



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

ارزیابی میزان حضور فلزات و شبه فلزات در گرد و غبار خیابانی غرب و شرق تهران

سهراب مظلومی^{۱*}، عباس اسماعیلی ساری^۱، نادر بهرامی فر^۱، مظاهر معین الدینی^۲
۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

اطلاعات مقاله:	چکیده
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۲۸	زمینه و هدف: گرد و غبار خیابانی یکی از منابع مهم ورود ذرات معلق و فلزات سنگین همراه آنها به اتمسفر است. این مطالعه با هدف بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر تهران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی آنها انجام شد.
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۵/۳۱	روش بررسی: نمونه برداری از گرد و غبار خیابانی در شرق و غرب تهران انجام و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین بوسیله دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. میزان آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار خیابانی با استفاده از شاخص زمین انباشتگی، شاخص آلودگی، شاخص آلودگی تجمعی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص ریسک اکولوژیک ارزیابی شد.
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۴	یافته‌ها: شاخص‌ها نشان دادند گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه مورد مطالعه از نظر عناصر $Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr$ و Ba غیرآلوده بوده و منشاء این عناصر عمدتاً منابع طبیعی است اما عناصر Pb, Sn, Zn, As, Cu, Cd آلودگی متوسط تا بالایی نشان دادند. این عناصر در هر دو منطقه درجه غنی‌شدگی بسیار بالا تا شدیداً بالا داشتند و منشا آنها عمدتاً منابع آنتروپوژنیک است. شاخص ریسک اکولوژیک برای منطقه شرق ریسک اکولوژیکی متوسط و برای منطقه غرب ریسک اکولوژیکی پایین نشان داد.
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۶/۲۹	نتیجه‌گیری: بالاتر بودن میزان Pb در منطقه نمونه برداری شرق باعث شده است که این منطقه ریسک اکولوژیکی بالاتری نشان دهد. لذا گرد و غبار خیابانی در این منطقه از نظر آلودگی به فلزات سنگین به‌ویژه Pb و منابع ورود آن به محیط باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.
واژگان کلیدی: گرد و غبار خیابانی، شاخص زمین انباشتگی، شاخص آلودگی، شاخص آلودگی تجمعی، فاکتور غنی‌شدگی	
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sohrab.mazloomi@gmail.com	

مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعه در خصوص آلودگی هوا به ویژه در محیط زیست شهری تا حد زیادی روی گرد و غبار راسب شونده در خیابان‌ها و جاده‌ها متمرکز شده است. خاک‌های سطحی، گرد و غبار خیابان‌ها و جاده‌ها از شاخص‌های آلاینده‌های محیط زیست‌های شهری به حساب می‌آیند (۱، ۲). گرد و غبار خیابانی یا ذرات راسب شده بر سطح خیابان‌ها و جاده‌ها، از برهم‌کنش مواد جامد، مایع و گاز ناشی از منابع مختلف سرچشمه گرفته و بالقوه می‌تواند حامل بار آلودگی بالایی از فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی باشد. غبار خیابان تحت تاثیر وسایل نقلیه سطح جاده‌ها می‌تواند عامل ۳۳ درصد از آلودگی هوا باشد. مواد خارج شده از اگزوز وسایل نقلیه و خروجی صنایع، فرسایش تیرها و لنت ترمزها، غبار ناشی از جاده‌های آسفالتی، دست اندازها و ساختمان‌سازی از عوامل تشکیل دهنده غبار خیابان‌ها به شمار می‌روند. گرد و غبار خیابانی مقادیر مختلفی از فلزات سمی را از منابع ثابت یا متحرک مختلف مانند حمل و نقل وسایل نقلیه، کارخانجات صنعتی، نیروگاه‌ها، احتراق سوخت، زباله سوزی، فعالیت‌های ساخت و ساز و تخریب، انتشار ذرات خاک‌های آلوده دریافت کرده و سهم عمده‌ای در آلودگی محیط زیست شهری دارند (۳، ۴).

غبار رسوب کرده بر سطح جاده‌ها برای مدت طولانی به همان صورت باقی نمی‌ماند. این غبار به سادگی به صورت ذرات معلق به اتمسفر باز می‌گردد و مقادیر زیادی از فلزات سمی را به آن وارد می‌کند. بنابراین غبار خیابان یکی از منابع مهم پیدایش و ورود ذرات و فلزات سنگین همراه آنها به اتمسفر بوده و کنترل آن موضوع بحرانی در نواحی شهری و سایر مناطق پرترافیک است (۵). از دیگر دلایل اهمیت بررسی گرد و غبار خیابانی این است که گرد و غبار خیابانی بوسیله افرادی که از خیابان‌ها عبور می‌کنند، به راحتی استنشاق می‌شود. همچنین در کودکان بخاطر رفتار به دهان بردن اشیاء مختلف و مکیدن دست و انگشتان، مقادیر معنی داری گرد و غبار بلعیده می‌شود (۶، ۷). بنابراین، گرد و غبار خیابانی مسیر مهمی در آلودگی افراد با عناصر سمی است و در سال‌های اخیر نگرانی

در حال افزایشی در مورد آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی بخاطر اثرات سمی بالقوه آنها ایجاد شده است. چرا که فلزات سنگین قابل تجزیه زیستی نیستند و می‌توانند طی دوره‌های زمانی طولانی، در خاک و گرد و غبار باقی بمانند و در صورت ورود به بدن، اثرات سمی زیانباری دارند. حتی با اینکه برخی فلزات برای انسان ضروری به نظر می‌رسند، در مقادیر بالا می‌توانند مسمومیت ایجاد کنند. گزارش شده است که در کالیفرنیا ۵ تا ۱۰ درصد عوامل حساسیت‌زا در اثر ذرات معلق کل مربوط به انتشار گرد و غبار خیابانی است و اولویت بالایی در خصوص آن در برنامه‌های ارزیابی ریسک بهداشت و سلامت و محیط زیست قرار داده شده است (۷).

