سه نقطه ابتدایی، میانی و انتهایی و در راهروی خروجی قسمت تیکت‌های برای نمونه برداری انتخاب شد. غلظت ذرات معلق در هر نقطه به مدت 15 دقیقه (متوسط زمان انتظار مسافران بر روی سکو) برای هر دوره زمانی نمونه برداری شد. در هنگام نمونه برداری بر روی سکو،

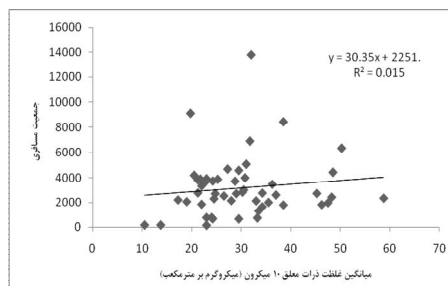
جدول شماره 1: مقادیر میانگین و حداکثر غلظت ذرات معلق 10 میکرون در ایستگاه‌های مورد مطالعه در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

ایستگاه	غلظت ذرات معلق 10 میکرون (میکروگرم بر مترمکعب)					
	صبح			ظهر		
میانگین ± انحراف معیار	حداکثر	تعداد قطار	میانگین ± انحراف معیار	حداکثر	تعداد قطار	جمعیت
ولیعصر	8/26 ± 32/5	47/5	10	52/25	9	9
نوحید	14/66 ± 31/25	47/25	8	31/75	10	10
شهنا	11/64 ± 30/25	44/25	10	74/75	9	9
نبرد	6/94 ± 30/25	44	11	51/25	10	10
میدان آزادی	17/63 ± 24/75	36/26	11	58/5	12	12
میدان انقلاب	8/77 ± 33/75	49/75	9	43/5	11	11
دروازه شمیران	2/06 ± 35/25	50/25	10	76	9	9
شهدای متحف	15/58 ± 20/5	30	17	42/5	16	16
شهدای حقانی	13/51 ± 37	56/25	16	60/25	16	16
شهدای بهشتی	13/29 ± 22	38	17	90	10	10
پانزده خرداد	11/61 ± 19/75	35/75	18	38/5	19	19
معلی	18/24 ± 30/25	45/5	18	68/75	17	17
میرداماد	12/35 ± 29	51/25	19	80/75	17	17
امام خمینی	14/15 ± 28/75	48/75	20	72	16	16
حرم مطهر	14/38 ± 33/5	54/5	7	41/5	11	11
قنات نیر	18/95 ± 23	34/75	18	61	17	17
قلهک	14/63 ± 34/25	50/25	9	44	15	15
دروازه دولت	15/66 ± 21/25	36	15	46	17	17
شوش	19/30 ± 22	40	16	48/25	17	17
نریمان جنوب	9/64 ± 23	67	16	56/75	19	19
شهری	14/24 ± 22/75	132	16	142/3	14	14
خرانه	9/20 ± 24	58/5	18	82/75	13	13
باقر شهر	6/65 ± 13/75	39	9	54/5	8	8
علی آباد	8/28 ± 19	50/75	14	82	14	14

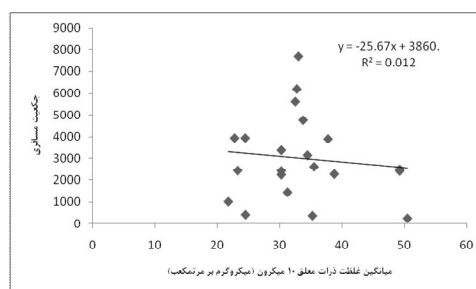
جدول شماره 2: مقادیر میانگین و حداکثر غلظت ذرات معلق 10 میکرون در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	دوره‌های نمونه‌برداری					
	صبح			ظهر		
میانگین ± انحراف معیار	حداکثر	تعداد قطار	میانگین ± انحراف معیار	حداکثر	تعداد قطار	جمعیت
زیرزمینی خط 4	10/25 ± 31/14	45/60	69	16/69 ± 37/10	70	70
زیرزمینی خط 1	14/35 ± 27/20	43/72	190	60/97	171	171
روزمینی خط 1	11/10 ± 20/75	64/54	89	71/75	85	85

