

ارزیابی آلودگی آرسنیک و فلزات سنگین در غبارات سطحی خیابان کلانشهر تهران

فاطمه احمدی پور^{۱*}، عباس اسماعیلی ساری^۲، نادر بهرامی فر^۳

*۱- دانشجوی دکتری آلودگی های محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

۲- استاد گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

۳- دانشیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

*ایمیل نویسنده مسئول: fahmadipour@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۶

چکیده

غبار سطحی خیابانی مهمترین مخزن و جاذب فلزات سنگین و آلاینده های دیگر سطح شهر است. این غبارات خیابانی به کمک رواناب به اکوسیستم های آبی و زنجیره های غذایی انتقال می یابند. این مطالعه با هدف بررسی ارزیابی آلودگی و ریسک اکولوژیک آرسنیک و فلزات سنگین در غبارات سطحی خیابان شهر تهران انجام گرفت. نمونه برداری از ۱۵ ایستگاه منتخب این شهر در فصل تابستان انجام و پس از آماده سازی نمونه ها با دستگاه ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند. میزان آلودگی عناصر در غبارات سطحی با شاخص های زمین انباشتی، آلودگی، آلودگی تجمعی، فاکتور غنی شدگی و ریسک اکولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفتند. در غبارات سطحی آلودگی سرب و مس به شدت بالا و روی آلودگی متوسط تا شدید دارد که نشان دهنده منشأ انسانی این عناصر بود. شاخص های آلودگی نشان دهنده سطح بالای آلودگی عناصر سرب، مس و روی است. کروم غنی شدگی بالا، و سرب، مس و روی غنی شدگی شدیداً بالایی داشتند. بالاترین ریسک اکولوژیکی مربوط به سرب و مس و کمترین ریسک اکولوژیکی مربوط به آرسنیک و کروم به ترتیب است. در بین عناصر مورد مطالعه بالاترین میزان شاخص ها برای عنصر سرب بود که لزوم پایش و کنترل بیشتر این عنصر ضروری است.

کلمات کلیدی

غبار سطح خیابان، تهران، فلزات سنگین، آلودگی، ریسک اکولوژیک

Evaluation of Arsenic and Heavy Metals in dust street of Tehran metropolis

Fatemeh Ahmadipour^{1*}, Abbas Esmaili Sari², Nader Bahramifar³

1. PhD student in environmental pollution, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran

2. Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran

3. Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran

*Email Address: fahmadipour@gmail.com

Abstract

Dust street is the most important reservoir and absorbent of heavy metals and other pollutants in the city. These dust street are transmitted to aquatic ecosystems and food chains via runoff. This study was conducted with the aim of evaluating the pollution and ecological risk of arsenic and heavy metals in dust street in Tehran. Sampling from 15 selected stations in the city was carried out in summer and analyzed by ICP-MS after preparation of samples. The pollution level of elements in the street dust was assessed using geoaccumulation index, pollution index, integrated pollution index, enrichment factor and ecological risk index. In dust street, pollution of Cu and Pb is high and Zn has a moderate to severe pollution indicating the origin of these elements. Pollution indices indicate a high level of pollution of Cu, Zn and Pb. Cr had high enrichment, and Cu, Zn and Pb highly enriched. The highest ecological risk associated with Pb and Cu and the lowest ecological risk associated with As and Cr, respectively. Among the studied elements, the highest level of indices was for Pb, so the need for further monitoring and control of this element is essential.

Key words

"dust", "street", "Tehran", "heavy metals", "pollution", "ecological risk"

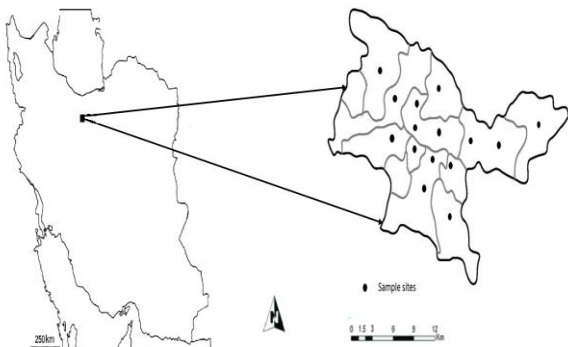
۱- مقدمه

تعلیق، عبارات جاده‌ای به اتمسفر وارد شده و آلودگی هوا ایجاد خواهند کرد (Jordanova et al. 2014). در سال‌های اخیر، افزایش جمعیت به دلیل مهاجرت بی‌رویه و به دنبال آن افزایش صنایع و وسایل نقلیه و خودروها، باعث شده است که امروزه تهران به عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان شناخته شود. همچنین شرایط جغرافیایی و آب و هوای خشک و بادهای آرام و وارونگی‌های دمایی مکرر در فصول سرد، باعث تجمع بیشتر آلاینده‌ها در آن شده است. با توجه به اهمیت پایش آلاینده‌ها در کلانشهر تهران و اینکه مطالعات اندکی در این زمینه تاکنون صورت گرفته است، لذا این مطالعه با هدف بررسی ارزیابی شدت آلودگی عناصر فلزی در عبارات سطحی خیابان صورت گرفته است.