در سال‌های اخیر مقادیر زیادی گرد و غبار اتمسفری که عمدتاً از مرزهای غربی به کشور وارد می‌شوند، در شهر تهران ته‌نشین شده است. کلانشهر تهران با جمعیت زیاد 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 فصول سرد، باعث تجمع بیشتر آلاینده‌ها در تهران می‌شود (۸). اما با وجود گرد و غبار راسب شونده زیاد در منطقه که می‌تواند همراه با آلاینده‌های مختلف از منابع مختلف باشد، مطالعات چندانی در زمینه کیفیت زیست محیطی گرد و غبار خیابانی در شهر تهران انجام نشده است. لذا این مطالعه با هدف بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر تهران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی آنها انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران، مرکز استان تهران و پایتخت ایران با مساحت 730 km^2 و با تراکم جمعیت بیش از ۱۱۰۰۰ نفر در هر کیلومتر مربع، یکی از شهرهای پرتراکم جهان محسوب می‌شود. آب و هوای تهران گرم و خشک و بارندگی معمولاً در فصول پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. میزان بارندگی در سطح شهر

استفاده شد. جهت انجام آنالیزهای آماری ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون نرمالیت شاپیرو ویک (Shapiro-Wilk) 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. میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی با استفاده از شاخص زمین انباشتگی، شاخص آلودگی، شاخص آلودگی تجمعی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص ریسک اکولوژیک ارزیابی شد.

۱- شاخص زمین انباشتگی (Geo-accumulation Index, Igeo): یکی از شاخص‌های متداول شدت آلودگی، شاخص زمین انباشتگی Muler است که در اواخر دهه ۱۹۶۰ تدوین شد و از آن زمان تاکنون به طور گسترده برای مطالعه و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها و غبار جاده‌های شهری استفاده می‌شود (۱۲). این شاخص از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5B_n) \quad (1)$$

در این شاخص، C_n غلظت فلز سنگین در نمونه (خاک یا گرد و غبار) و B_n غلظت زمینه است. با توجه به معادله فوق ۷ رده برای آلودگی در نظر گرفته می‌شود (۴): کاملاً غیرآلوده ($I_{geo} \leq 0$)، غیرآلوده تا آلودگی متوسط ($0 < I_{geo} \leq 1$)، آلودگی متوسط تا شدید ($1 < I_{geo} \leq 2$)، آلودگی شدید ($2 < I_{geo} \leq 3$)، آلودگی شدید تا بسیار شدید ($3 < I_{geo} \leq 4$)، آلودگی بسیار شدید ($4 < I_{geo} \leq 5$)، بسیار شدید ($I_{geo} > 5$).

۲- شاخص آلودگی (Pollution Index, PI) و شاخص آلودگی تجمعی (Integrated Pollution Index, IPI): شاخص آلودگی (PI) طبق معادله ۲ محاسبه می‌شود (۴، ۹):

$$PI = C_n / B_n \quad (2)$$

در این معادله C_n غلظت اندازه‌گیری شده عنصر n در گرد و غبار یا خاک و B_n غلظت عنصر n در زمینه (میانگین غلظت در پوسته زمین) است. $PI \leq 1$ نشان‌دهنده آلودگی پایین،

تهران به طور متوسط $245/8 \text{ mm/year}$ ، میانگین رطوبت نسبی هوا ۴۰ درصد و باد غالب، غربی که متوسط سرعت آن $5/5 \text{ m/s}$ است. در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت به دلیل مهاجرت بی رویه و به دنبال آن افزایش صنایع و وسایل نقلیه و خودروها در این شهر، باعث شده است که امروزه تهران به عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان شناخته شود (۸).

روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

نمونه‌برداری گرد و غبار خیابانی در دو منطقه: تهرانپارس (شرق تهران) و اکباتان (غرب تهران)، از خیابان‌های اصلی و فرعی انجام شد. تمام نقاط نمونه برداری در کنار خیابان بوده، در هر ایستگاه حدود 200 g گرد و غبار در مساحتی حدود 1 m^2 به وسیله یک برس و خاک انداز پلاستیکی و در کیسه پلی اتیلنی (از هر منطقه به تعداد ۱۵ نمونه) جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها در دمای 100°C برای مدت 24 h در آون خشک شدند (۹). سپس برای بررسی دانه‌بندی و آنالیز اندازه ذرات به وسیله الک‌های با مش ۱۰، ۳۵، ۶۰ و ۲۳۰ غربال شدند. ذرات با قطر کوچک‌تر از $63 \mu\text{m}$ که به آسانی معلق و در هوا پخش می‌شوند و احتمال ورودشان به سیستم تنفسی و ایجاد خطر برای سلامتی انسان بیشتر است (۱۰) مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفتند.

جهت آماده‌سازی نمونه‌ها، مطابق روش USEPA 3050B هضم اسیدی انجام گرفت (۱۱). در این روش، 1 g وزن خشک از نمونه با استفاده از اسید نیتریک، اسید کلریدریک و پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد هضم می‌شود. غلظت فلزات سنگین شامل $\text{Ba, Sr, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Al, Li}$ و $\text{Pb, Sn, Zn, As, Cu, Cd}$ به وسیله دستگاه ICP-MS (مدل ۷۵۰۰، ساخت امریکا) اندازه‌گیری شد. در کنار نمونه‌ها، تمام مراحل آنالیز برای نمونه شاهد نیز انجام شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزارهای IBM SPSS statics 21 و Excel استفاده شد. به دلیل عدم وجود استانداردهای خاص برای ارزیابی درجه آلودگی خاک در ایران، از میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به عنوان استاندارد درجه آلودگی و فلز آلومینیوم به عنوان عنصر مرجع

