



## بررسی میزان فلزهای سنگین در ذرات معلق ( $PM_4$ ) هوای شهر تهران و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از آن‌ها

سهراب مظلومی\*، عباس اسماعیلی ساری و نادر بهرامی فر

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲

**مظلومی، س.، ع. اسماعیلی ساری و ن. بهرامی فر. ۱۳۹۹.** بررسی میزان فلزهای سنگین در ذرات معلق ( $PM_4$ ) هوای شهر تهران و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از آن‌ها. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۱): ۱-۱۶.

**سابقه و هدف:** ذرات معلق از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا در شهر تهران بوده که براساس مطالعات بیماری‌های واگیردار<sup>۱</sup>، برای سلامتی انسان بسیار مخاطره‌آمیز می‌باشند. این ذرات حاوی مقادیری از فلزهای سنگین هستند که برخی از آن‌ها جزء عنصرهای سمی سرطان‌زا محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۴ میکرومتر می‌توانند به نای، نایژه‌ها و کیسه‌های هوایی نفوذ کنند، بنابراین در این مطالعه، به بررسی میزان فلزهای سنگین همراه با  $PM_4$  در هوای تهران و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از آن‌ها پرداخته شد.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌برداری از ذرات معلق  $PM_4$  در دو منطقه مسکونی: تهرانپارس در شرق و اکباتان در غرب تهران توسط دستگاه نمونه‌بردار ذرات معلق هوای Chrono با دبی مکش ۱۰ لیتر در دقیقه، به‌طور همزمان در دو ایستگاه و هر ۶ روز یک بار انجام شد و غلظت ذرات معلق  $PM_4$  به روش وزن سنجی محاسبه شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزهای سنگین، نمونه‌ها با استفاده از محلول استخراج (شامل اسید HCl و  $HNO_3$ ) هضم شده و آماده‌سازی انجام گرفت. سپس غلظت فلزهای سنگین در نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. جهت بررسی غنای فلزی فاکتور غنی‌شدگی و برای ارزیابی ریسک سلامت فلزهای سنگین، ریسک سرطان‌زایی محاسبه شد.

**نتایج و بحث:** در هر دو ایستگاه نمونه‌برداری بالاترین غلظت در تمام نمونه‌های  $PM_4$  مربوط به آلومینیوم و آهن بود که دلیل آن فراوانی زیاد این عناصر در پوسته زمین می‌تواند باشد. نتایج سنجه غنی‌شدگی نشان داد Al، Fe، Ti و Mn همراه با ذرات معلق دارای غنی‌شدگی کم بوده ( $EF \leq 1$ ) و منشاء این فلزها به‌طور عمده پوسته زمین است. Ni و Cr دارای غنی‌شدگی بالا ( $1 < EF < 10$ ) و Zn، Cu، Pb، Sn، As و Cd دارای درجه غنی‌شدگی بسیار بالا ( $EF > 45$ ) بوده و بیشتر منشاء انسانی دارند. غلظت ذرات معلق  $PM_4$  بین دو ایستگاه شرق و غرب تفاوت معنی‌داری نداشت ولی مقایسه میانگین غلظت فلزهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های  $PM_4$  بین دو ایستگاه نشان داد که غلظت Mn، Cu، Sn، Ni در ایستگاه شرق به‌طور معنی‌دار بالاتر از ایستگاه غرب بود. مقایسه فاکتور غنی‌شدگی بین دو ایستگاه نمونه‌برداری نیز نشان داد مقادیر EF عنصرهای مورد مطالعه در ایستگاه شرق بالاتر از مقادیر آن در ایستگاه غرب بود که می‌تواند نشان از سهم بالاتر

\*Corresponding Author. Email Address: sohrab.mazloomi@gmail.com

منبع‌های انسانی در شرق نسبت به غرب باشد. در میان عنصرهای مورد مطالعه بالاترین ریسک سرطان‌زایی مربوط به Cr(VI) بود (در شرق  $61/2 \times 10^{-6}$  و در غرب  $54 \times 10^{-6}$ ) که این امر به دلیل سمیت بالای آن می‌باشد. ریسک سرطان‌زایی کل براساس میانگین مقادیر فلزهای سمی همراه با  $PM_{10}$  در ایستگاه شرق  $120/1 \times 10^{-6}$  و در ایستگاه غرب  $83/1 \times 10^{-6}$  بود.

**نتیجه‌گیری:** بسیاری از فلزهای سنگین همراه با  $PM_{10}$  شرق و غرب تهران به‌طور عمده منشاء انسانی داشته و ناشی از فعالیت‌هایی چون حمل و نقل و وسایل نقلیه هستند. میانگین غلظت برخی فلزهای سنگین همراه با  $PM_{10}$  شرق تهران بالاتر از غرب بود که در نتیجه آن، ریسک سرطان‌زایی ناشی از فلزهای سمی همراه با این ذرات نیز در شرق بالاتر از غرب است. مخاطره‌آمیزترین عنصر همراه با ذرات معلق هوای شهر تهران از نظر سرطان‌زایی Cr(VI) بود که بیشتر باید مورد توجه قرار گیرد و منبع‌های انتشار انسانی آن کنترل گردد.

**واژه‌های کلیدی:** فلزهای سنگین، ذرات معلق، فاکتور غنی‌شدگی، ارزیابی ریسک سلامت، ریسک سرطان‌زایی.

## مقدمه

می‌شود. ذرات معلق تا ۲۶ درصد مرگ و میرها را در نقاط آلوده افزایش داده و عمر را ۲ تا ۳ سال کاهش می‌دهد (Ghiasseddin, 2015). ذرات معلق ریز یا قابل استنشاق احتمال بالای نفوذ به قسمت تحتانی دستگاه تنفسی را داشته و در برونش‌ها و کیسه‌های هوایی می‌توانند باقی بمانند و در دهه‌های اخیر به دلیل اثرهای مضر آن‌ها بر سلامت انسان و لزوم کنترل منابع تولید آن‌ها مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند (Haritash and Kaushik, 2007).

عنصرهای فلزی همراه با ذرات معلق به مقادیر مختلف یافت می‌شوند. منابع طبیعی (پوسته زمین، آتش‌سوزی جنگل‌ها و اقیانوس‌ها) و منابع انسانی (فرآیندهای صنعتی، احتراق سوخت، گازهای خروجی خودروها، زباله‌سوزی، فرسایش تایرها و لنت‌های ترمز، معدنکاو و استخراج معادن، ذوب فلزها) منبع‌های انتشار فلزها در جو هستند (Hieu and Lee, 2010; Kim et al., 2014).

با توجه به اهمیت موضوع ذرات معلق و فلزهای سنگین همراه آن‌ها، مطالعاتی در این مورد در شهر تهران انجام شده است. در مطالعه‌ای که Leili et al. (2008) در مرکز شهر تهران انجام دادند، غلظت ذرات معلق کل،  $PM_{10}$  و فلزهای سنگین همراه آن‌ها شامل Cr، Pb، و Cd را اندازه‌گیری کردند که Pb بالاترین غلظت را داشت. در مطالعه‌ای که Kermaniet al. (2014) بر روی  $PM_{2.5}$  محدوده بیمارستان سینای تهران در فصل بهار انجام دادند، غلظت‌های Zn، Pb، Cd، Cr، Ni و As همراه با این ذرات به ترتیب ۶۹/۹۲، ۳۸/۰۵، ۱۸/۲، ۴/۲۴، ۴/۱۹ و ۱/۳۴  $ng/m^3$  به دست آمد.

بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از آلودگی هوا رنج می‌برند. افزایش جمعیت، تعداد وسایل نقلیه، صنایع و کارخانجات، نگهداری نامناسب وسایل نقلیه و اجرایی نشدن صحیح استانداردهای دقیق جهت انتشار آلاینده‌ها از جمله عامل‌های اصلی تشدید کننده معضل آلودگی هوا هستند. کلانشهر تهران با جمعیت در حال رشدی که دارد در اثر ترافیک سنگین وسایل نقلیه، گرمایش منازل مسکونی، صنایع کوچک و کارگاه‌ها دچار آلودگی‌های مختلف می‌گردد. همچنین شرایط جغرافیایی و آب و هوایی نامساعد شامل گردش هوای ضعیف، بادهای آرام و وارونگی‌های دمای مکرر در فصل‌های سرد، سبب تجمع بیشتر آلاینده‌های هوا در تهران می‌شود (Moeinaddini et al., 2014).

ذرات معلق از مهمترین آلاینده‌های هوا در شهر تهران بوده که براساس مطالعات بیماری‌های همه‌گیر، برای سلامتی انسان بسیار مخاطره‌آمیز است. سازمان بهداشت جهانی تخمین زده است که ذرات معلق هوا هر ساله سبب حدود ۸۰۰۰۰۰ مرگ پیش از موعد می‌شود و آن را به‌عنوان سیزدهمین عامل مرگ و میر جهانی طبقه‌بندی کرده است (Anderson et al., 2012). مطالعات نشان داده است که وقتی غلظت ذرات معلق با قطر آئرودینامیک کوچک‌تر از  $10 \mu m$ ، از  $20 \mu g/m^3$  تجاوز کند، افزایش مرگ و میر معنی‌دار می‌شود و افزایش هر  $10 \mu g/m^3$  ذرات معلق سبب افزایش مرگ و میر ۱ تا ۳ درصدی

در این مطالعه، افزون بر بررسی میزان ذرات  $PM_{10}$  و فلزهای سنگین همراه آن‌ها در هوای شهر تهران، به ارزیابی ریسک سلامت ناشی از فلزهای سمی (نیکل، آرسنیک، کروم، کادمیوم و سرب) همراه با این ذرات پرداخته شد.

### مواد و روش‌ها مکان و روش نمونه‌برداری

شهر تهران، مرکز استان تهران و پایتخت ایران با مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیت بیش از ۸۲۹۳۰۰۰ نفر، یکی از شهرهای پرتراکم جهان است. از نظر موقعیت جغرافیایی، تهران بین ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. آب و هوای تهران گرم و خشک، میانگین رطوبت نسبی هوا ۴۰٪ و باد غالب در آن غربی است (Moeinaddini *et al.*, 2014). نمونه‌برداری از ذرات معلق  $PM_{10}$  در دو منطقه مسکونی:

Kamani *et al.* (2014) ۱۳ عنصر را در نمونه‌های  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  جمع‌آوری شده از دو سکوی ایستگاه متروی تهران و هوای بیرون مجاور دو ایستگاه اندازه‌گیری کردند. فراوان‌ترین عناصر در همه نمونه‌ها Fe، Al و Ca بودند. میانگین غلظت فلزهای مورد مطالعه در سکوی ایستگاه مترو بالاتر از هوای آزاد مجاور ایستگاه بود. عناصر Zn، Pb، Cu، Cr و V درجه غنی‌شدگی بالایی نشان دادند که بیانگر منشاء انسانی آن‌هاست.

برخی از فلزهای سنگین، جزء عناصر سرطان‌زا محسوب می‌شوند به طوری که نیکل، آرسنیک و کروم در گروه A طبقه‌بندی مواد سرطان‌زای EPA قرار داشته و سه عنصر سرطان‌زا شناخته شده‌اند، کادمیوم در گروه B1 و سرب در گروه B2 طبقه‌بندی EPA قرار دارد (Greene and Morris, 2006). با توجه به اینکه ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۴ میکرومتر می‌توانند به نای، نایژه‌ها و کیسه‌های هوایی نفوذ کنند (Park *et al.*, 2008)، بنابراین



شکل ۱- دستگاه نمونه بردار ذرات معلق هوای Chrono ساخت شرکت Zambelli کشور ایتالیا  
Fig. 1- Chrono PM sampler (Zambelli, Italy)

نمونه‌برداری در هر دو منطقه در پشت بام یک ساختمان دو طبقه در ارتفاع حدود ۱۲ متری از سطح زمین انجام گرفت. نمونه‌ها بر روی فیلتر تفلونی با اندازه منافذ ۰/۴۵ میکرومتر (۲۲ نمونه از هر ایستگاه)، به صورت ۲۴ ساعته (از حدود ۸ صبح تا ۸ صبح فردا) جمع‌آوری شد. فیلترها، قبل و بعد از نمونه‌برداری برای ۴۸ ساعت در یک دسیکاتور قرار

تهرانپارس در شرق و اکباتان در غرب تهران، در زمستان و تابستان سال 2016 توسط دستگاه نمونه‌بردار ذرات معلق هوای Chrono ساخت شرکت Zambelli کشور ایتالیا (شکل ۱) با دبی مکش ۱۰ لیتر در دقیقه و مجهز به سیکلونی که قادر است  $PM_{10}$  را جداسازی نماید (شکل ۲)، به طور همزمان در دو ایستگاه و هر ۶ روز یک بار انجام شد.



شکل ۲- سیکلون جداکننده ذرات PM<sub>4</sub> و نگهدارنده فیلتر که داخل سیکلون قرار می‌گیرد

Fig. 2- PM<sub>4</sub> cyclone and filter holder

شدن ظرف، حدود ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه اضافه و اجازه داده شد تا ۳۰ دقیقه باقی بماند. سپس محلول را بعد از فیلتر کردن به ظرف دیگری منتقل کرده، حجم آن با آب دیونیزه به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد (USEPA, 1999). سپس غلظت عنصرهای موردنظر در نمونه آماده‌سازی شده توسط دستگاه ICP-MS (مدل ۷۵۰۰ Agilent) ساخت آمریکا) اندازه‌گیری شد. همزمان با انجام تمام آزمایش‌ها، نصف فیلتر فاقد نمونه به‌عنوان شاهد به همان روش، هضم و آنالیز شد. بمنظور کنترل کیفیت داده‌ها، درصد بازیابی (%R) با استفاده از افزودن محلول استاندارد و مطابق رابطه (۲) محاسبه شد:

$$\%R = \frac{Ms - Mc}{Cs} \times 100 \quad (2)$$

Ms: میانگین غلظت اندازه‌گیری شده در محلول‌های افزوده شده بعد از تصحیح نمونه خالی  
 Mc: میانگین غلظت اندازه‌گیری شده محلول افزوده نشده بعد از تصحیح نمونه خالی  
 Cs: غلظت مورد انتظار محلول افزوده شده بر پایه نوع افزودنی

همچنین انحراف استاندارد نسبی (RSD) برای همه عنصرها محاسبه شد که به‌همراه حدتشخیص دستگاه و درصد بازیابی در جدول ۱ آورده شده است.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزارهای اس پی اس اس<sup>۲</sup> و اکسل<sup>۳</sup> استفاده شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون نرمالیت شاپیرو ویلک<sup>۴</sup> تست شد و سپس با توجه به نرمال بودن یا نبودن داده‌ها از آزمون‌های پارامتریک و غیرپارامتریک جهت انجام آزمون‌های آماری در این تحقیق استفاده شد. بمنظور بررسی غنای فلزی از سنج فاکتور غنی‌شدگی استفاده گردید.