نتایج جداول شماره 2 و 3 مربوط به مقادیر حداکثر و میانگین غلظت PM<sub>10</sub> در 24 ایستگاه مورد مطالعه در دوره‌های نمونه‌برداری صبح، ظهر و عصر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین غلظت ذرات معلق در زمان نمونه‌برداری ظهر و در محدوده زمانی 12/00-13/00 مشاهده شد. علی‌رغم کاهش تعداد مسافر در این زمان، ولی مشاهده می‌گردد که میانگین غلظت ذرات معلق این دوره بیش‌تر می‌باشد. شکل شماره 1 و 2 رابطه همبستگی تعداد مسافران در دوره‌های نمونه‌برداری و انتشار غلظت ذرات معلق را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ارتباط همبستگی ضعیف و مثبت با ضریب همبستگی 0/13 بین تعداد مسافران ایستگاه‌های خط 4 و میانگین غلظت PM<sub>10</sub> وجود دارد، در صورتی که ارتباط



شکل شماره 1: ارتباط همبستگی بین جمعیت ایستگاه‌های خط 4 با غلظت ذرات معلق 10 میکرون



شکل شماره 2: ارتباط همبستگی بین جمعیت ایستگاه‌های خط 1 با غلظت ذرات معلق 10 میکرون

همبستگی ضعیف و منفی با ضریب همبستگی  $-0/11$  -  
 بین تعداد مسافران ایستگاه‌های خط 1 و میانگین غلظت  
 $PM_{10}$  دیده شد. نتایج آماری اختلاف معنی‌داری بین

تعداد مسافران و میانگین غلظت  $PM_{10}$  نشان نداد ( $0/05 > P_{value}$ ).

جدول شماره 3: مقادیر غلظت ذرات معلق 10 میکرون در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری ایستگاه

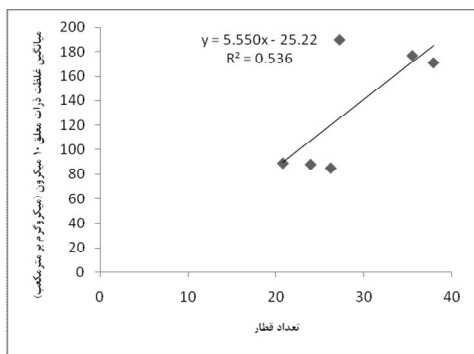
ایستگاه		مکان‌های نمونه‌برداری					
ایستگاه	میانگین $\pm$ انحراف معیار	ابتدای سکو		میان سکو		انتهای سکو	
		حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
زیرزمینی خط 4	13/58 $\pm$ 47/19	70/57	2/47	12/38 $\pm$ 30/19	2/04	44/90	15/24 $\pm$ 27/09
زیرزمینی خط 1	10/41 $\pm$ 47/45	78/48	3/54	12/95 $\pm$ 31	2/78	48/12	10/41 $\pm$ 29/84
روزمینی خط 1	15/37 $\pm$ 25/11	104/27	1/27	11/56 $\pm$ 15/38	1/88	34/66	11/36 $\pm$ 17/83

جدول شماره 4: مقادیر غلظت ذرات معلق 10 میکرون به تناسب با عمق زیرزمینی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	خط مترو	نوع ایستگاه	عمق زیرزمینی	غلظت $PM_{10}$ (میکرو گرم بر متر مکعب)
ایستگاه	خط مترو	نوع ایستگاه	عمق زیرزمینی	میانگین $\pm$ انحراف معیار
ولیعصر	4	زیرزمینی	- 12	10/71 $\pm$ 33/33
توحید	4	زیرزمینی	- 17	12/28 $\pm$ 25/41
میدان شهدا	4	زیرزمینی	- 24	12/63 $\pm$ 39/41
نبرد	4	زیرزمینی	- 18/5	17/63 $\pm$ 38/33
میدان آزادی	4	زیرزمینی	- 18	20/54 $\pm$ 28/41
میدان انقلاب	4	زیرزمینی	- 18	12/18 $\pm$ 32/25
دروازه شمیران	4	زیرزمینی	- 25/5	19/28 $\pm$ 36/58
شهدید متح	1	زیرزمینی	- 14/5	20/45 $\pm$ 23/83
شهدید حقانی	1	زیرزمینی	- 24/81	13/48 $\pm$ 36/25
شهدید بهشتی	1	زیرزمینی	- 11	23/68 $\pm$ 43/66
پانزده خرداد	1	زیرزمینی	- 9/3	17/52 $\pm$ 30/08
مصلی	1	زیرزمینی	- 19/89	16/32 $\pm$ 41/58
میرداماد	1	زیرزمینی	- 16	25/69 $\pm$ 41/66
امام خمینی	1	زیرزمینی	- 19/25	25/68 $\pm$ 41/66
حرم امام خمینی	1	زیرزمینی	- 8/5	9/77 $\pm$ 28/75
هفت تیر	1	زیرزمینی	- 11/5	20/98 $\pm$ 34/25
قلهک	1	زیرزمینی	- 14/3	14/68 $\pm$ 30/5
دروازه دولت	1	زیرزمینی	- 12	12/75 $\pm$ 27/58
شوش	1	روزمینی	0	14/89 $\pm$ 29/58
ترمینال جنوب	1	روزمینی	0	6/81 $\pm$ 23/33
شهرری	1	روزمینی	0	23/18 $\pm$ 25/5
خزانه	1	روزمینی	0	13/96 $\pm$ 23/16
باقرشهر	1	روزمینی	0	7/86 $\pm$ 15/75
علی آباد	1	روزمینی	0	14/56 $\pm$ 20/25