روش تعیین ریسک اکولوژیک فلزات سنگین که توسط Hakanson معرفی شده (۱۸)، اخیراً در مطالعات آلودگی خاک و گرد و غبار خیابان‌ها و جاده‌ها استفاده شده است (۲۱-۱۹). شاخص ریسک اکولوژیک با استفاده از معادلات ۴، ۵، ۶ محاسبه می‌شود:

$$C_f = C_s / C_n \quad (4)$$

$$E_r = T_r \times C_f \quad (5)$$

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r \quad (6)$$

در این معادله C_s غلظت فلز سنگین مورد نظر در نمونه، C_n غلظت زمینه فلز سنگین مورد نظر، E_r ریسک اکولوژیک هر عنصر، RI ریسک اکولوژیک چند عنصر است. Hakanson، T_r را به عنوان فاکتور سمیت برای یک ماده تعریف کرده و مقدار آن را برای Zn ، Cr ، Ni ، Pb ، Cu ، As ، Cd و به ترتیب ۳۰، ۱۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ تعیین کرد. ریسک اکولوژیک براساس مقدار RI بدین صورت طبقه‌بندی می‌شود: ریسک اکولوژیک پایین ($RI < 150$)، ریسک اکولوژیک متوسط ($150 \leq RI < 300$)، ریسک اکولوژیک قابل توجه ($300 \leq RI < 600$)، ریسک اکولوژیک خیلی بالا ($RI \geq 600$).

یافته‌ها

میانگین درصد وزنی ذرات تشکیل‌دهنده گرد و غبار خیابانی در دو منطقه مورد مطالعه در نمودار ۱ نمایش داده شده است. در هر دو منطقه ذرات با اندازه $250-500 \mu m$ و $63-250 \mu m$ عمده‌ترین ذرات تشکیل‌دهنده نمونه‌های گرد و غبار خیابانی بودند و بالاترین درصد وزنی متعلق به آنها بود. مقادیر میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در پوسته زمین (۲۲) و در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی جمع‌آوری شده از شرق و غرب تهران برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم به همراه دیگر آماره‌های توصیفی شامل انحراف استاندارد، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی در جدول ۱ ارائه شده است.

$1 < PI \leq 3$ نشان‌دهنده آلودگی متوسط و $PI > 3$ نشان‌دهنده آلودگی بالا است.

شاخص آلودگی تجمعی (IPI) به عنوان مقدار میانگین شاخص آلودگی یک عنصر تعریف می‌شود و طبقه‌بندی آن به این صورت است (۴، ۹): $IPI \leq 1$ سطح پایین آلودگی، $1 < IPI \leq 2$ سطح متوسط آلودگی، $IPI > 2$ سطح بالای آلودگی.

۳- فاکتور غنی‌شدگی (**Enrichment Factor, EF**):

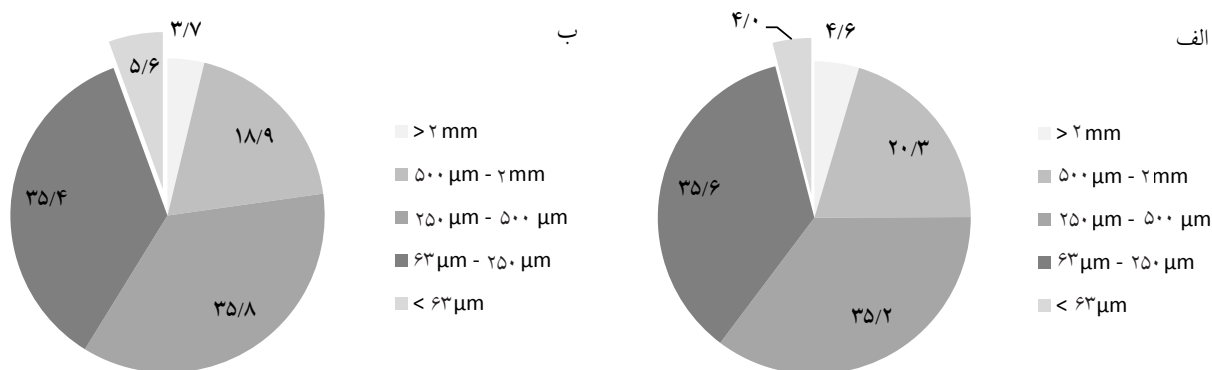
فاکتور غنی‌شدگی توسط محققین مختلف برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در بخش‌های مختلف محیط زیست استفاده شده است (۴، ۹، ۱۳-۱۶). این شاخص مطابق معادله ۳ محاسبه می‌شود:

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

در این معادله E_{sample} غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه، R_{sample} غلظت عنصر رفرنس اندازه‌گیری شده در نمونه، E_{crust} غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در پوسته زمین و R_{crust} غلظت عنصر رفرنس اندازه‌گیری شده در پوسته زمین است.

اگر EF عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشاء طبیعی و در صورتی که بین یک تا ده باشد عنصر هم‌منشاء طبیعی و هم‌منشاء آنتروپوژنیک خواهد داشت و در صورتی که این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد منشاء آلودگی عنصر مورد نظر عمدتاً عوامل انسانی است. مقادیر EF ۱ تا ۵ نشان‌دهنده این است که منابع آنتروپوژنیک سهم معنی‌داری در میزان آن عنصر ندارند (۱۶). درجه غنی‌شدگی فلزات مختلف براساس EF محاسبه شده به این صورت طبقه‌بندی می‌شود: غنی‌شدگی کم ($EF \leq 2$)، غنی‌شدگی متوسط ($2 < EF \leq 5$)، غنی‌شدگی بالا ($5 < EF \leq 20$)، غنی‌شدگی بسیار بالا ($20 < EF \leq 40$)، غنی‌شدگی شدیداً بالا ($EF > 40$). در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی، عنصر رفرنس باید تغییرپذیری کمی داشته باشد. معمولاً Si ، Al یا Fe به عنوان عنصر رفرنس استفاده می‌شوند ولی قانون پذیرفته شده عمومی برای انتخاب آن وجود ندارد (۱۷). در این مطالعه Al به عنوان عنصر رفرنس در نظر گرفته شد چرا که منابع انسانی انتشار آن ناچیز و قابل صرف نظر است.