۲- روش انجام تحقیق

• منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران از شمال به رشته کوه البرز و از جنوب به دشت کویر متصل است. این کلان‌شهر با ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد و بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. اشکال توپوگرافی شهر به طور زیادی روی جهت مسیر بادهای تأثیر می‌گذارد. در طول شب بادهای شمالی غربی و غربی از سمت کوه‌ها به سمت دشت-ها در حرکتند و در طول روز بادهای جنوب غربی از سمت دشت به کوه‌ها در حرکتند. در اطراف تهران کوه‌های بلند مانعی برای بارش و جریان باد و در نتیجه تخلیه آلاینده‌ها اند. بر این اساس اقلیم تهران با تابستان‌های خشک و گرم و زمستان‌های سرد و نیمه خشک شناخته می‌شود (Alizadeh-Choobari et al. 2016).



شکل ۱- سایت‌های نمونه‌برداری در شهر تهران

• روش نمونه‌برداری

در فصل تابستان در ۱۵ ایستگاه در مناطق مختلف شهر تهران (شکل ۱) و هر ایستگاه سه نمونه از عبارات خیابانی و در مجموع ۴۵ نمونه ۲۵۰ گرمی با استفاده از یک برس و خاک انداز پلاستیکی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شدند. سپس با الک ۶۳ میکرومتر الک شدند و در کیسه‌های نایلونی ذخیره شدند. ذرات الک شده نمایانگر ذرات معلق در هوا اند. این

بواسطه رشد سریع جمعیت، صنعت و سیستم حمل و نقل، مناطق شهری به کانون آلاینده‌های گوناگون و مناطق خطرناک از لحاظ محیط زیست در مقیاس‌های مختلف تبدیل شده‌اند (Gope, 2017). خاک شهری یک بخش مهمی از محیط زیست شهری است که مهم‌ترین مخزن برای جذب فلزات سنگین و آلاینده‌های دیگر است. افزایش زیاد فلزات سنگین به خاک باعث تغییر در چرخه ژئوشیمیایی خاک شده و سبب تغییر عملکرد خاک، تغییر ویژگی‌های خاک و مشکلاتی دیگر خواهد شد (Yang et al. 2011; Papa et al. 2010). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که اگر چه خاک‌های شهری به ندرت برای تولید غذا به کار می‌روند، اما فلزات سنگین موجود در خاک‌های شهری غیر قابل تجزیه بوده و می‌توانند در بدن انسان تجمع یافته و به سیستم عصبی و اندام‌های داخلی ضربه وارد کنند (Lee et al. 2007). غبار سطحی خیابانی^۱ سهم مهمی از آلودگی نواحی شهری را بخاطر وجود عناصر سمی به خود اختصاص داده است (Kartal and Tokalloglu, 2006). دو منبع مهم عبارات خیابانی نهشت ذرات غبار موجود در هوا و خاک‌های جابه‌جا شده نواحی شهری اند (De Miguel and Ferreira-Baptista, 2005). غبار خیابانی در مناطق شهری از انتشارات وسایل نقلیه، پوشش ترمز، بقایای تایرها، خاک، مواد گیاهی، دورریزهای ساختمانی، مناطق در حال ساخت، شکاف آسفالت و پیاده‌روها، و آئروسول‌های اتمسفری منشأ می‌گیرد (Majumdar et al. 2012; Pant and Harrison, 2013; Wei et al. 2010). کادمیوم، مس، روی و سرب بخاطر این‌که در بنزین، اجزا ماشین، روغن‌های ناشی از ماشین، انتشارات صنایع و انتشارات ناشی از احتراق وجود دارند، به عنوان آلاینده‌های شاخص شناخته شده‌اند (Li et al. 2001). بلع خاک و غبار به عنوان یک راه کلیدی برای ورود سرب ناشی از بنزین و رنگ سرب دار، شبه فلزات و فلزات ناشی از ترافیک وسایل نقلیه موتور و صنایع اطراف است (Rasmussen et al. 2001). نهشت جوی یک منبع خیلی مهمی از عبارات سطحی خیابانی در محیط زیست شهری است، که در این حالت به مدت طولانی در محیط زیست تجمع می‌یابند (Wang et al. 2009). این عبارات خیابانی به کمک رواناب به اکوسیستم‌های آبی و زنجیره‌های غذایی انتقال می‌یابند (Gunawardana et al. 2014; Liang et al. 2016; Franco et al. 2017). بنابرین بررسی ترکیب عبارات خیابان شهری یک مسئله مورد توجه در مطالعات آلودگی هوا است (Wang et al. 2011; Lorenzi et al. 2016). عبارات خیابانی می‌توانند مسیری باشند که بوسیله آن هوا، خاک، سبزیجات، محصولات غذایی و محیط زیست آبی آلوده شود و بدین وسیله جمعیت شهری نیز به این مواد شیمیایی سمی آلوده شوند (Benjamin et al. 2016). همچنین مسافران و افرادی که در کنار جاده کار می‌کنند به طور زیادی در معرض آلاینده‌ها قرار دارند (Hussain et al. 2015). عبارات جاده‌ای به عنوان منبع و جاذب فلزات سنگین اند. این عبارات ذراتی از اتمسفر را که حاوی فلزات سنگین اند را دریافت می‌کنند و با استفاده از