نمونه‌برداری ایستگاه‌های زیرزمینی و روززمینی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد در ایستگاه‌های زیرزمینی، غلظت ذرات معلق در طول مسیر سکو کم می‌شود و غلظت در ابتدای سکو بیش‌تر می‌باشد. در صورتی که در ایستگاه‌های روززمینی، غلظت ذرات معلق در طول مسیر سکو در قسمت میانی کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

جدول شماره 3، مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر غلظت ذرات معلق 10 میکرون در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در ایستگاه‌های خطوط 1 و 4، میانگین کلی غلظت ذرات معلق در قسمت ابتدایی سکو با مقدار 39/91 میکروگرم بر مترمکعب و تیکت‌هال با مقدار 29/8 میکروگرم بر مترمکعب از سایر مکان‌های نمونه‌برداری بیش‌تر بود. شکل شماره 3 و 4 روند تغییرات میانگین غلظت ذرات معلق در مکان‌های



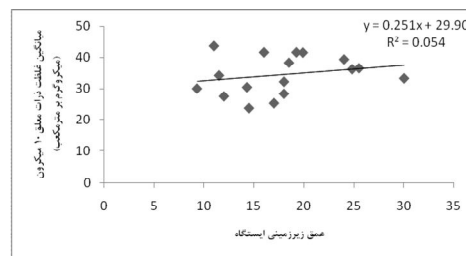
شکل شماره 5: ارتباط همبستگی بین تعداد قطار و غلظت ذرات

معلق 10 میکرون در ایستگاه‌های خط 1

شکل شماره 4 و 5 ارتباط همبستگی بین تعداد قطارهای خط و انتشار غلظت ذرات معلق 10 میکرون را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که ارتباط همبستگی مثبت با ضریب رگرسیونی 0/9 و 0/7 به ترتیب بین تعداد قطارهای خط 1 و 4 و انتشار غلظت ذرات معلق 10 میکرون وجود دارد. نتایج آماری اختلاف معنی‌داری بین تعداد قطار و انتشار غلظت ذرات معلق نشان داد (P-value < 0/05).

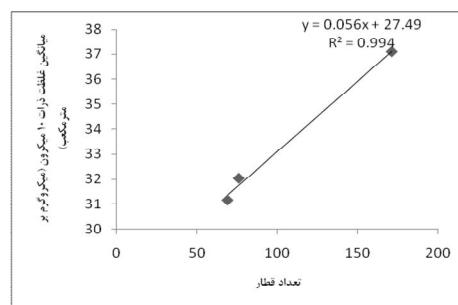
### بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق با قطر کم‌تر از 10 میکرون (10 PM) در 24 ایستگاه زیرزمینی و روزمینی خط 1 و 4 متروی تهران در فصل پاییز سال 1390 نشان داد که میانگین غلظت 10 PM در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی پایین‌تر از استاندارد EPA و استاندارد ملی سازمان حفاظت محیط زیست ایران بود و به ترتیب 0/22 و 0/67 استاندارد EPA و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بود. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، بیش‌ترین غلظت مربوط به ایستگاه زیرزمینی شهید بهشتی در خط 1 با مقدار 43/66 میکروگرم بر مترمکعب و کم‌ترین غلظت مربوط به ایستگاه روزمینی باقرشهر در خط 1 با مقدار 15/75 میکروگرم بر مترمکعب بود. ایستگاه شهید بهشتی یک ایستگاه تقاطعی با خط 3 می‌باشد و در زمان



شکل شماره 3: ارتباط همبستگی بین عمق زیرزمینی ایستگاه‌ها با غلظت ذرات معلق 10 میکرون

جدول شماره 4 مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر غلظت ذرات معلق 10 میکرون را در ایستگاه‌های مورد مطالعه به تناسب عمق زیرزمینی نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد ایستگاه پانزده خرداد با عمق 9/3 متر از سطح خیابان با غلظت 30/08 میکروگرم بر مترمکعب و دروازه شمیران با عمق 25/5 متر از سطح خیابان با غلظت 36/58 میکروگرم بر مترمکعب به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت ذرات در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بودند. شکل شماره 3 ارتباط همبستگی عمق ایستگاه و انتشار غلظت ذرات معلق را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که ارتباط همبستگی ضعیف و مثبت با ضریب رگرسیونی 0/2 و  $R^2 = 0/054$  بین عمق ایستگاه و غلظت ذرات معلق وجود دارد. نتایج آماری اختلاف معنی‌داری بین عمق و میانگین غلظت ذرات معلق نشان نداد (P-value > 0/05).