۴- شاخص ریسک اکولوژیک (**Ecological Risk Index, RI**)



نمودار ۱- میانگین درصد وزنی ذرات تشکیل دهنده گرد و غبار خیابانی در دو منطقه شرق (الف) و غرب (ب) تهران

زمین می تواند باشد. پایین ترین میانگین غلظت در هر دو منطقه نیز مربوط به Cd بود. در میان عناصر مورد مطالعه کمترین فراوانی را در پوسته زمین دارد. جهت مقایسه میانگین غلظت عناصر اندازه گیری شده در گرد و غبار خیابانی بین دو منطقه شرق و غرب، برای داده های نرمال از آزمون t مستقل (Independent samples t-test) و برای داده های غیر نرمال از آزمون من ویتنی (Mann-Whitney U) استفاده شد که نتایج نشان داد غلظت Mn، Sr و Pb (در سطح ۹۹ درصد) و Ba (در سطح ۹۵ درصد) بین دو منطقه تفاوت معنی داری دارد. غلظت هر چهار عنصر در شرق تهران بالاتر از غرب بود.

میانگین غلظت عناصر اندازه گیری شده در گرد و غبار خیابانی شرق تهران به ترتیب زیر بود:

Fe>Al>Mn>Zn>Ba>Sr>Pb>Ti>Cu>V>Cr>Ni>Sn>Li>As>Cd

ترتیب میزان غلظت عناصر اندازه گیری شده در گرد و غبار خیابانی غرب تهران شباهت زیادی به ترتیب آن در شرق داشته و بدین صورت بود:

Fe>Al>Mn>Zn>Ba>Sr>Ti>Pb>Cu>Cr>V>Ni>Sn>Li>As>Cd

در هر دو منطقه مورد مطالعه بالاترین غلظت مربوط به Fe و Al بود. علت این امر، فراوان بودن این عناصر در پوسته

جدول ۱- میانگین عناصر مورد مطالعه در پوسته زمین (۲۲) و در نمونه های گرد و غبار خیابانی شرق و غرب تهران در سال ۱۳۹۵

بر حسب mg/kg و دیگر آماره های توصیفی مربوطه

محل نمونه گیری	شرق (تهرانپارس)					غرب (اکباتان)					پوسته زمین
	مقادیر	میانگین	انحراف استاندارد	چولگی	کشیدگی ضریب تغییرات (%CV)	میانگین	انحراف استاندارد	چولگی	کشیدگی ضریب تغییرات (%CV)		
Li	۴/۷۳	۱/۶۳	۱/۵۲	۱/۸۵	۳۴/۵۷	۴/۸۷	۲/۳۸	۰/۱۳	-۱/۵۲	۴۸/۹۱	۲۰
Al	۶۵۱۰/۶۸	۲۰۳۳/۰۴	۱/۲۱	۱/۱۴	۳۱/۲۳	۷۳۲۲/۳۵	۲۸۰۲/۲۲	-۰/۲۵	-۱/۶۶	۳۸/۲۷	۸۲۳۰۰
Ti	۱۵۹/۱۸	۷۸/۸۰	۱/۰۵	-۰/۶	۴۹/۵۱	۱۲۵/۰۸	۳۱/۸۲	-۰/۰۹	-۰/۹۶	۲۵/۴۴	۵۶۵۰
V	۲۵/۸۸	۹/۴۵	۱/۳۸	۱/۰۴	۳۶/۵۰	۲۲/۱۳	۴/۹۸	-۰/۱۲	-۰/۸۱	۲۲/۵۱	۱۲۰
Cr	۲۵/۷۵	۷/۵۵	۰/۸۷	-۰/۵۸	۲۹/۳۳	۲۷/۳۹	۱۵/۰۴	۰/۵۹	-۰/۸۳	۵۴/۹۳	۱۰۲
Mn	۵۶۷/۸۴	۱۳۰/۲۲	۱/۰۶	۰/۲۴	۲۲/۹۳	۴۳۲/۰۴	۱۰۲/۰۱	۱/۴۷	۳/۳۱	۲۳/۶۱	۹۵۰

ادامه جدول ۱- میانگین عناصر مورد مطالعه در پوسته زمین (۲۲) و در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شرق و غرب تهران در سال ۱۳۹۵ برحسب mg/kg و دیگر آماره‌های توصیفی مربوطه