¹ - Dust street

(et al. 2009) و طبقه بندی آن به صورت سطح پایین آلودگی $IPI \leq 1$ و سطح آلودگی متوسط $1 < IPI \leq 2$ است.

• شاخص غنی شدگی

فاکتور غنی شدگی توسط محققین مختلف برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در بخش‌های مختلف محیط زیست استفاده شده است (Rashki et al. 2013). در این روش از نسبت غلظت عنصر هر نمونه به عنصر رفرنس تقسیم بر نسبت غلظت همان عنصر در پوسته زمین به غلظت عنصر رفرنس در پوسته زمین استفاده می‌شود.

$$EF = (E/R)_{\text{sample}} / (E/R)_{\text{crust}} \quad \text{رابطه ۳}$$

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

R_{crust} = غلظت عنصر رفرنس اندازه‌گیری شده در پوسته زمین می‌باشد.

با محاسبه فاکتور غنی‌شدگی می‌توان ارزیابی کرد که عناصر موجود در نمونه مورد نظر منشأ طبیعی دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسانی به وجود آمده‌اند. اگر EF عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی و در صورتی که بین یک تا ده باشد عنصر هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسانی خواهد داشت و در صورتی که این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد منشأ عنصر مورد نظر عمدتاً عوامل انسانی است. مقادیر EF ۱ تا ۵ نشان‌دهنده این است که منابع انسانی سهم معنی‌داری در میزان آن عنصر ندارند (Addo et al. 2012). مقادیر EF به صورت درجه غنی‌شدگی کم < 2 ، غنی‌شدگی متوسط $2-5$ ، غنی‌شدگی بالا $20-50$ ، غنی‌شدگی بسیار بالا $40-200$ و غنی‌شدگی شدیداً بالا > 400 طبقه بندی شده است. فاکتور غنی‌شدگی فرمولی جهان شمول و ابزاری ساده و آسان برای ارزیابی درجه غنی‌شدگی و مقایسه آلودگی‌های مختلف زیست محیطی است. در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی، عنصر رفرنس باید تغییرپذیری کمی داشته باشد. معمولاً سیلیس، آلومینیوم و یا آهن به عنوان عنصر رفرنس استفاده می‌شوند ولی قانون پذیرفته شده عمومی برای انتخاب آن وجود ندارد (Haritash et al. 2007). در این مطالعه آلومینیوم به عنوان عنصر رفرنس در نظر گرفته شد چرا که منابع انسانی انتشار آن ناچیز و قابل صرف نظر می‌باشد.

• شاخص ریسک اکولوژیک

روش تعیین ریسک اکولوژیک فلزات سنگین که توسط Hakanson معرفی شده (Hakanson et al. 1980)، اخیراً در مطالعات آلودگی خاک و گرد و غبار خیابان‌ها و جاده‌ها استفاده شده است (Soltani et al. 2015; Qiu et al. 2010; Sun et al. 2010).