شکل شماره 4: ارتباط همبستگی بین تعداد قطارهای عبوری از ایستگاه و غلظت ذرات معلق 10 میکرون در ایستگاه‌های خط 4

توقف قطار در ایستگاه به ترتیب موجب افزایش، کاهش و تثبیت غلظت ذرات معلق می‌شود (10).

در ایستگاه‌های روزمینی، بیش‌ترین غلظت ذرات در قسمت تیکت هال که مشرف به فضای بیرون می‌باشد، دیده شد. اختلاف معنی داری بین غلظت PM 10 ابتدای سکو با سایر مکان‌های نمونه‌برداری دیده شد ( $P > 0/001$ ). استنباط می‌شود تونل مترو می‌تواند یکی از منابع تولید و ورود ذرات معلق به داخل ایستگاه باشد. نتیجه با مطالعه Park و همکاران در متروی سئول مطابقت دارد (20).

اختلاف معنی داری بین تعداد مسافران و انتشار غلظت PM 10 دیده نشد ( $P < 0/05$ ). نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات Colombi و همکاران و Onat و همکاران مطابقت دارد (13، 49) ولی از سوی دیگر با نتایج مطالعه Kim و همکاران که اختلاف معنی دار و منفی بین جمعیت مسافری و انتشار غلظت PM 10 دیده شد مغایرت دارد (18).

نتایج اندازه‌گیری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری نشان داد که غلظت ذرات معلق در زمان غیر پیک ظهر نسبت به زمان‌های پیک صبح و عصر بیش‌تر بود. نتایج این بررسی با نتایج مطالعه Saksena و همکاران مطابقت دارد (50). فرض می‌شود هرچه تعداد مسافران ایستگاه بیش‌تر باشد، حرکت و تردد مسافران در داخل فضای مترو جهت ورود و خروج به‌کندی صورت می‌گیرد، در نتیجه کف کفش مسافر با کف فضای ایستگاه کم‌تر تماس داشته و در نتیجه ذرات معلق کم‌تر در هوا معلق شود (18).

نتایج اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق 10 میکرون در عمق‌های مختلف ایستگاه نشان داد که روند تغییرات غلظت ذرات به تناسب عمق بسیار جزئی بود. ارتباط همبستگی بسیار ضعیف با ضریب رگرسیون  $0/2$  و  $R^2 = 0/054$  بین عمق ایستگاه و میانگین غلظت ذرات معلق 10 میکرون دیده شد. آنالیز رگرسیون خطی اختلاف معنی داری بین عمق و غلظت ذرات معلق نشان نداد ( $P < 0/05$ ). در این مطالعه علت عدم

نمونه‌برداری جهت ساخت ایستگاه‌های خط 3 در طول مسیر زیرزمینی کارگاه‌هایی در حوالی ایستگاه شهید بهشتی احداث شد. در نتیجه با تردد قطار، گردوغبار منتشره از ساخت و ساز وارد ایستگاه مورد نظر می‌شد، که از دلایل بیش‌تر بودن غلظت ذرات معلق این ایستگاه می‌تواند باشد. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که میانگین غلظت PM 10 ایستگاه‌های زیرزمینی بیش‌تر و تقریباً  $1/5$  برابر ایستگاه‌های روزمینی بود. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات Cheng و همکاران، Wang و Seaton، Gao و همکاران مطابقت دارد (15، 26، 40). به نظر می‌رسد با توجه به این که در ایستگاه‌های روزمینی، فضا محصور و بسته نمی‌باشد و دو طرف سکوی ایستگاه باز و با هوای بیرون مرتبط می‌باشد، لذا به علت جریان هوا، نشست ذرات معلق در ایستگاه کاهش یافته و منجر می‌شود که غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های روزمینی نسبت به ایستگاه‌های زیرزمینی کم‌تر گردد. نتایج اندازه‌گیری در مکان‌های نمونه‌برداری ایستگاه‌ها نشان داد که میانگین غلظت PM 10 در قسمت ابتدایی سکو نسبت به سایر مکان‌ها بیش‌تر بود. روند تغییرات غلظت ذرات در امتداد طول سکو در ایستگاه‌های زیرزمینی کاهش بود. در خطوط زیرزمینی هم‌زمان با ورود قطار به ایستگاه، ذرات معلق منتشره در طول مسیر در قسمت موتور، بدنه قطار و هم‌چنین حریم ریلی ته‌نشین می‌شود و به واسطه جریان هوای ناشی از تردد قطار به فضای ایستگاه پخش می‌شود و سبب می‌شود که غلظت ذرات در ابتدای سکو بیش‌تر گردد. در میانه سکو، سرعت قطار کم‌تر می‌شود، در نتیجه با کاهش سرعت قطار و سرعت جریان هوا از غلظت ذرات معلق در طول مسیر کاسته می‌شود. این مطالعه با نتیجه Martins و همکاران در متروی بارسلونا مطابقت دارد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با کاهش سرعت قطار و کاهش سرعت جریان هوا از غلظت ذرات معلق در طول سکو کاسته می‌شود و گزارش شد که ورود، خروج و