محل نمونه‌گیری	شرق (تهرانپارس)					غرب (اکباتان)					پوسته زمین
	مقادیر	میانگین	انحراف استاندارد	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات (%CV)	میانگین	انحراف استاندارد	چولگی	کشیدگی	
Fe	۱۳۲۰۶/۵۷	۳۳۹۴/۸۱	۱/۰۳	-۰/۶۸	۲۵/۷۱	۱۵۰۶۳/۳۸	۵۹۳۹/۸۲	-۰/۲۳	-۲/۰۵	۳۹/۴۳	۵۶۳۰۰
Ni	۱۸/۱۴	۵/۵۸	۱/۴۰	۱/۲۱	۳۰/۷۷	۱۵/۰۴	۴	-۰/۲۵	-۱/۵۶	۲۶/۶۳	۸۴
Cu	۱۱۹/۲۸	۴۴	۰/۱۳	-۰/۹۷	۳۶/۸۸	۱۰۹/۴۲	۴۵/۰۶	-۰/۸۰	-۰/۳۲	۴۱/۱۹	۶۰
Zn	۲۷۵/۵۸	۸۱/۵۶	۰/۴۸	-۰/۲۶	۲۹/۵۹	۲۳۵/۸۵	۶۱/۱۲	-۰/۵۶	۰/۹۱	۲۵/۹۱	۷۰
As	۴۳۰	۱/۳۸	۱/۲۰	۰/۵۵	۳۲/۰۶	۳/۴۹	۱/۱۱	-۰/۰۳	-۱/۶۶	۳۱/۶۸	۱/۸
Sr	۱۹۷/۰۳	۳۶/۱۳	۱/۱۸	۰/۲۲	۱۸/۳۴	۱۴۴/۰۵	۳۸/۴۴	۱/۴۶	۱/۴۰	۲۶/۶۹	۳۷۰
Cd	۰/۲۴	۰/۰۷	۱/۶۱	۲/۲۱	۲۹/۱۸	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۸۱	-۰/۵۸	۴۱/۵۲	۰/۱۵
Sn	۸/۲۵	۳/۸۱	۰/۵۷	۰/۴۸	۴۶/۲۰	۹/۱۶	۲/۹۲	-۱/۴۳	۱/۶۸	۳۱/۹۰	۲/۳
Ba	۲۳۸/۴۵	۶۲/۳۱	۱/۱۷	۰/۱۳	۲۶/۱۳	۱۹۵/۰۷	۱۱۸/۲۳	۱/۸۱	۳/۱۴	۶۰/۶۱	۴۲۵
Pb	۱۹۵/۲۶	۸۳/۹۴	۱/۵۱	۱/۰۱	۴۲/۹۹	۱۲۴/۰۳	۶۲/۵۵	۱/۸۱	۳/۷۸	۵۰/۴۳	۱۴

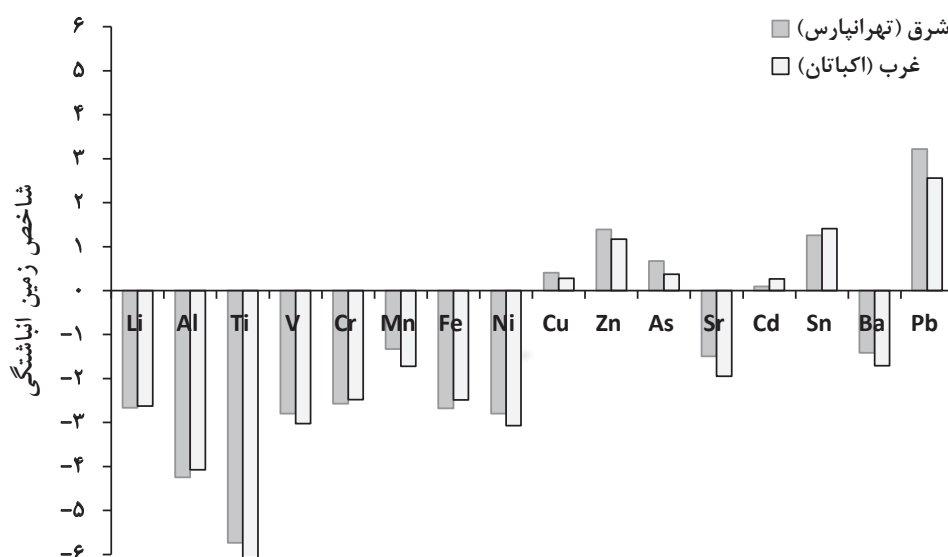
نتایج شاخص Igeo (نمودار ۲) نشان داد که عناصر Al, Li, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ba و Sr در هر دو منطقه از نظر شدت آلودگی غیرآلوده‌اند ($I_{geo} \leq 0$)، عناصر Cu, As و Cd در هر دو منطقه در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند ($0 < I_{geo} \leq 1$)، عناصر Sn و Zn در هر دو منطقه آلودگی متوسط دارند ($1 < I_{geo} \leq 2$)، در غرب تهران آلودگی متوسط تا شدید ($2 < I_{geo} \leq 3$) و در شرق تهران آلودگی شدید ($3 < I_{geo} \leq 4$) دارد.

شاخص PI برای عناصر مورد مطالعه در تمام نمونه‌های جمع‌آوری شده از هر دو منطقه محاسبه شد. PI برای عناصر Al, Li, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ba و Sr در تمام نمونه‌های گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان داد. PI مس در شرق تهران برای ۸/۳ درصد نمونه‌ها در سطح پایین، ۸۳/۴ درصد نمونه‌ها در سطح متوسط و ۸/۳ درصد نمونه‌ها در سطح بالا، در غرب تهران برای ۱۶/۶ درصد نمونه‌ها در سطح پایین و ۸۳/۴ درصد نمونه‌ها در سطح متوسط و ۸/۳ درصد نمونه‌ها در سطح بالا را نشان داد. PI سرب در هر دو منطقه شرق و غرب تهران برای تمام نمونه‌ها سطح بالای آلودگی ($PI > 3$) را نشان داد.

IPI عناصر Al, Li, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ba و Sr

نتایج شاخص Igeo (نمودار ۲) نشان داد که عناصر Al, Li, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ba و Sr در هر دو منطقه از نظر شدت آلودگی غیرآلوده‌اند ($I_{geo} \leq 0$)، عناصر Cu, As و Cd در هر دو منطقه در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند ($0 < I_{geo} \leq 1$)، عناصر Sn و Zn در هر دو منطقه آلودگی متوسط دارند ($1 < I_{geo} \leq 2$)، در غرب تهران آلودگی متوسط تا شدید ($2 < I_{geo} \leq 3$) و در شرق تهران آلودگی شدید ($3 < I_{geo} \leq 4$) دارد.