شاخص ریسک اکولوژیک از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r$$

$$E_r = Tr \times C_f$$

$$C_f = C_s / C_n$$

رابطه ۴

ذرات در هوا پخش شده و احتمال ورودشان به سیستم تنفسی و ایجاد خطر برای سلامتی انسان بیشتر است. برای استخراج عناصر موجود در غبارات سطحی به مقدار نیم گرم از هر نمونه توزین شد و به هر نمونه ۳ میلی لیتر به نسبت های ۲:۲:۲ از $H_2O-HCL-HNO_3$ اضافه به مدت یک ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد روی هیتر برقی قرار گرفته شد. سپس با آب دیونیزه به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد (Ordonñez et al. 2003). همچنین جهت بازیابی روش از خاک-های SRM برای عناصر استفاده شد. بازیابی روش برای عناصر مورد مطالعه ۸۵ الی ۹۰ درصد بود. غلظت عناصر با استفاده از دستگاه ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Excell و SPSS (Version 22) داده‌های خام مورد تجزیه تحلیل قرار گرفتند. سپس جهت مقایسه غلظت عناصر، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلیک آزمون شد. جهت ارزیابی و تعیین شدت آلودگی در محیط زیست معیارها و شاخص‌های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق میزان آلودگی گرد و غبار خیابانی با استفاده از شاخص زمین انباشتی مولر (Igeo)، شاخص آلودگی (PI)، شاخص آلودگی تجمعی (IPI)، شاخص غنی‌شدگی (EF) و شاخص ریسک اکولوژیک (RI) ارزیابی شد.

• شاخص زمین انباشتی مولر

یکی از شاخص‌های متداول شدت آلودگی، شاخص زمین انباشتی مولر است که در اواخر دهه ۱۹۶۰ تدوین شد و از آن زمان تاکنون بطور گسترده برای مطالعه و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها و غبار جاده‌های شهری استفاده می‌شود (Wei et al. 2010). این شاخص از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5B_n) \quad \text{رابطه ۱}$$

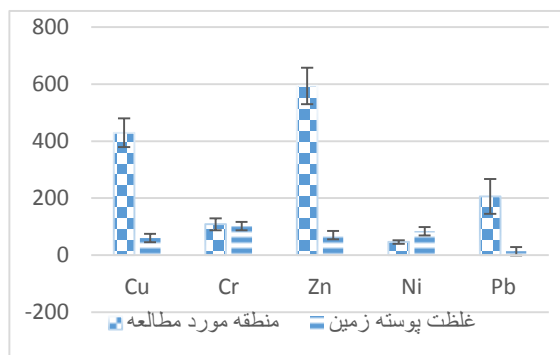
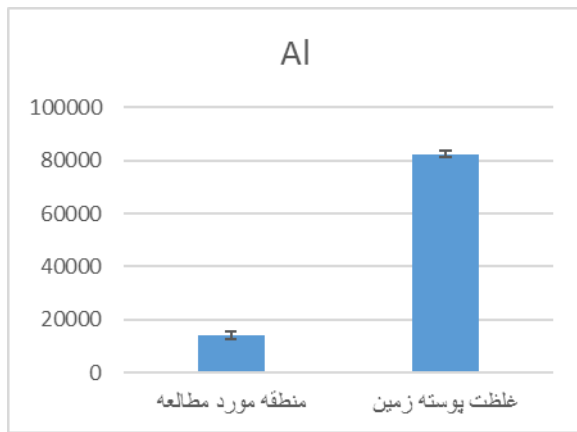
بر اساس شاخص انباشتی مولر C_n غلظت فلز سنگین در نمونه (خاک یا غبار) و B_n غلظت زمینه است. ضریب ۱/۵ به منظور کاهش تغییرات احتمالی در مقدار زمینه ناشی از ناپایداری‌های لیتولوژیک رسوبات اعمال شده است. با توجه به فرمول فوق هفت رده برای آلودگی در نظر گرفته می‌شود که از نظر رده فاقد آلودگی تا آلودگی بسیار (کاملاً غیر آلوده < 0 ، غیر آلوده تا آلودگی متوسط $0-1$ ، آلودگی متوسط $1-2$ ، آلودگی متوسط تا شدید $2-3$ ، آلودگی شدید $3-4$ ، آلودگی شدید تا بسیار شدید $4-5$ و آلودگی بسیار شدید > 5) طبقه بندی (Lu et al. 2009):

• شاخص آلودگی (PI) و شاخص آلودگی تجمعی

$$PI = C_n / B_n \quad \text{رابطه ۲}$$

محاسبه می‌شود:

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) می‌باشد. PI به صورت آلودگی پایین $PI \leq 1$ ، آلودگی متوسط $1 < PI \leq 3$ و آلودگی بالا $PI > 3$ طبقه بندی می‌شود. شاخص آلودگی تجمعی به عنوان مقدار میانگین شاخص آلودگی یک عنصر تعریف می‌شود (Lu