تغییرات غلظت ذرات به تناسب عمق ایستگاه شاید انتخاب ایستگاه‌های با عمق‌های مشابه و یا نزدیک به هم باشد و نیاز است در این خصوص مطالعات وسیع‌تری انجام گیرد. ارتباط همبستگی شدید با ضریب رگرسیون  $R_2 = 0/99$ ،  $0/9$  و  $R_2 = 0/53$ ،  $0/7$  به ترتیب بین تعداد قطارهای خط 1 و 4 و انتشار غلظت ذرات معلق 10 میکرون وجود داشت. یعنی در بین فاکتورهای مورد بررسی، تعداد قطار یک فاکتور مؤثر بر انتشار غلظت ذرات می‌باشد ( $P\text{-value} < 0/05$ ). نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات مارتین و همکاران در متروی بارسلونا و Suk Son سون در متروی سئول مطابقت دارد (10، 51). در جدول شماره 6، نتایج مطالعات انجام شده در زمینه اندازه‌گیری غلظت PM10 در سیستم حمل و نقل عمومی مترو کشورهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول شماره 4: مطالعات انجام شده در زمینه اندازه‌گیری غلظت PM10 در سیستم حمل و نقل عمومی مترو کشورهای مختلف

منبع	غلظت PM10 (میکروگرم بر مترمکعب)	مکان نمونه برداری	متروی مورد مطالعه
24	38	سکوی ایستگاه زیرزمینی	لوس آنجلس
24	74	سکوی ایستگاه روزمینی	
32	320	سکوی ایستگاه در ساعت شلوغ	پاریس
32	200	سکوی ایستگاه در ساعات نرمال	
40	1000-1500	سکوی ایستگاه	لندن
16	359	سکوی ایستگاه زیرزمینی	سئول
18	123	سکوی ایستگاه زیرزمینی	کره
18	145	سکوی ایستگاه روزمینی	
41	469	سکوی ایستگاه زیرزمینی	استوک‌هولم
42	357	سکوی ایستگاه روزمینی	
33	155-188	سکوی ایستگاه زیرزمینی	بوداپست
34	103	سکوی ایستگاه زیرزمینی	پروگوئه
37	407	سکوی ایستگاه زیرزمینی	روم
13	11-137	سکوی ایستگاه زیرزمینی	تایوان
35	324/8	سکوی ایستگاه زیرزمینی	چین
35	108	سکوی ایستگاه روزمینی	

مقایسه نتایج این مطالعه با دیگر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که میانگین غلظت PM 10 در ایستگاه‌های متروی تهران در مقایسه با ایستگاه‌های متروی سایر کشورها کم تر می‌باشد. در صورتی که در مطالعه حاضر، میانگین غلظت ذرات PM 10 در ایستگاه‌های روزمینی و زیرزمینی به ترتیب 33/64 و 21/6 میکروگرم بر مترمکعب بود. متفاوت بودن نتایج اندازه‌گیری می‌تواند به دلیل قدمت کم تر متروی تهران در مقایسه با متروی سایر کشورها باشد. هم‌چنین ممکن است به دلایل دیگری مانند زمان و مکان نمونه‌برداری، فصل اندازه‌گیری، طراحی متفاوت طول ایستگاه و تونل‌ها، جنس چرخ و ریل، نوع سیستم ترمزگیری قطار، سرعت قطار، تعداد قطار، نوع وسیله اندازه‌گیری، تعداد جمعیت مسافری، روش اندازه‌گیری، جنس مصالح مورد استفاده در ساخت ایستگاه‌ها و روش آنالیز داده‌ها باشد (13). در مطالعه Nieuwenhuijsen و Ho، Li، Chillrud گزارش شد استفاده از چرخ‌های لاستیکی، ترمزهای الکتریکی و نصب سیستم‌های هواساز مناسب می‌تواند سبب کاهش غلظت ذرات معلق در سیستم مترو گردد (27، 35، 52، 53). یکی دیگر از روش‌های کاهش غلظت ذرات معلق و آلودگی هوا در سیستم مترو نصب سیستم محافظ سکوی مسافری (Platform Screen Doors) PSD می‌باشد که در مطالعه Kim و Park پیشنهاد شد (12، 19، 20). سیستم PSD جداکننده درب قطار از سکوی می‌باشد که با مسدود کردن جریان هوای ورودی از تونل باعث بهبود کیفیت هوا بر روی سکوی ایستگاه و هم‌چنین افزایش سطح ایمنی قطار و کاهش حوادث مسافری می‌گردد (20).