داده می‌شدند. فیلترهای حاوی ذرات بعد از نمونه‌برداری در ظرف‌های پلاستیکی قرار داده شده و تا زمان هضم و استخراج درون یخچال در دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد، نگهداری شدند.

### تعیین غلظت ذرات معلق

فیلترها قبل و بعد از نمونه‌برداری با استفاده از ترازوی دیجیتال با حد تشخیص ۰/۰۰۰۰۱ گرم وزن شده و با توجه به اختلاف وزن اولیه و وزن نهایی و همچنین حجم هوای مکش شده توسط دستگاه نمونه‌برداری، با استفاده از رابطه شماره ۱، غلظت ذرات معلق PM<sub>4</sub> محاسبه شد:

$$PM = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

در این رابطه PM غلظت ذرات معلق بر حسب  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $W_2$  وزن فیلتر بعد از نمونه‌برداری بر حسب g،  $W_1$  وزن فیلتر قبل از نمونه‌برداری بر حسب g و V حجم هوای مکش شده بر حسب  $\text{m}^3$  می‌باشد.

### آنالیز شیمیایی

جهت آماده‌سازی نمونه‌ها، نصف فیلتر شامل ذرات معلق مطابق روش EPA (IO-3.1) با استفاده از محلول استخراج (شامل اسید HCl و HNO<sub>3</sub>) به روش استخراج اسید داغ هضم گردید (USEPA, 1999). برای تهیه محلول استخراج در ۵۰۰ ml آب دیونیزه، ۵۵/۵ ml HNO<sub>3</sub> و ۱۶۷/۵ ml HCl اضافه کرده و سپس حجم آن به‌وسیله آب دیونیزه به یک لیتر رسانده شد. در این روش نصف فیلتر را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول استخراج در لوله هضم قرار داده، در آن با شیشه ساعت پوشانده و روی هیتر به مدت تقریبی یک ساعت تا حدود ۱۰۰°C حرارت داده شد. بعد از خنک

جدول ۱- حد تشخیص دستگاه، درصد بازیابی و انحراف استاندارد نسبی برای عنصرهای اندازه گیری شده  
Table1. LOD, %Recovery and %RSD of the measured elements

عنصر Element	حد تشخیص (ppb) LOD (ppb)	درصد بازیابی %R	انحراف استاندارد نسبی %RSD
Ni	0.3	103	7
Cu	1.5	104	7
Zn	0.3	96	6
As	0.3	93	8
Cd	0.3	94	9
Sn	1.5	105	5
Ti	1.5	104	7
Pb	0.3	96	9
Cr	0.3	105	9
Mn	1.5	96	7
Fe	1.5	105	6
Al	1.5	103	7

که عناصر موجود در نمونه مورد نظر منشأ طبیعی دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسانی به وجود آمده‌اند (Atiemo *et al.*, 2011). اگر EF عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی دارد و پوسته زمین منشأ اصلی آن است. هر چه EF بزرگ‌تر شود، سهم منابع غیرپوسته‌ای و عامل‌های انسانی بیشتر می‌شود. به طوری که برای عناصری که EF آن‌ها بزرگتر از ۱۰ باشد سهم عامل‌های انسانی در ایجاد آن بیشتر از عامل‌های طبیعی است و EF بالای ۴۵ نشان می‌دهد که بخش عمده منشأ عنصر از منابع‌های غیرپوسته‌ای و عامل‌های انسانی است (Kamani *et al.*, 2014).

معمولاً Si، Al یا Fe به عنوان عنصر رفرنس استفاده می‌شوند (Haritash and Kaushik, 2007). در این مطالعه آلومینیوم به عنوان عنصر رفرنس در نظر گرفته شد چرا که منابع‌های انسانی انتشار آن به اتمسفر ناچیز و قابل صرف نظر است.

#### ارزیابی ریسک سلامت

برای انجام ارزیابی ریسک سلامت، دو مساله باید مورد توجه قرار گیرد: ۱- افراد در یک دوره زمانی مشخص چه مقدار آلاینده تنفس می‌کنند که به طور معمول به صورت میزان آلاینده به ازاء واحد حجم هوای اندازه‌گیری شده بیان می‌شود. ۲- بیماری‌ها و مشکل‌های مرتبط با سلامتی

سنجه غنی‌شدگی<sup>۶</sup>: سنجه غنی‌شدگی توسط محققان مختلف برای ارزیابی آلودگی فلزهای سنگین در بخش‌های مختلف محیط زیست استفاده شده است (Loska *et al.*, 2003; Manno *et al.*, 2006; Faiz *et al.*, 2009; Lu *et al.*, 2009; Addo *et al.*, 2012; Rashki *et al.*, 2013; Sištani *et al.*, 2017). سنجه غنی‌شدگی فرمولی جهان شمول و ابزاری ساده و آسان برای ارزیابی درجه غنی‌شدگی و مقایسه آلودگی‌های مختلف محیط زیستی است و مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Kamani *et al.*, 2014; Sištani *et al.*, 2017):

$$EF = [E/R]_{\text{sample}} / [E/R]_{\text{crust}} \quad (3)$$

در این رابطه  $E_{\text{sample}}$  غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه،  $R_{\text{sample}}$  غلظت عنصر رفرنس اندازه‌گیری شده در نمونه،  $E_{\text{crust}}$  غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در پوسته زمین و  $R_{\text{crust}}$  غلظت عنصر رفرنس اندازه‌گیری شده در پوسته زمین است. محققان مختلف اطلاعات مربوط به میانگین غلظت عناصر در پوسته زمین را از منابع‌های معتبر منتشر شده در این زمینه گرفته‌اند (Hieu and Lee, 2010; Saeed *et al.*, 2012; Kamani *et al.*, 2014; Soltani *et al.*, 2015). در این مطالعه برای اخذ اطلاعات مربوطه از کتاب راهنمای شیمی و فیزیک (Lide, 2004) استفاده شد. با محاسبه فاکتور غنی‌شدگی می‌توان ارزیابی کرد

در این رابطه  $ECR_{inh}$  ریسک سرطان‌زایی از طریق تنفس،  $C_x$  غلظت عنصر سمی ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )،  $UR_{inh}$  واحد ریسک از راه تنفس  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  می‌باشد. اطلاعات در مورد اشکال سرطان‌زای فلزهای سنگین و واحد ریسک آن‌ها از سیستم اطلاعات یکپارچه ریسک آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۸</sup> اخذ گردید (که در آدرس <http://www.epa.gov/iris> قابل دسترس است).