شکل ۱- میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه پوسته زمین و در نمونه های غبارات خیابانی جمع آوری شده از شهر تهران بر حسب $\mu\text{g/g}$

ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در غبارات خیابانی با استفاده از شاخص های مختلف

شاخص زمین انباشتگی برای هر یک از فلزات در غبارات شهر تهران محاسبه شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج شاخص I_{geo} نشان داد که عناصر As ، Cd ، Ni و Cr در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند ($0 < I_{geo} < 1$) و عناصر Cu و Pb به شدت آلوده اند ($I_{geo} > 5$). همچنین شاخص آلودگی PI برای عناصر مورد مطالعه در تمام نمونه های جمع آوری شده محاسبه شد که مقادیر آن ها به همراه میانگین که نمایانگر شاخص آلودگی تجمعی IPI می باشد در جدول ۱ ارائه شده است.

شاخص	As	Pb	Ni	Cd	Zn	Cr	Cu
I_{geo}	۰/۰۱	۹/۷۹	۰/۳۶	۰/۱۱	۵/۶۵	۰/۷۰	۴/۷۷
حد اقل PI	۰/۰۳	۶/۷۷	۰/۳۵	۰/۰۶	۱۲/۸۱	۰/۲۰	۳/۵۸
حد اکثر PI	۰/۰۱	۴۸/۸۹	۱/۱۰	۰/۳۳	۴/۵۷	۲/۲۳	۱۲/۰۷
IPI	۰/۰۲۹	۱۴/۷۰	۰/۵۵	۰/۱۹	۸/۴۸	۱/۰۶	۷/۱۶
EF	۰/۰۰۱	۸۵/۸۸	۳/۳۶	۱/۱۲	۴۹/۴۱	۵/۲۴	۴۰
Er	۰/۲۱	۷۳/۵	۲/۷۵	۵/۷	۸/۴۸	۲/۱۲	۳۵/۸
RI	۱۲۸/۵۶						

جدول ۱ - شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})، شاخص آلودگی تجمعی (IPI) و فاکتور غنی شدگی (EF) عناصر فلزی در غبارات خیابانی شهر تهران

C_s = غلظت فلز سنگین مورد نظر در نمونه

C_n = غلظت زمینه فلز سنگین مورد نظر

E_r = ریسک اکولوژیک عنصر

RI = ریسک اکولوژیک چند عنصر می باشد. Hakanson

T_r را به عنوان فاکتور سمیت^۱ برای یک ماده تعریف می کند و مقدار آن را برای کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، نیکل، کروم و روی به ترتیب ۳۰، ۱۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ تعیین کرد. طبقه بندی RI به صورت ریسک اکولوژیک پایین $RI < 150$ ، ریسک اکولوژیک متوسط $150 < RI < 300$ ، ریسک اکولوژیک بالا $300 < RI < 600$ و ریسک اکولوژیک خیلی بالا $RI \geq 600$ است.

نتایج

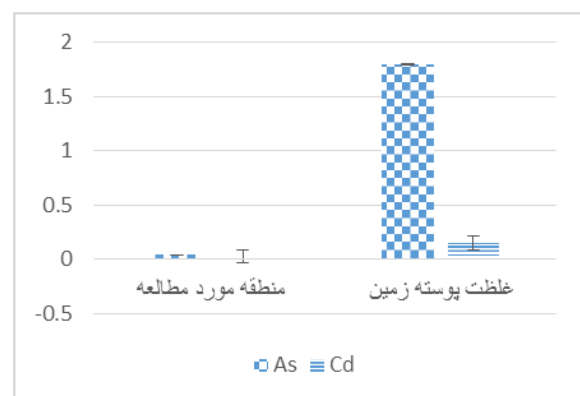
میزان فلزات سنگین اندازه گیری شده در غبارات خیابانی

شهر تهران

مقادیر میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه پوسته زمین و در نمونه های غبارات خیابانی جمع آوری شده از شهر تهران بر حسب $\mu\text{g/g}$ همراه اشتباه معیار در شکل ۲ ارائه شده است. میانگین غلظت عناصر اندازه گیری شده در غبارات خیابانی شهر تهران به ترتیب زیر است:

$$Zn > Cu > Pb > Cr > Ni > As > Cd$$

که فراوان ترین عنصر روی و کمترین فراوانی را کادمیوم داراست. کادمیوم در میان عناصر پوسته زمین کمترین فراوانی و کروم بیشترین فراوانی را داراست. همچنین جهت مقایسه میزان غلظت آلاینده های اندازه گیری شده در غبارات خیابانی شهر تهران با غلظت زمینه این عناصر در پوسته زمین (Lide, 2004) بر حسب $\mu\text{g/g}$ نمایش داده شده است.