با توجه به این که مقادیر غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های خطوط 1 و 4 متروی تهران پایین تر از حد استاندارد EPA و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بود، ولی به جهت بهبود کیفیت هوا در سیستم متروی تهران، نصب سیستم‌های هواساز در ایستگاه‌های فاقد این سیستم، نصب سیستم PSD بر روی سکوی ایستگاه، پایش منظم زیست محیطی ایستگاه‌ها، پایش زیست محیطی در ورودی و خروجی هواساز برای اطلاع از عملکرد آن، افزایش دفعات نظافت و شستشوی ایستگاه و تونل‌ها را می‌توان به عنوان راهکارهای مؤثر پیشنهاد

خاطر کارکنان و مسافران مترو از وضعیت کیفیت هوا به عنوان مطالعات آبی سایر محققین پیشنهاد می‌گردد.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از مدیریت سلامت، ایمنی و طب کار شرکت بهره‌برداری مترو تهران و حومه جهت در اختیار گذاردن دستگاه نمونه‌برداری تشکر و قدردانی می‌گردد.

داد. مطالعه اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق در هوای داخل کابین مسافری قطار، سکو و هوای بیرون با هدف مقایسه کیفیت هوا، اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق، مقایسه با استانداردهای موجود و تعیین نوع جنس ذرات فلزی در هوای داخل ایستگاه‌های مترو، اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق کم‌تر از 2/5 میکرون در قسمت‌های قبل و بعد از فیلترهای سیستم‌های هواساز به جهت اطلاع از راندمان و عملکرد آن در کاهش غلظت ذرات ورودی، اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق و شاخص‌های رفاهی مانند دما و رطوبت در اتاق‌های اداری داخل ایستگاه‌های مترو به جهت کاهش دغدغه و اطمینان

### References

1. Kermani M, Dowlati M, Jonidi Jafari A, Rezaei Kalantari R. Health impact caused by exposure to particulate matter in the air of Tehran in the past decade. *Tehran Univ Med J.* 2017; 74 (12) :885-892.(persian)
2. Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, Ghissassi FE, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol.* 2013;14(13):1262-1263.
3. Kelly FJ, Fussell JC. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmos Environ.* 2012;60:504-526.
4. Kermani M, Dowlati. M, Jonidi Jaffari A, Rezaei Kalantari R . Estimation of Mortality, Acute Myocardial Infarction and Chronic Obstructive Pulmonary Disease due to Exposure to O3, NO2, and SO2 in Ambient Air in Tehran . *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2016; 26(138): 96-107.(persian)
5. Franklin M , Zeka A , Schwartz J . Association between PM2.5 and all-cause and specific-cause mortality in 27 us communities. *J Expos Science Environ Epid.* 2007: 17(3):279-287.
6. Liu L, Ruddy TD, Dalipaj M, Szyszkowicz M, You H, Poon R, et al. Influence of personal exposure to particulate air pollution on cardiovascular physiology and biomarkers of inflammation and oxidative stress in subjects with diabetes. *J Occup Environ Med.* 2007: 49(3):258-265.
7. Kermani M, Aghaei M, Gholami M, Bahrami asl F, Karimzade S, Falah S et al . Estimation of Mortality Attributed to PM2.5 and CO Exposure in eight industrialized cities of Iran during 2011. *Iran Occupaional Health Journal.* 2016; 13 (4) :49-61.(persian)
8. Park D , Lee Y , Jung W , Choi K , Jeong W , Kwon S B , etal. Source identification of particulate matter pollution in subway. 3rd International Conference on Materials and Reliability. Jeju, Korean: Nov 23-25;2015.