### نتایج و بحث

#### غلظت ذرات معلق $PM_4$

مقادیر غلظت  $PM_4$  مربوط به هر یک از نمونه‌های برداشت شده در دو فصل زمستان و تابستان در دو ایستگاه نمونه‌برداری شرق و غرب در جدول ۲ و میانگین غلظت  $PM_4$  و دیگر آماره‌های توصیفی مربوطه در جدول ۳ نشان

که به‌وسیله آلاینده ایجاد می‌شود که بیشتر به طبقه‌بندی آلاینده از نظر بیماری‌زایی و پتانسیل آن برای ایجاد سرطان اشاره دارد (Greene and Morris, 2006).

جهت ارزیابی ریسک سلامت فلزهای سنگین در ذرات معلق هوای تهران، ریسک سرطان‌زایی<sup>۹</sup> محاسبه شد. ریسک سرطان‌زایی (ECR) با استفاده از واحد ریسک و غلظت فلزهای سمی همراه با ذرات معلق محاسبه می‌شود. واحد ریسک به این معنی است که اگر غلظت یک آلاینده یک واحد ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) افزایش یابد، احتمال وقوع تاثیر منفی ناشی از آن بر سلامتی انسان به چه میزان است. براساس دستورالعمل EPA در مورد ارزیابی ریسک سرطان، روش محاسبه ECR مطابق رابطه زیر است (Park et al., 2008):

$$ECR_{inh} = C_x \times UR_{inh} \quad (4)$$

جدول ۲- غلظت ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  $PM_4$  مربوط به هر یک از نمونه‌های برداشت شده در دو ایستگاه نمونه‌برداری شرق و غرب  
Table 2.  $PM_4$  concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in samples of eastern and western stations

ایستگاه نمونه‌برداری اکباتان Ekbatan sampling station	ایستگاه نمونه‌برداری تهرانپارس Tehranpars sampling station	شماره نمونه Sample No.	زمان نمونه‌برداری Sampling time
67.7	49.6	1	
53.1	45.8	2	
48.17	48.99	3	
18.85	15.62	4	
37.87	64.1	5	زمستان
27.68	37.84	6	Winter
25.01	41.6	7	
37.78	36	8	
53.19	43.78	9	
26.5	34	10	
79.53	94.31	11	
53.74	53.57	12	
47.11	37.86	13	
83.24	78.64	14	
47.34	62.97	15	
53.6	29.75	16	
52.46	77.42	17	تابستان
73.66	71.1	18	Summer
78.02	67.1	19	
113.81	63.44	20	
53.42	51.2	21	
40.83	32.9	22	

جدول ۳- آماره‌های توصیفی مربوط به غلظت  $PM_4$  ( $\mu g/m^3$ ) در دو ایستگاه نمونه‌برداری شرق و غرب تهران  
 Table 3. Descriptive statistics of  $PM_4$  concentration ( $\mu g/m^3$ ) in the eastern and western stations

انحراف استاندارد SD	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Mean	ایستگاه نمونه برداری Sampling station
18.9	94.3	15.6	51.7	شرق (تهرانپارس) East (Tehranpars)
22.5	113.8	18.8	53.3	غرب (اکباتان) West (Ekbatan)

در ایستگاه‌های نمونه برداری به‌طور عمده مربوط می‌شود به  $Zn$ ،  $Pb$  و  $Cu$ . پایین‌ترین غلظت مربوط به  $Cd$  بود (در ایستگاه نمونه‌برداری غرب غلظت  $Cd$  به اندازه‌ای پایین بود که تشخیص داده نشد).

برای مقایسه میانگین غلظت عنصرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های  $PM_4$  بین دو ایستگاه، برای داده‌های نرمال از آزمون  $t$  غیرجفتی و برای داده‌های غیرنرمال از آزمون من ویتنی یو<sup>۱</sup> استفاده شد. نتایج نشان داد غلظت  $Pb$ ،  $Cr$ ،  $Al$  و  $Zn$  در  $PM_4$  بین دو ایستگاه تفاوت معنی‌دار نداشتند در حالی که غلظت بقیه عنصرها در  $PM_4$  بین دو ایستگاه دارای تفاوت معنی‌دار بودند. غلظت  $Mn$ ،  $Cu$ ،  $Sn$ ،  $Ni$  و  $As$

داده شده است. برای مقایسه میانگین غلظت ذرات بین دو ایستگاه، با توجه به نرمال بودن داده‌ها از آزمون  $t$  غیرجفتی<sup>۱</sup> استفاده شد که نشان داد غلظت  $PM_4$  بین دو ایستگاه شرق و غرب تفاوت معنی‌داری ندارد.

#### غلظت فلزهای همراه با ذرات معلق $PM_4$

میانگین غلظت عنصرهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های  $PM_4$  هر دو ایستگاه نمونه‌برداری شرق و غرب تهران، در جدول ۴ نشان داده شده است. در هر دو ایستگاه نمونه‌برداری بالاترین غلظت در تمام نمونه‌های  $PM_4$  مربوط به آلومینیوم و آهن بود. بعد از آلومینیوم و آهن، غلظت‌های بالای دیگر

جدول ۴- میانگین و انحراف استاندارد غلظت فلزهای همراه با  $PM_4$  (برحسب  $ng/m^3$ ) در ایستگاه نمونه‌برداری شرق و غرب  
 Table 4. The mean and SD of metals concentrations in  $PM_4$  ( $ng/m^3$ ) at sampling stations

غرب (اکباتان) West (Ekbatan)		شرق (تهرانپارس) East (Tehranpars)		عناصر Element
انحراف استاندارد SD	میانگین Mean	انحراف استاندارد SD	میانگین Mean	
2188.5	2629.9	1993.4	3618.1	Al
23.4	49	8	14.7	Ti
14.2	31.3	17.7	35.9	Cr
12.1	26.5	22.8	68.1	Mn
768.6	2180.1	702.1	1543.4	Fe
4.3	9.5	8.6	21.5	Ni
7	18.9	17.8	62	Cu
63	210.5	146.7	296.6	Zn
2.1	6.1	3.6	11	As
-	-	0.3	3.1	Cd
1.8	3.7	6	17	Sn
30.7	49.7	25.9	72.7	Pb