¹ - Toxic factor

محاسبه شد که مقادیر آنها به همراه میانگین که نمایانگر شاخص آلودگی تجمعی IPI است در جدول ۱ ارائه شده است. شاخص PI برای عناصر Cd و As در تمام نمونه‌های غبار شهری سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان داد. برای عنصر Ni ۱۰ درصد از نمونه‌ها سطح متوسط آلودگی ($1 < PI \leq 3$) و ۹۰ درصد نمونه‌ها سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان دادند. برای عنصر Cr ۶۰ درصد از نمونه‌ها سطح متوسط آلودگی ($1 < PI \leq 3$) و ۴۰ درصد از نمونه‌ها سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان دادند. شاخص IPI عناصر Ni، Cd و As در تمام نمونه‌ها نشان دادند. شاخص IPI عناصر Cu، Zn و Pb سطح آلودگی بالا ($PI > 3$) در تمام نمونه‌ها نشان دادند. شاخص IPI عناصر Ni، Cd و As کوچکتر از یک بود. بنابراین سطح آلودگی آنها پایین است. عنصر Cr سطح آلودگی متوسط ($1 < IPI \leq 2$) داشت و Cu، Zn و Pb سطح آلودگی بالا ($IPI > 2$) را نشان دادند. نتایج مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که همه نمونه‌ها برای عناصر کروم و نیکل سطح پایین آلودگی ($PI < 1$)، برای مس بالای ۸۰ درصد از نمونه‌ها سطح آلودگی متوسط و حدود ۱۵ درصد نمونه‌ها آلودگی پایین و ۵ درصد نمونه‌ها آلودگی بالایی را نشان داد. همچنین برای عنصر روی نیز حدود ۸۰ درصد نمونه‌ها آلودگی بالا و ۲۰ درصد نمونه‌ها آلودگی متوسط، عناصر کادمیوم و آرسنیک بالای ۹۰ درصد نمونه‌ها آلودگی متوسط و کمتر از ۱۰ درصد از نمونه‌ها آلودگی بالایی را نشان دادند. عنصر سرب برای تمام نمونه‌ها آلودگی سطح بالایی را نشان داد. همچنین در مطالعه مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) شاخص IPI برای کروم و نیکل کمتر از (۱ سطح آلودگی پایین)، برای مس، آرسنیک و کادمیوم بین ۱ و ۲ (سطح آلودگی متوسط) و برای سرب و روی بالاتر از ۲ (سطح آلودگی بالایی) را نشان داد. شاخص EF برای عناصر مورد مطالعه نشان داد (جدول ۱) که As و Cd غنی شدگی کم ($EF < 2$)، Ni غنی شدگی متوسط (۲-۵)، Cr غنی شدگی بالا (۲۰-۵)، و Cu، Zn، Pb غنی شدگی شدیداً بالایی (> 40) داشتند که نشان‌دهنده منشأ انسانی این عناصر است و ترافیک منشأ عمده این عناصر است. ترکیبات Cu در روغن‌ها به عنوان مواد ضد فرسایش استفاده می‌شوند. این ترکیبات لایه محافظی روی سطح موتور ایجاد می‌کنند که از اصطکاک کاسته و از صدمات ناشی از سایش بین قسمت‌های مختلف موتور جلوگیری می‌کند (Okorie et al., 2012). روی به عنوان فعال‌کننده طی پروسه جوش دادن و محکم کردن لاستیک استفاده می‌شود و لذا در شهر تهران عمدتاً در اثر فرسایش تایر وسایل نقلیه تولید می‌گردد. سرب عمدتاً از رنگ، باتری‌ها، و افزودنی بنزین به هوای محیط‌های شهری وارد می‌شود (Degrye and Smolders, 2002). نتایج Saeedi et al. (2012) نشان داد که غبار سطحی خیابان‌های شهر تهران به طور زیادی با عناصر Cd، Cu، Pb و Zn غنی شده است. همچنین منشأ اصلی آلاینده‌های این کلان‌شهر از ترافیک و فعالیت‌های مرتبط است. نتایج مطالعه مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که شاخص غنی‌شدگی برای کروم و نیکل در سطح متوسط، و عناصر مس، کادمیوم، آرسنیک، سرب و روی سطح غنی‌شدگی بالا تا شدیداً بالایی را نشان دادند. در این مطالعه بالاترین شاخص Igeo، EF و IPI مربوط به عنصر سرب بود که با نتایج مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت داشت. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که این عنصر در اثر فعالیت‌های