شاخص PI برای عناصر مورد مطالعه در تمام نمونه‌های جمع‌آوری شده از هر دو منطقه محاسبه شد. PI برای عناصر Al, Li, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ba و Sr در تمام نمونه‌های گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان داد. PI مس در شرق تهران برای ۸/۳ درصد نمونه‌ها در سطح پایین، ۸۳/۴ درصد نمونه‌ها در سطح متوسط و ۸/۳ درصد نمونه‌ها در سطح بالا، در غرب تهران برای ۱۶/۶ درصد نمونه‌ها در سطح پایین و ۸۳/۴ درصد



نمودار ۲- شاخص زمین انباشتگی برای هر یک از فلزات در گرد و غبار خیابانی دو منطقه شرق (تهرانپارس) و غرب (اکباتان) تهران

۲ آورده شده است. عناصر Al و Ti در هر دو منطقه درجه غنی شدگی کم، عناصر Li, V, Cr, Fe و Ni در هر دو منطقه و Sr در غرب درجه غنی شدگی متوسط، عناصر Ba, Mn در هر دو منطقه و Sr در شرق درجه غنی شدگی بالا داشتند. عناصر Cu, Cd, Zn, As, Sn و Pb در هر دو منطقه درجه غنی شدگی بسیار بالا تا شدیداً بالا را نشان دادند. بالاترین EF, Igeo و IPI در هر دو منطقه مربوط به Pb بود.

در هر دو منطقه مورد مطالعه کوچک‌تر از یک بود، بنابراین سطح آلودگی آنها پایین است. IPI عناصر Cu و Cd در هر دو منطقه و As در غرب در گستره ۱ تا ۲ قرار داشت که به معنی سطح متوسط آلودگی آنهاست. IPI برای Zn, Pb و Sn در هر دو منطقه و As در شرق سطح آلودگی بالا را نشان داد ($IPI > 2$).

EF برای عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه محاسبه شد که همراه با مقادیر Igeo و IPI در جدول

جدول ۲- شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، شاخص آلودگی تجمعی (IPI) و فاکتور غنی شدگی (EF)

فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شرق و غرب تهران در سال ۱۳۹۵

محل نمونه‌گیری	غرب (اکباتان)			شرق (تهرانپارس)			شاخص عناصر
	EF	IPI	Igeo	EF	IPI	Igeo	
Li	۲/۷۳	۰/۲۴	-۲/۶۳	۲/۹۹	۰/۲۴	-۲/۶۷	Li
Al	۱	۰/۰۹	-۴/۰۸	۱	۰/۰۸	-۴/۲۴	Al
Ti	۰/۲۵	۰/۰۲	-۶/۰۸	۰/۳۶	۰/۰۳	-۵/۷۳	Ti
V	۲/۰۷	۰/۱۸	-۳/۰۲	۲/۷۳	۰/۲۲	-۲/۸۰	V

ادامه جدول ۲- شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، شاخص آلودگی تجمعی (IPI) و شاخص غنی شدگی (EF)

فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شرق و غرب تهران در سال ۱۳۹۵

غرب (اکباتان)			شرق (تهرانپارس)			محل نمونه‌گیری
EF	IPI	Igeo	EF	IPI	Igeo	
۳/۰۲	۰/۲۷	-۲/۴۸	۳/۱۹	۰/۲۵	-۲/۵۷	Cr
۵/۱۱	۰/۴۵	-۱/۷۲	۷/۵۶	۰/۶۰	-۱/۳۳	Mn
۳/۰۱	۰/۲۷	-۲/۴۹	۲/۹۷	۰/۲۳	-۲/۶۸	Fe
۲/۰۱	۰/۱۸	-۳/۰۷	۲/۷۳	۰/۲۲	-۲/۸۰	Ni
۲۰/۵۰	۱/۸۲	۰/۲۸	۲۵/۱۳	۱/۹۹	۰/۴۱	Cu
۳۷/۸۷	۳/۳۷	۱/۱۷	۴۹/۷۶	۳/۹۴	۱/۳۹	Zn
۲۱/۸	۱/۹۳	۰/۳۷	۳۰/۲	۲/۳۸	۰/۶۷	As
۴/۳۸	۰/۳۹	-۱/۹۵	۶/۷۳	۰/۵۳	-۱/۴۹	Sr
۲۰/۲۳	۱/۸۰	۰/۲۶	۲۰/۲۳	۱/۶۰	۰/۰۹	Cd
۴۴/۷۶	۳/۹۸	۱/۴۱	۴۵/۳۴	۳/۵۹	۱/۲۶	Sn
۵/۱۶	۰/۴۶	-۱/۷۱	۷/۰۹	۰/۵۶	-۱/۴۲	Ba
۹۹/۵۷	۸/۸۶	۲/۵۶	۱۷۶/۳۰	۱۳/۹۵	۳/۲۲	Pb

بالاترین ریسک اکولوژیکی در شرق مربوط به عنصر Pb و در غرب مربوط به Cd بود. منطقه شرق ریسک اکولوژیکی متوسط و منطقه غرب ریسک اکولوژیکی پایینی را نشان دادند.

برای بررسی میزان ریسک اکولوژیکی دو منطقه مورد مطالعه، مقادیر E_r و RI با استفاده از معادلات ۵ و ۶ محاسبه و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. در میان عناصر مورد مطالعه،

جدول ۳- ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین گرد و غبار خیابانی در مناطق مورد مطالعه در سال ۱۳۹۵

ریسک اکولوژیکی	RI	E_r میانگین							پارامتر منطقه نمونه برداری
		Ni	As	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	
متوسط	۱۵۷/۱	۱/۱	۲۳/۹	۰/۵	۹/۹	۳/۹	۴۸	۶۹/۷	شرق (تهرانپارس)
پایین	۱۳۱/۶	۰/۹	۱۹/۴	۰/۵	۹/۱	۳/۴	۵۴	۴۴/۳	غرب (اکباتان)

و منشاء این عناصر عمدتاً منابع طبیعی (پوسته زمین) است اما عناصر Pb , Sn , Zn , As , Cu , Cd سطح آلودگی متوسط تا بالایی نشان می‌دهند و با توجه به درجه غنی شدگی بسیار بالا تا شدیداً بالایی که دارند، می‌توان گفت که منشاء آنها عمدتاً منابع

نتایج محاسبات شاخص‌های Igeo, IPI, EF (جدول ۲) نشان داد گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه مورد مطالعه از نظر عناصر Ba , Sr , Ni , Fe , Mn , Cr , V , Ti , Al , Li غیرآلوده است

بحث

موتوری، به عنوان منبع مهم در زمینه انتشار و تجمع Pb در خیابان‌ها تحت بررسی قرار گرفته و از سال ۲۰۰۵ استفاده از آنها در اروپا برای وسایل نقلیه جدید ممنوع شده است (۲۸)، (۲۹).