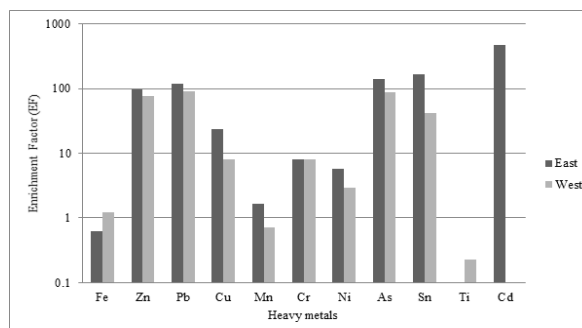
آهن و آلومینیوم بودند. همچنین در این مطالعه عنصرهای Pb, Zn, Cu, Cr و V درجه غنی‌شدگی بالایی نشان دادند که بیانگر منشاء انسانی آن‌هاست. Zn به‌عنوان فعال کننده طی پروسه جوش‌دادن و محکم کردن لاستیک استفاده می‌شود و بنابراین در شهر تهران به‌طور عمده در اثر فرسایش تایر وسایل نقلیه تولید می‌گردد. مصرف بنزین دارای سرب (در گذشته)، فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) از منبع‌های اصلی آلودگی محیط زیست شهری به سرب به‌شمار می‌روند (Smichowski *et al.*, 2007). فرسایش وزنه‌های سربی بالانس چرخ‌های وسایل نقلیه موتوری، به‌عنوان منبع مهم در زمینه انتشار و تجمع سرب در خیابان‌ها به‌حساب آمده و از سال ۲۰۰۵ استفاده از آن‌ها در اروپا برای وسایل نقلیه جدید ممنوع شده است (Root, 2000; Bleiwas, 2006). ترکیب‌های مس در روغن‌ها به‌عنوان مواد ضد فرسایش استفاده می‌شوند. این ترکیب‌ها لایه محافظی روی سطوح موتور ایجاد می‌کنند که از اصطکاک کاسته و از صدمات ناشی از سایش بین قسمت‌های مختلف موتور جلوگیری می‌کند (Okorie *et al.*, 2012). آرسنیک فلزی در تولید آلیاژ سرب و مس و فولاد و همچنین در صنعت الکترونیک استفاده می‌شود. قلع در لحیم‌کاری مصرف زیادی دارد. همچنین در تولید بسیاری از آلیاژها مانند برنز و مفرغ مورد استفاده قرار می‌گیرد. کادمیوم نیز در ساخت باتری، پلاستیک و مصالح ساختمانی استفاده می‌شود (Wei *et al.*, 2010). از آنجا که هر دو ایستگاه نمونه‌برداری

در ایستگاه شرق بالاتر از غرب بودند و Fe و Ti در ایستگاه غرب غلظت بالاتری نشان دادند. مجموع غلظت عنصرهای اندازه‌گیری شده در این مطالعه به کل غلظت جرمی ذرات PM<sub>4</sub> در ایستگاه نمونه‌برداری شرق ۱۱/۲ درصد و در ایستگاه نمونه‌برداری غرب ۹/۸ درصد بود.

مقادیر EF محاسبه شده برای عنصرهای همراه با PM<sub>4</sub> در دو ایستگاه نمونه‌برداری تهرانپارس (شرق) و اکباتان (غرب) در شکل ۳ نشان داده شده است. برای تمام نمونه‌های ذرات معلق در ایستگاه نمونه‌برداری شرق مقادیر EF برای Fe, Al, Ti و در ایستگاه نمونه‌برداری غرب برای Al, Mn و Ti مساوی یا کوچک‌تر از یک بود که به معنی غنی‌شدگی کم آن‌ها بوده و نشان دهنده این است که منشاء این فلزها بیشتر از پوسته زمین است.

مقادیر EF بین ۱ تا ۱۰ برای فلزهایی مانند Ni و Cr نشان می‌دهد که منشاء این عنصرها هم منبع‌های پوسته‌ای و هم منبع‌های انسانی است. در مورد Cr با توجه به بالاتر بودن EF منشاء انسانی غالب‌تر است. از آنجا که کروم می‌تواند از دیگر فلزها در برابر خوردگی محافظت کند، بیشترین کاربرد آن در ساخت فولاد ضد زنگ و آبکاری است (Esmaili Sari, 2002).

در ایستگاه نمونه‌برداری شرق عنصرهای Zn, Pb, As, Sn و Cd و در ایستگاه نمونه‌برداری غرب عنصرهای Zn, Pb و As دارای EF بزرگ‌تر از ۴۵ هستند. این امر نشان دهنده آن است که این عناصر به‌شدت غنی شده بوده و بخش عمده منشاء آن‌ها از منبع‌های غیرطبیعی است. در مطالعه‌ای که Kamani *et al.* (2014) در تهران انجام دادند نیز فراوان‌ترین عناصر در نمونه‌های PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub>



شکل ۳- مقادیر EF برای فلزهای همراه با PM<sub>4</sub> در ایستگاه نمونه‌برداری شرق و غرب  
Fig. 3- EF values of the metals in PM<sub>4</sub> at the eastern and western stations



تهران گردد.

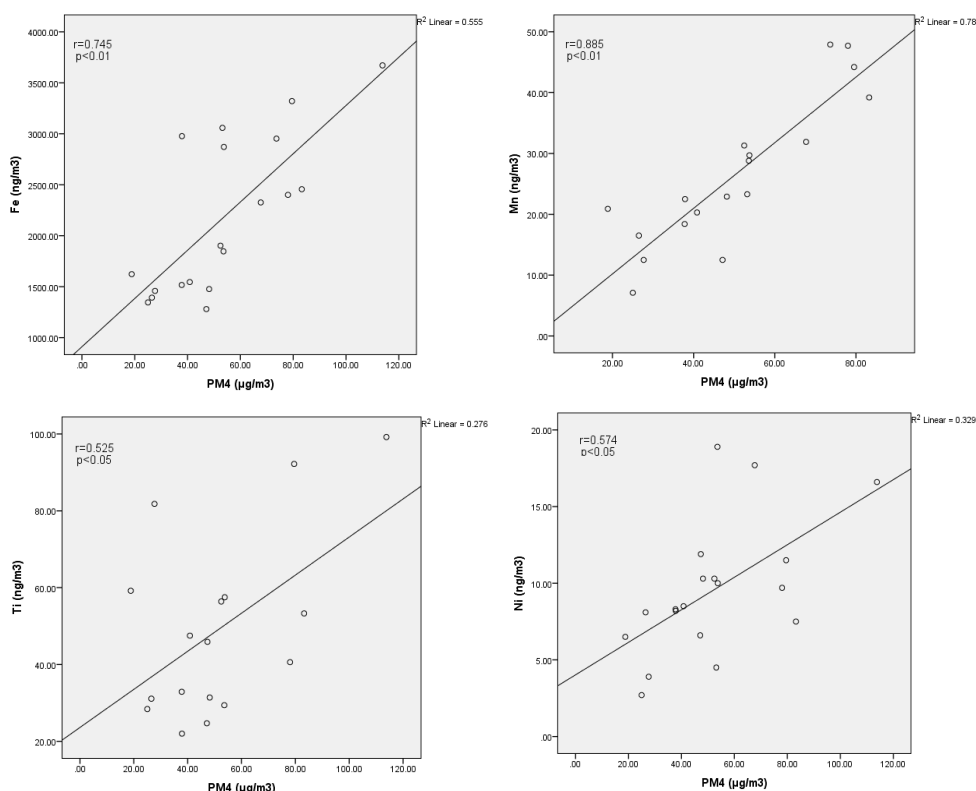
در دو ایستگاه مورد مطالعه، رابطه بین غلظت  $PM_4$  و غلظت فلزهای موجود در آن با استفاده از آزمون همبستگی بررسی شد. در ایستگاه غرب همبستگی پیرسون نشان داد که غلظت  $PM_4$  با غلظت Fe، Mn، Ti و Ni که به طور عمده منشأ طبیعی دارند، همبستگی مثبت معنی دار داشت (شکل ۴). در ایستگاه شرق همبستگی پیرسون نشان داد که غلظت  $PM_4$  افزون بر Fe با غلظت Zn و Cr که بیشتر منشأ انسانی دارند، همبستگی مثبت معنی دار داشت (شکل ۵). همبستگی بیشتر  $PM_4$  با فلزها با منشأ غیرطبیعی در ایستگاه شرق می تواند نشان دهنده سهم بالاتر منبع های انسانی به عنوان منشأ این ذرات معلق در شرق باشد.