شاخص PI برای عناصر Cd و As در تمام نمونه‌های غبار شهری سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان داد (جدول ۱). برای عنصر Ni ۱۰ درصد از نمونه‌ها سطح متوسط آلودگی ($1 < PI \leq 3$) و ۹۰ درصد نمونه‌ها سطح پایین آلودگی ($PI < 1$) را نشان دادند. برای عنصر Cr ۶۰ درصد از نمونه‌ها آلودگی پایین و ۴۰ درصد از نمونه‌ها سطح متوسط آلودگی ($PI < 1$) را نشان دادند. شاخص IPI عناصر Cu، Zn و Pb سطح آلودگی بالا ($PI > 3$) در تمام نمونه‌ها نشان دادند. شاخص IPI عناصر Ni، Cd و As کوچکتر از یک بود (جدول ۱). بنابراین سطح آلودگی آنها پایین است. عنصر Cr سطح آلودگی متوسط ($1 < IPI \leq 2$) داشت و عناصر Cu، Zn و Pb سطح آلودگی بالا ($IPI > 2$) را نشان دادند. شاخص EF برای عناصر مورد مطالعه نشان داد که As و Cd غنی شدگی کم ($EF < 2$)، Ni غنی شدگی متوسط (۲-۵)، Cr غنی شدگی بالا (۲۰-۵)، و Cu، Zn، Pb غنی شدگی شدیداً بالایی (> 40) داشتند (جدول ۱).

برآورد ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در غبارات خیابانی شهر تهران

برای بررسی میزان ریسک اکولوژیکی دو منطقه مورد مطالعه، مقادیر Er و RI با استفاده از رابطه ۴ محاسبه و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. در میان عناصر مورد مطالعه بالاترین ریسک اکولوژیکی مربوط به سرب و مس و کمترین ریسک اکولوژیکی مربوط به آرسنیک و کروم به ترتیب است. نتایج شاخص Igeo (جدول ۱) نشان داد که عناصر As، Cd، Ni و Cr در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند ($Igeo < 0$) که منشأ این عناصر عمدتاً از پوسته زمین است. عناصر Cu و Pb به شدت آلوده‌اند ($Igeo > 5$) که نشان‌دهنده منشأ انسانی این عناصر است. نتایج Solgi et al. (2012) در شهر اراک برای شاخص Igeo در خاک سه منطقه صنعتی نتایج نشان داد که در اکثر نمونه‌ها این شاخص برای کادمیوم در محدوده آلودگی متوسط تا آلوده قرار دارند. برای عنصر سرب اکثر نمونه‌ها آلودگی متوسطی، عنصر آرسنیک در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط، عنصر کروم و نیکل همه نمونه‌ها غیر آلوده بودند. نتایج مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) در غبارات خیابانی شهر تهران نشان داد که عناصر نیکل و کروم در محدوده غیر آلوده؛ عناصر مس، آرسنیک و کادمیوم در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط و عنصر روی آلودگی متوسطی دارند. همچنین سرب در محدوده آلودگی متوسط تا شدید قرار داشت. نتایج Kamani et al. (2018) و همکاران در اسلامشهر نشان داد که شاخص Igeo برای Cd، Ni، Pb، Cu، Cr و Zn به ترتیب سطوح آلودگی متوسط، غیر آلوده، متوسط تا شدید، غیر آلوده، غیر آلوده و متوسط تا شدید را نشان داد. همچنین ترتیب غلظت این آلاینده‌ها به صورت زیر بود:

$$Zn > Cu > Pb > Cd > Ni > Cr$$

همچنین این محققان گزارش دادند که بالاترین ریسک اکولوژیکی به کادمیوم و در کل میانگین RI برای همه نمونه‌ها ۱۹۲ بود که نشان‌دهنده ریسک بالقوه زیادی برای شهر است. همچنین شاخص آلودگی PI برای عناصر مورد مطالعه در تمام نمونه‌های جمع آوری شده

ریسک اکولوژیک را در خاک سطحی شهر تهران دارند. سرب در گروه B2 طبقه بندی EPA مواد سرطانزا قرار دارد و در معرض قرارگیری طولانی مدت با این آلاینده اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان باقی می‌گذارد (Morris and Greene, 2006). نتایج Saeedi et al. (2012) نشان دهنده ریسک اکولوژیک بالا برای همه نمونه‌های غبار سطحی شهر تهران بود. نتایج Amouei et al. (2017) نشان داد که کادمیوم و آسینیک بیشترین ریسک اکولوژیک و نیکل و کبالت کمترین ریسک اکولوژیک را در خاک شهر بابل دارند.