مقایسه میزان فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی دو منطقه مورد مطالعه نشان داد که غلظت Mn، Sr، Ba و Pb در شرق تهران به طور معنی‌دار بالاتر از غرب بود. براساس ارزیابی شدت آلودگی صورت گرفته به وسیله شاخص‌های مربوطه، گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه از نظر Sr، Mn و Ba غیرآلوده بودند و تنها آلودگی Pb در گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه در سطح بالا بود. بالاتر بودن میزان Pb در منطقه نمونه‌برداری شرق باعث شده است که این منطقه ریسک اکولوژیکی بالاتری نسبت به منطقه نمونه‌برداری غرب نشان دهد. در میان عناصر مورد مطالعه نیز، بالاترین ریسک اکولوژیکی در شرق مربوط به عنصر Pb و در غرب مربوط به Cd بود که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. چرا که Pb در گروه B2 و Cd در گروه B1 طبقه‌بندی EPA برای مواد سرطان‌زا قرار داشته و در معرض قرار گرفتن با غلظت‌های بالای آنها اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان دارد (۳۰).

نتیجه‌گیری

از آنجا که گرد و غبار خیابانی به‌سادگی به صورت ذرات معلق به اتمسفر باز می‌گردد، می‌تواند بوسیله افرادی که از خیابان‌ها عبور می‌کنند به راحتی استنشاق شود. علاوه بر استنشاق، تماس پوستی و آلودگی از طریق دست و دهان بخصوص در کودکان نیز می‌تواند منجر به ورود گرد و غبار خیابانی و فلزات سنگین همراه آنها به بدن انسان شود که این عناصر اثرات سمی زیانباری داشته، در طول زمان در بدن تجمع یافته و اثرات زیانبارشان افزایش می‌یابد. لذا براساس نتایج حاصل از این تحقیق، در درجه اول گرد و غبار خیابانی در منطقه شرق تهران (تهرانپارس) که ریسک اکولوژیکی بالاتری نشان داد، از نظر آلودگی به فلزات سنگین به‌ویژه Pb و منابع ورود آن به محیط که عمدتاً مربوط به حمل و نقل شهری و خودروهای موجود

آنتروپوژنیک است، مانند Cd که در ساخت باتری، پلاستیک و مصالح ساختمانی استفاده می‌شود (۱۲). با توجه به فراوانی خودروها در هر دو منطقه و ساخت و سازهای در حال انجام، به نظر فرسایش تایر و باتری خودروها و مواد ساختمانی منشاء اصلی انتشار Cd است. ترکیبات Cu در روغن‌ها به عنوان مواد ضد فرسایش استفاده می‌شوند. این ترکیبات لایه محافظی روی سطوح موتور ایجاد می‌کنند که از اصطکاک کاسته و از صدمات ناشی از سایش بین قسمت‌های مختلف موتور جلوگیری می‌کند (۲۳). As و ترکیبات آن به عنوان آفت‌کش (علف‌کش و حشره‌کش) به کار می‌روند. همچنین آرسنیک فلزی در تولید آلیاژ سرب و مس و فولاد و در صنعت الکترونیک استفاده می‌شود (۲۴). Zn (به صورت اکسید روی) به عنوان فعال‌کننده طی پروسه جوش دادن و محکم کردن لاستیک استفاده می‌شود (۲۵) و لذا در شهر تهران عمدتاً در اثر فرسایش تایر وسایل نقلیه تولید می‌گردد. قلع به دلیل خاصیت چکش‌خواری و مقاوم بودن در برابر خوردگی، در تولید بسیاری از آلیاژها مانند برنز و مفرغ مورد استفاده قرار می‌گیرد. بخش عمده‌ای از مصرف قلع نیز برای روکش کردن فولاد به منظور جلوگیری از زنگ زدن است. همچنین در لحیم کاری نیز مصرف زیادی دارد (۲۶). بنابراین در صنایع خودروسازی کاربرد زیادی داشته که می‌تواند منشاء اصلی آن در تهران باشد.

بالاترین Igeo، EF و IPI در هر دو منطقه مورد مطالعه مربوط به Pb بود. بنابراین عمدتاً در اثر فعالیت‌های انسانی وارد محیط می‌گردد. یکی از منابع اصلی انتشار Pb در اتمسفر در گذشته مصرف بنزین دارای Pb به عنوان سوخت غالب وسایل نقلیه بود اما در حال حاضر بنزین سرب‌دار در تهران استفاده نمی‌شود. استفاده از بنزین بدون Pb، مصرف آن را در وسایل نقلیه کاهش داده اما ترکیبات Pb هنوز در روغن‌های روان‌کننده در موتور خودروها استفاده می‌شوند. علاوه بر آن، فرسایش لنت ترمزها و Pb ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) از منابع اصلی آلودگی محیط زیست شهری به Pb به شمار می‌روند (۲۷). فرسایش وزنه‌های سربی بالانس چرخ‌های وسایل نقلیه

در منطقه می‌شود، باید مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی همبستگی

فلزات سمی (سرب، نیکل، کروم، کادمیوم و آرسنیک) در گرد و غبار خیابانی و ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_4 و ارزیابی مخاطرات بهداشتی آنها در کلانشهر تهران" در مقطع دکترا در سال ۱۳۹۶ که با حمایت دانشگاه تربیت مدرس اجرا شده است.