#### ارزیابی ریسک سرطان

در میان عنصرهای مورد مطالعه As، Pb، Ni، Cr، Cd به عنوان فلزهای سمی برای انسان به ویژه از طریق تنفس محسوب می شوند (Greene and Morris, 2006). براساس

در این مطالعه در مناطق مسکونی شهر تهران واقع شده اند، انتشارهای ناشی از حمل و نقل و وسایل نقلیه بیشتر منشأ این عنصرها می باشند.

مقایسه غلظت عنصرهای Zn، Pb، Cu، Cr، Ni و Sn که بیشتر ناشی از وسایل نقلیه می باشند، در نمونه های  $PM_4$  بین دو ایستگاه نمونه برداری شرق و غرب تهران نشان داد که میانگین غلظت Sn، Cu و Ni در  $PM_4$  شرق به طور معنی دار بالاتر از  $PM_4$  غرب است. این امر می تواند در اثر ترافیک بیشتر و تراکم زیادتر وسایل نقلیه در محدوده ایستگاه نمونه برداری شرق تهران باشد. مقایسه فاکتور غنی شدگی بین دو ایستگاه نمونه برداری شرق و غرب نیز نشان داد مقادیر EF عناصر مورد مطالعه برای نمونه های  $PM_4$  در ایستگاه شرق بالاتر از مقادیر آن در ایستگاه غرب بود که می تواند نشان از سهم بالاتر منبع های انسانی در شرق نسبت به غرب باشد. ضمن اینکه از آنجایی که جهت باد غالب در تهران از غرب به شرق است، می تواند به طور عمده سبب انباشت آلاینده ها در شرق



شکل ۴- تغییرات غلظت  $PM_4$  نسبت به غلظت Fe، Mn، Ti و Ni موجود در آن در ایستگاه نمونه برداری غرب  
Fig. 4- Changes in  $PM_4$  concentration in relation to the concentration of Fe, Mn and Ni at the western station

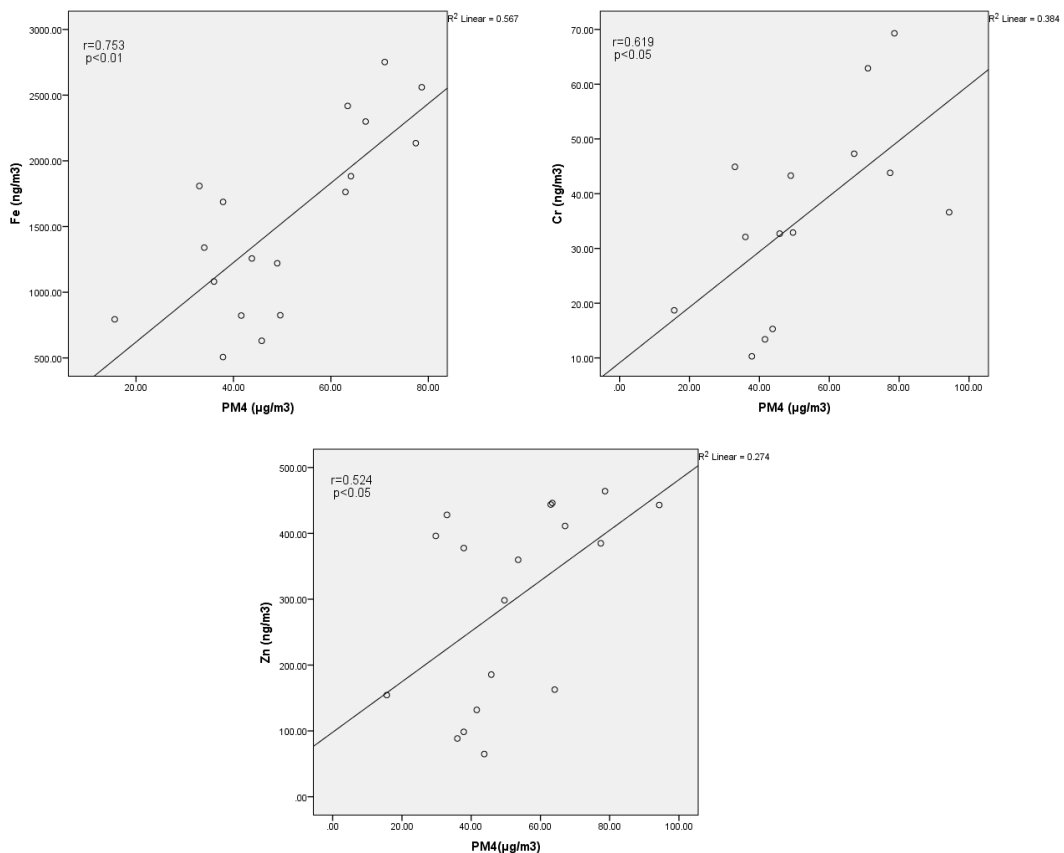
مطالعه بالاترین ECR مربوط به Cr (VI) و پایین ترین ECR مربوط به Pb بود. ECR کل براساس میانگین مقادیر Cr، As، Ni، Cd و Pb در PM<sub>4</sub> در ایستگاه نمونه برداری شرق و ایستگاه نمونه برداری غرب تهران به ترتیب ۱۰<sup>-۶</sup>/۱۲۰ و ۱۰<sup>-۶</sup>/۸۳ بود که بدین معناست که در اثر تماس با فلزهای سمی همراه با PM<sub>4</sub>، در شرق تهران ۱۲ نفر در ۱۰۰۰۰۰ نفر و در غرب تهران ۸ نفر در ۱۰۰۰۰۰ نفر می توانند مبتلا به سرطان گردند.

در میان پنج عنصر سمی و سرطان زای مورد مطالعه، بالاترین غلظت مربوط به Pb بود. در تحقیقی که Kermani *et al.* (2014) روی PM<sub>2.5</sub> محدوده بیمارستان سینای تهران انجام دادند نیز از بین این عناصر Pb دارای بالاترین غلظت بود. با این حال، در این مطالعه Pb پایین ترین ریسک سرطان زایی (ECR) را نشان داد که دلیل آن، به سمیت کمتر آن مربوط می شود.