9. Motesaddi Zarandi S, Raa'ee Shaktaie H, Yazdani Cheratee j, Hosseinzade f, Dowlati M. Evaluation of PM2.5 Concentration and Determinant Parameters on its Distribution in Tehran's Metro System in 2012. *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2013; 22(2): 36-46.(Persian)
10. Martins V , Moreno T , Minguillón MC , Amato F , de Miguel E , Capdevila M, et al. Exposure to airborne particulate matter in the subway system. *Sci Total Environ* 2015: 511:711-722.
11. Ruzmynvilcasim MJ, Thurston GD, Peltier RE, Gordon T. Black carbon and particulate matter (PM2.5) concentration in New York city subway stations. *Environ Sci Technol* . 2014; 48(24) :14738-147450.
12. Querol X , Moreno T , Karanasiou 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.
13. Colombi C , Angius S , Gianelle V , Lazzarini M. Particulate matter concentrations, physical characteristics and elemental composition in the Milan underground transport system. *Atmos Environ.* 2013; 70, 166–178.
14. Moreno T, Pérez N, Reche C, Martins V, de Miguel E, Capdevila M, et al. Subway platform air quality: assessing the influences of tunnel ventilation, train piston effect and station design. *Atmos Environ.*2014; 92: 461–468.
15. Cheng YH, Lin YL, Liu CC. Levels of PM10 and PM2.5 in Taipei Rapid Transit System. *Atmos Environ.* 2008; 42 (31): 7242–7249.
16. Cheng Y H, Liu ZS, Yan JW. Comparisons of PM10, PM2.5, particle number, and CO2 levels inside metro trains between traveling in underground tunnels and on elevated tracks. *Aerosol Air Qual Res.* 2012;12(5): 879–891.
17. Cheng YH, Lin YL. Measurement of particles concentrations and size distributions in an underground station. *Aerosol Air Qual.* 2010;3(2):22–29.
18. 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 Mater.*2008; 154 (1–3): 440–443.
19. Kim KH, Ho DX, Jeon JS, Kim JC. A noticeable shift in particulate matter levels after platform screen door installation in a Korean subway station. *Atmos Environ.*2012; 49: 219–223.
20. Park DU, Ha KC. Characteristics of PM10, PM2.5, CO2 and CO monitored in interiors and platforms of subway train in Seoul, Korea. *Environ Int.* 2008; 34 (5): 629–634.
21. 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. *Atmos Environ.* 2010; 44 (19), 2287–2293.

22. Mugica-Álvarez V, Figueroa-Lara J, Romero-Romo M, Sepúlveda-Sánchez J, López-Moreno T. Concentrations and properties of airborne particles in the Mexico City subway system. *Atmos Environ.* 2012; 49: 284–293.
23. Gómez-Perales JE, Colville RN, Fernández-Bremauntz AA, Gutiérrez-Avedoy, V, Páramo-Figueroa VH, Blanco-Jiménez S, et al. Bus, minibus, metro inter-comparison of commuters' exposure to air pollution in Mexico City. *Atmos Environ.* 2007; 41 (4): 890–901.
24. KamW, Cheung K, Daher N, Sioutas C. Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro. *Atmos Environ.* 2011; 45(8) :1352-2310.
25. KamW, Ning Z, Shafer MM, Schauer JJ, Sioutas C. Chemical characterization and redox potential of coarse and fine particulate matter (PM) in underground and ground level rail systems of the Los Angeles Metro. *Environ Sci Technol.* 2011; 45 (16): 6769–6776.
26. Wang X, (Richard) Gao HO. Exposure to fine particle mass and number concentrations in urban transportation environments of New York City. *Transp. Res. Part D: Transp Environ.* 2011; 16 (5): 384–391.
27. Chillrud SN, Epstein D, Ross JM, Sax SN. Elevated airborne exposures to manganese, chromium and iron of teenagers from steel dust and New York City's subway system. *Environ Sci Technol.* 2004; 38 (3): 732–737.
28. Chillrud SN, Grass D, Ross JM, Coulibaly D, Slavkovich V, Epstein D, et al. Steel dust in the New York City subway systems a source of manganese, chromium, and iron exposures for transit workers. *J Urban Health.* 2005; 82 (1): 33–42.
29. Ye X, Lian Z, Jiang C, Zhou Z, Chen H. Investigation of indoor environmental quality in Shanghai metro stations, China. *Environ Monit. Assess.* 2010; 167 (1-4): 643–651.
30. Knibbs LD, de Dear RJ. Exposure to ultrafine particles and PM<sub>2.5</sub> in four Sydney transport modes. *Atmos Environ.* 2010; 44 (26): 3224–3227.
31. Murrini LG, Solanes V, Debray M, Kreiner AJ, Davidson J, Davidson M, et al. Concentrations and elemental composition of particulate matter in the Buenos Aires underground system. *Atmos Environ.* 2009; 43 (30): 4577–4583.
32. Raut JC, Chazette P, Fortain A. Link between aerosol optical, microphysical and chemical measurements in an underground railway station in Paris. *Atmos Environ.* 2009; 43 (4): 860–868.
33. Salma I, Weidinger T, Maenhaut W. Time-resolved mass concentration, composition and sources of aerosol particles in a metropolitan underground railway station. *Atmos Environ.* 2007; 41 (37): 8391–8405.
34. Li TT, Bai YH, Liu ZR, Liu JF, Zhang GS, Li JL. Air quality in passenger cars of the ground railway transit system in Beijing, China. *Sci Total Environ.* 2006; 367 (1): 89–95.