منابع

- Sezgin N, Ozcan HK, Demir G, Nemlioglu S, Bayat C. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*. 2004;29(7):979-85.
- Liu E, Yan T, Birch G, Zhu Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Science of the Total Environment*. 2014;476:522-31.
- Manasreh WA. Assessment of trace metals in street dust of Mutah city, Karak, Jordan. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2010;5(1):5-12.
- Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2):1058-62.
- Cook A, Weinstein P, Centeno J. Health effects of natural dust. *Biological Trace Element Research*. 2005;103(1):1-15.
- Watt J, Thornton I, Cotter-Howells J. Physical evidence suggesting the transfer of soil Pb into young children via hand-to-mouth activity. *Applied Geochemistry*. 1993;8:269-72.
- Pawan R, Karmacharya N, Bir Singh K, Ramesh K. Determination of heavy metals in street dust from different types of land use of Kathmandu Valley, Nepal. *Research Journal of Chemical Sciences*. 2014;4(7):82-92.
- Moeinaddini M, Sari AE, Bakhtiari AR, Chan AY-C, Taghavi SM, Connell D, et al. Sources and Health Risk of Organic Compounds in Respirable Particles in Tehran, Iran. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2014;34(5):469-92.
- Faiz Y, Tufail M, Javed MT, Chaudhry M. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 2009;92(2):186-92.
- Zhou Y, Levy JI, Hammitt JK, Evans JS. Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 2003;37(6):815-26.
- USEPA. Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges and soils (revision 2). Washington DC: US Environmental Protection Agency; 1996.
- Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;160(1):33-45.
- Addo M, Darko E, Gordon C, Nyarko B, Gbadago J. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-south district, Ghana. *International Journal of Science and Technology*. 2012;1(2):28-39.
- Loska K, Wiechula D, Barska B, Cebula E, Chojnecka A. Assessment of arsenic enrichment of cultivated soils in Southern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003;12(2):187-92.
- Manno E, Varrica D, Dongarrà G. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment*. 2006;40(30):5929-41.
- Rashki A, Eriksson P, Rautenbach CDW, Kaskaoutis D, Grote W, Dykstra J. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*. 2013;90:227-36.
- Haritash A, Kaushik C. Assessment of seasonal enrichment of heavy metals in respirable suspended particulate matter of a sub-urban Indian city. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007;128(1):411-20.
- Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Wa-*

- ter Research. 1980;14(8):975-1001.
19. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Tavakol T, Lahijan-zadeh AR, Jaafarzadeh N, et al. 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*. 2015;505:712-23.
 20. Qiu H. Studies on the potential ecological risk and homology correlation of heavy metal in the surface soil. *Journal of Agricultural Science*. 2010;2(2):194-201.
 21. Sun Y, Zhou Q, Xie X, Liu R. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;174(1):455-62.
 22. Lide DR. *Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton: CRC Press; 2004.
 23. Okorie A, Entwistle J, Dean JR. Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing. *Chemosphere*. 2012;86(5):460-67.
 24. Esmaili Sari A. *Pollution, Health and Environmental Standards*. Tehran: Naghshe Mehr; 2002 (in Persian).
 25. Smolders E, Degryse F. Fate and effect of zinc from tire debris in soil. *Environmental Science & Technology*. 2002;36(17):3706-10.
 26. Howe P, Watts P. *Tin and Inorganic Tin Compounds*. Geneva: World health organization; 2005.
 27. Smichowski P, Gómez D, Frazzoli C, Caroli S. Traffic-Related Elements in Airborne Particulate Matter. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2007;43(1):23-49.
 28. Root RA. Lead loading of urban streets by motor vehicle wheel weights. *Environmental Health Perspectives*. 2000;108(10):937-40.
 29. Bleiwas DI. *Stocks and flows of lead-based wheel weights in the United States*. USA: US Department of the Interior; 2006.
 30. Greene NA, Morris VR. Assessment of public health risks associated with atmospheric exposure to PM_{2.5} in Washington, DC, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2006;3(1):86-97.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran

S Mazloomi^{1,*}, A Esmaeili-Sari¹, N Bahramifar¹, M Moeinaddini²

1- Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares, Noor, Iran

2- Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 19 July 2017

Revised: 22 August 2017

Accepted: 26 August 2017

Published: 20 September 2017

ABSTRACT

Background and Objective: Street dust is considered as one of the important sources of particulate matters and heavy metals in the atmosphere. The goal of this study was to assess the heavy metals pollution in street dust of Tehran and evaluate their ecological risk.

Materials and Methods: The sampling of street dust was carried out in two areas at the east and west of Tehran. After preparation of samples, the concentration of heavy metals was measured by ICP-MS. The pollution level of heavy metals in the street dust was assessed using geo-accumulation index (Igeo), pollution index (PI), integrated pollution index (IPI), enrichment factor (EF) and ecological risk index (RI).

Results: The results of the calculations of the indices showed that the street dust in both studied areas was non-polluted with Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Sr and Ba. The origin of these elements was mainly natural sources. However, Cd, Cu, As, Zn, Sn and Pb had medium to high level of contamination. These elements had a very high to extremely high enrichment in both areas. Their origin was mainly anthropogenic sources. The ecological risk index indicated a moderate ecological risk for the east and a low ecological risk for the west area.

Conclusion: The higher level of lead in the East is the main reason of higher ecological risk of this area. Therefore, the heavy metals pollution of the street dust, especially lead and its entrance into the environment, should be considered in this area.

Key words: Street dust, Geo-accumulation index, Pollution index, Integrated pollution index, Enrichment factor

*Corresponding Author:

sohrab.mazloomi@gmail.com