در میان عناصر مورد مطالعه بالاترین ریسک سرطان زایی مربوط به Cr (VI) بود. این امر به دلیل سمیت بالا و بالاتر بودن واحد

طبقه بندی EPA برای مواد سمی، Cr (VI) یک ماده سرطان زای شناخته شده از طریق تنفس محسوب شده و در گروه A قرار می گیرد در حالی که Cr (III) به عنوان ماده سرطان زا طبقه بندی نمی شود. کروم اندازه گیری شده در این مطالعه به وسیله ICP-MS کروم کل است و مشخص شده است که نسبت غلظت Cr (VI) سرطان زا به Cr (III) غیر سرطان زا در هوای آزاد تقریباً ۱:۶ است. بنابراین غلظت Cr (VI) مورد استفاده برای ارزیابی ریسک سرطان زایی به صورت یک هفتم غلظت کل محاسبه شد (Park *et al.*, 2008). نیکل نیز به اشکال مختلف وجود دارد. در این مطالعه فرض بر این قرار گرفت که تمام آن به شکل نیکل غباری است که اشکال دیگر نیکل مانند اکسید نیکل و نیکل فلزی را نیز شامل می شود و EPA آن را به عنوان ماده سرطان زای انسانی شناخته شده، در گروه A طبقه بندی کرده است (Hieu and Lee, 2010).

جدول ۵، ECR برآورد شده برای عنصرهای سمی همراه با ذرات معلق PM<sub>4</sub> را نشان می دهد. در میان عنصرهای مورد



شکل ۵- تغییرات غلظت PM<sub>4</sub> نسبت به غلظت Fe، Cr و Zn موجود در آن در ایستگاه نمونه برداری شرق  
 Fig. 5- Changes in the PM<sub>4</sub> concentration in relation to the concentration of Fe, Cr and Zn at the eastern station

جدول ۵- ریسک سرطان زایی (ECR) فلزهای سمی همراه با  $PM_4$  شرق و غرب تهران  
 Table 5. The excess cancer risk (ECR) of the toxic metals in  $PM_4$  at the east and west of Tehran

ریسک سرطان زایی ( $10^{-6}$ ) ECR( $10^{-6}$ )		واحد ریسک تنفسی ( $\mu g/m^3$ ) <sup>-1</sup> Inhalation unit risk	غلظت ( $ng/m^3$ ) Concentration ( $ng/m^3$ )		عناصر Elements
غرب West	شرق East		غرب West	شرق East	
54	61.2	$1.2 \times 10^{-2}$	31.3	35.9	Cr
26.2	47.3	$4.3 \times 10^{-3}$	6.1	11	As
-	5.6	$1.8 \times 10^{-3}$	-	3.1	Cd
2.3	5.2	$2.4 \times 10^{-4}$	9.5	21.5	Ni
0.6	0.87	$1.2 \times 10^{-5}$	49.7	72.7	Pb

شرق بالاتر از غرب است. در میان فلزهای سمی همراه با  $PM_4$ ، بالاترین غلظت مربوط به Pb ولی بالاترین ریسک سرطان زایی مربوط به Cr(VI) بود. بنابراین مخاطره آمیزترین عنصر همراه با ذرات معلق هوای شهر تهران از نظر سرطان زایی Cr(VI) است که بیشتر باید مورد توجه قرار گرفته و منابع انتشار انسانی آن کنترل گردد.

### سپاسگزاری

از دانشگاه تربیت مدرس که در تامین بودجه، امکانات و تجهیزات مورد نیاز انجام این تحقیق نقش اصلی را عهده دار بوده است، تشکر و قدردانی می گردد.

### پی نوشت ها

- 1 Epidemiologic
- 2 TSP
- 3 MBI scitatsSSPS 21
- 4 Excel
- 5 Shapiro-Wilk
- 6 Enrichment Factor
- 7 Excess cancer risk
- 8 USA EPA IRIS Risk
- 9 Independent samples t-test
- 10 Mann-Whitney U

Addo, M., Darko, E., Gordon, C., Nyarko, B. and Gbadago, J., 2012. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-south district, Ghana. International Journal of Science and Technology. 2, 28-39.

ریسک آن است به طوری که یک ماده سرطان زای شناخته شده از طریق تنفس محسوب می شود. در مطالعه ای که Hieu (2010) و Lee در اولسان کره جنوبی انجام دادند و ECR را برای Ni و Cd، Cr(VI) در ذرات  $PM_1$ ،  $PM_{2.5}$  و  $PM_4$  محاسبه کردند، Cr(VI) بالاترین ریسک سرطان زایی را نشان داد. در مطالعه Park *et al.* (2008) در شهر ستول روی Cr(VI) و Cd، Cr(VI) و As در  $PM_{2.5}$  نیز بالاترین ریسک سرطان زایی مربوط به Cr(VI) بود. براساس ECR کل محاسبه شده، ریسک سرطان زایی فلزهای سمی همراه با  $PM_4$  در شرق تهران بالاتر از غرب است که دلیل آن بالاتر بودن میانگین غلظت فلزهای سمی همراه با  $PM_4$  در شرق تهران بود.

### نتیجه گیری

بررسی فلزهای سنگین در  $PM_4$  شرق و غرب تهران نشان داد عنصرهایی مانند Zn، Pb، Cu، Cr، As و Cd به طور عمده منشأ غیرطبیعی داشته و ناشی از فعالیت های انسانی به ویژه حمل و نقل و وسایل نقلیه هستند. میانگین غلظت فلزهای سنگین در  $PM_4$  شرق تهران بالاتر از غرب بود که در نتیجه آن، ریسک سرطان زایی ناشی از فلزهای سمی همراه با این ذرات نیز در

### منابع

Anderson, J.O., Thudiyil, J.G. and Stolbach, A., 2012. Clearing the air: A review of the effects of particulate matter air pollution on human health. Journal of Medical Toxicology. 8, 166-175.