35. Li TT, Bai YH, Liu ZR, Li JL. In-train air quality assessment of the railway transit system in Beijing: a note. *Transport Res D TR E*.2007;12 (1): 64–67.
36. Branis M. The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system. *Atmos Environ*. 2006;40 (2): 348–356.
37. Ripanucci GI, Grana M, Vicentini L, Magrini A, Bergamaschi A. Dust in the underground railway tunnels of an Italian town. *J Occup Environ Hyg*. 2006;3 (1):16–25.
38. Aarnio P, Yli-Tuomi T, Kousa A, Mäkela T, Hirsikko A, Hämeri K, et al. The concentrations and composition of and exposure to fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in the Helsinki subway system. *Atmos Environ*. 2005; 39 (28): 5059-5066.
39. Adams HS, Nieuwenhuijsen MJ, Colvile RN, McMullen MA, Khandelwal P. Fine particle (PM<sub>2.5</sub>) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Sci Total Environ*. 2001;279 (1–3):29–44.
40. Seaton A, Cherrie J, Dennekamp M, Donaldson K, Hurley JF, Tran CL. The London Underground: dust and hazards to health. *Occup Environ Med*. 2005;62 (6):355–362.
41. Johansson C, Johansson PA. Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmos Environ*. 2003; 37(1): 3–9.
42. Chan LY, Lau WL, Lee SC, Chan CY. Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmos Environ*. 2002; 36 (21): 3363–3373.
43. Chan LY, Lau WL, Zou SC, Cao ZX, Lai SC. Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmos Environ*. 2002;36 (38): 5831–5840.
44. Levy JI, Houseman E A, Ryan L, Richardson D, Spengler JD. Particle concentrations in urban microenvironments. *Environ Health*. 2000;108 (11): 1051-1057.
45. Fromme H, Oddoy A, Piloty M, Krause M, Lahrz T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (elemental carbon) inside a car and a subway train. *Sci. Total Environ*. 1998; 217 (1–2):165–173.
46. Ye X, Lian Z, Jiang C, Zhou Z, Chen H. Investigation of indoor environmental quality in Shanghai metro stations. *Environ Monit Assess*. 2010;167(1-4): 643-651.
47. EPA. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Available at :<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/criteria.pdf>
48. DOE. Ambient-air-standatds. Available at: [doe.ir/Portal/file/?738087/ambient-air-standatds.pdf](http://doe.ir/Portal/file/?738087/ambient-air-standatds.pdf)
49. Onat B, Stakeeva B. Personal exposure of commuters in public transport to PM<sub>2.5</sub> and fine particle counts. *Atmospher Pollut Res*.2013; 4(3): 329-335.
50. Saksena S, Quang T N, Nguyen T, Dang N P, Flachsbar P. Commuters'

- Exposure to Particulate Matter and Carbon Monoxide in Hanoi, Vietnam. *Transport Res D TR E*. 2008; 13(3): 206-211.
51. Suk Son Y, Salama A, Seon Jeong H, Kim S, Ho Jeong J, Lee J, Sunwoo Y, Chun Kim J. The effect of platform screen doors on PM10 levels in a subway station and a trail to reduce PM10 in tunnels. *Atmospher Environ*. 2013;7: 38-47.
52. Ho DX, Jeon J S, Kim J C, Kim KH. A noticeable shift in particulate matter levels after platform screen door installation in a Korean subway station. *Atmos Environ*. 2012;49: 219-223.
53. Nieuwenhuijsen MJ, Gómez-Perales JE, Colvile R N. Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems. *Atmos Environ*. 2007; 41(37): 7995-8006.