- Atiemo, M.S., Ofosu, G.F., Kuranchie-mensah, H., Tutu, A.O., Palm, N. and Blankson, S.A., 2011. Contamination assessment of heavy metals in road dust from selected roads in Accra, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. 3, 473-480.
- Bleiwas, D.I., 2006. Stocks and flows of lead-based wheel weights in the United States. USGS Research Report. USA.
- Esmaili Sari, A., 2002. Pollution, health and environmental standards, First ed. Naghshe Mehr Press, Tehran. (In Persian with English abstract).
- Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M.T. and Chaudhry, M., 2009. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 92, 186-192.
- Ghiasseddin, M., 2015. Air Pollution, second ed. University of Tehran Press, Tehran. (In Persian with English abstract).
- Greene, N.A. and Morris, V.R., 2006. Assessment of public health risks associated with atmospheric exposure to PM<sub>2.5</sub> in Washington, DC, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 3, 86-97.
- Haritash, A. and Kaushik, C., 2007. Assessment of seasonal enrichment of heavy metals in respirable suspended particulate matter of a sub-urban Indian city. *Environmental Monitoring and Assessment*. 128, 411-420.
- Hieu, N.T. and Lee, B.K., 2010. Characteristics of particulate matter and metals in the ambient air from a residential area in the largest industrial city in Korea. *Atmospheric Research*. 98, 526-537.
- Kamani, H., Hoseini, M., Seyedsalehi, M., Mahdavi, Y., Jaafari, J. and Safari, G.H., 2014. Concentration and characterization of airborne particles in Tehran's subway system. *Environmental Science and Pollution Research*. 21, 7319-7328.
- Kermani, M., Arfacinia, H., Nabizade, R., Alimohammadi, M., Alamolhoda, A.A., Bahramiasl, F. and Shahsoni, A., 2014. Study on concentration of particulate matter with diameter less than 10 Microns, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons related to PM<sub>2.5</sub> in the Ambient Air of Sina Hospital District. *Journal of Environmental Health Engineering*. 1, 93-103.
- Kim, Y.H., Kim, K.H., Ma, C.J., Shon, Z.H., Park, C.G., Song, S.K., Ro, C.U. and Brown, R.J., 2014. An investigation into the relationship between the major chemical components of particulate matter in urban air. *Chemosphere*. 95, 387-394.
- Leili, M., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Yunesian, M. and Mesdaghinia, A., 2008. The study of TSP and PM<sub>10</sub> concentration and their heavy metal content in central area of Tehran, Iran. *Air Quality, Atmosphere and Health*. 1, 159-166.
- Lide, D.R., 2004. Handbook of Chemistry and Physics, First ed. CRC press, Florida, USA.
- Loska, K., Wiechula, D., Barska, B., Cebula, E. and Chojnecka, A., 2003. Assessment of arsenic enrichment of cultivated soils in Southern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*. 12, 187-192.
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J. and Zhai, Y., 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 161, 1058-1062.
- Manno, E., Varrica, D. and Dongarra, G., 2006. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment*. 40, 5929-5941.
- Moeinaddini, M., Sari, A.E., Bakhtiari, A.R., Chan, A.Y.C., Taghavi, S.M., Conell, D. and Hawker, D., 2014. Sources and health risk of organic compounds

in respirable particles in Tehran, Iran. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 34, 469-492.

Okorie, A., Entwistle, J. and Dean, J.R., 2012. Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing. *Chemosphere*. 86, 460-467

Park, E.J., Kim, D.S. and Park, K., 2008. Monitoring of ambient particles and heavy metals in a residential area of Seoul, Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*. 137, 441-449.

Rashki, A., Erikson, P., Rautenbach, C.D.W., Kaskaoutis, D., Grote, W. and Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*. 90, 227-236.

Root, R.A., 2000. Lead loading of urban streets by motor vehicle wheel weights. *Environmental Health Perspectives*. 108, 937-948.

Saeesi, M., Li, L.Y. and Salmanzadeh, M., 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*. 227, 9-17.

Sistani, N., Moeinaddini, M., Khorasani, N., Hamidian, A., Ali-Taleshi, M. and Azimi Yancheshmeh, R., 2017. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *Iranian Journal of Health and Environment*. 10, 75-86.

Smichowski, P., Gómez, D., Frazzoli, C. and Caroli, S., 2007. Traffic-Related elements in airborne particulate matter. *Applied Spectroscopy Reviews*. 43, 23-49.

Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Tavakol, T., Lahijan-zadeh, A.R., Jaafarzadeh, N. and Kermani, M., 2015. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of The Total Environment*. 505, 712-723.

USEPA, 1999. Method IO-3.1: Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air. Available online at: <http://www.epa.gov>.

Wei, B., Jiang, F., Li, X. and Mu, S., 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 160, 33-45.





Environmental Sciences Vol.18/ No.1/ Spring 2020

1-16

## Assessment of heavy metals in Tehran's airborne particulate matters (PM<sub>4</sub>) and their associated health risk

Sohrab Mazloomi\*, Abbas Esmacili Sari and Nader Bahramifar

Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Nour, Mazandaran, Iran

Received: 2018.08.15      Accepted: 2020.01.22

**Mazloomi, S., Esmacili Sari, A. and Bahramifar, N., 2020.** Assessment of heavy metals in Tehran's airborne particulate matters (PM<sub>4</sub>) and their associated health risk. *Environmental Sciences*. 18(1): 1-16.

**Introduction:** Particulate matters are one of the most important air pollutants in Tehran and very dangerous for human health according to the epidemiological studies. The ambient particles contain heavy metals, some of which are toxic and carcinogenic components. Therefore, in this study, the content of heavy metals in airborne particulate matters (PM<sub>4</sub>) of Tehran was measured and the related health risk was assessed.

**Material and methods:** Sampling of PM<sub>4</sub> was conducted every six days using Chrono PM Sampler with a 10 L/min flow rate at two residential areas including Tehranpars in the east and Ekbatan in the west of Tehran. The concentration of PM<sub>4</sub> was calculated with Gravimetric analysis. After the preparation of the samples using the extraction solution (HCl and HNO<sub>3</sub>), the concentration of heavy metals was measured by ICP-MS. The metal richness was assessed using the enrichment factor. For health risk assessment of heavy metals in PM<sub>4</sub>, excess cancer risk was calculated.

**Results and discussion:** At both sampling stations, the highest concentrations in all PM<sub>4</sub> samples were related to Al and Fe due to the high abundance of these elements in the earth's crust. The results of the enrichment factor indicated that Al, Fe, Ti and Mn in PM<sub>4</sub> had low enrichment degree and the source of these metals might mainly be the earth's crust. Ni and Cr had a high enrichment degree. In addition, Zn, Pb, Cu, Sn, As, and Cd had a very high enrichment degree and were mainly anthropogenic. The concentration of PM<sub>4</sub> was not significantly different between the two stations in the east and west, but the comparison of the mean concentration of metals in PM<sub>4</sub> samples between the two stations showed that the concentrations of Mn, Cu, Sn, Ni, and As at the eastern station were significantly higher than the western station. The comparison of the enrichment factor between the two sam-

\*Corresponding Author. *Email Address:* sohrab.mazloomi@gmail.com

pling stations also showed that the EF values of the studied elements at the eastern station were higher than those at the western station, which could indicate a higher contribution of anthropogenic sources in the east. Among the studied elements, the highest excess cancer risk was related to Cr(VI) due to its high toxicity. The total excess cancer risk based on the average concentrations of toxic metals in PM<sub>4</sub> was  $120.1 \times 10^{-6}$  at the eastern station and  $83.1 \times 10^{-6}$  at the western station.

**Conclusion:** Most of heavy metals in PM<sub>4</sub> in the east and west of Tehran had mainly anthropogenic sources and were generated by human activities, especially transportation. The average concentration of heavy metals in PM<sub>4</sub> at the east of Tehran was higher than the west, and as a result, the excess cancer risk of toxic metals in PM<sub>4</sub> was also higher in the east. The most dangerous carcinogenic element in particulate matters of Tehran was Cr(VI), which should be taken more under consideration and its anthropogenic emission sources must be controlled.

**Keywords:** Heavy metals, Particulate matter, Enrichment factor, Health risk assessment, Excess cancer risk.