نتیجه گیری

در غبارات سطح خیابان بیشترین غلظت را سرب دارد و آلودگی این عنصر به شدت بالاست که نشان دهنده منشأ انسانی این عنصر می‌باشد. همچنین بالاترین ریسک اکولوژیکی را داراست. با توجه به خاصیت تجمعی و سرطانزایی این عنصر برای بدن انسان و اینکه منبع انتشار این عنصر عمدتاً از ترافیک در نواحی شهری می‌باشد، لزوم پایش و کنترل این عنصر در شهر تهران ضروری می‌باشد.

انسانی وارد محیط شهر تهران می‌شود. در گذشته یکی از منابع انتشار این عنصر بنزین حاوی سرب به عنوان سوخت غالب خودروها در شهر تهران بود. در حال حاضر بنزین سرب‌دار استفاده نمی‌شود اما ترکیبات سرب هنوز در روغن‌های روان‌کننده در موتور خودروها استفاده می‌شوند. علاوه بر آن فرسایش ناشی از لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) از منابع اصلی انتشار این عنصر به محیط‌های شهری اند (Smichowski et al., 2007). فرسایش وزنه‌های سربی بالانس چرخ‌های وسایل نقلیه موتوری، به عنوان منبع مهم در زمینه انتشار و تجمع سرب در خیابان‌ها تحت بررسی قرار گرفته و از سال ۲۰۰۵ استفاده از آن‌ها در اروپا برای وسایل نقلیه جدید ممنوع شده است (مظلومی و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه‌ی Kamani et al. (2015) در غبارات خیابانی شهر زاهدان انجام دادند، شاخص IPI برای عناصر Zn، Pb، Ni، Cu، Cr، Cd به ترتیب ۳/۶۵، ۲/۷۶، ۱/۶۸، ۱/۵۳، ۱/۲۵ و فاکتور غنی‌شدگی برای همه این عناصر نشان داد که منشأ این عناصر در مرکز شهر انسانی است. همچنین در مطالعه حاضر در میان عناصر مورد مطالعه بالاترین ریسک اکولوژیکی مربوط به سرب و مس و کمترین ریسک اکولوژیکی مربوط به آرسینیک و کروم به ترتیب است (جدول ۱). نتایج مظلومی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که سرب و کادمیوم بیشترین

منابع

- مظلومی، س.، و همکاران، ۱۳۹۶. ارزیابی میزان حضور فلزات و شبه فلزات در گرد و غبار خیابانی غرب و شرق تهران، مجله سلامت و محیط زیست، سال ۱۰، شماره ۲، ص ۲۹۲-۲۸۱.
- Gope, M., et al. 2017. Bioavailability and health risk of some potentially toxic elements (Cd, Cu, Pb and Zn) in street dust of Asansol, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 138, P. 231–241.
- Papa, S., et al. 2010. Microbial activities and trace element contents in an urban soil. *Environmental monitoring and Assessment*, Vol. 165, P. 193–203.
- Yang, Z., et al. 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 108, P. 27–38.
- Lee, B.K., Dong, T.T.T., 2011. Toxicity and source assignment of polycyclic aromatic hydrocarbons in road dust from urban resident and industrial areas in a typical industrial city in Korea, Vol. 13, P. 34–42.
- Tokalloglu, S., Kartal, S., 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment*, Vol. 40, P. 2797–2805.
- Ferreira-Baptista, L., De Miguel, E., 2005. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment. *Atmospheric Environment*, Vol. 39, P. 4501–4512.
- Majumdar, D., et al. 2012. PAHs in road dust: ubiquity, fate, and summary of available data. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 42, P. 1191–1232.
- Pant, P., Harrison, R.M., 2013. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: a review. *Atmospheric Environment*, Vol. 77, P. 78–97.
- Wei, B., et al. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 160, P. 33–45.
- Li, X., et al. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, Vol. 16, P. 1361–1368.
- Rasmussen, P.E., et al. 2013. Canadian House Dust Study: Population-based concentrations, loads and loading rates of arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead, and zinc inside urban homes. *Science of the Total Environment*, Vol. 443, P. 520–529.

- Wang, D.G., et al. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban street dust and surface soil: comparisons of concentration, profile, and source. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 56, P. 173–180.
- Gunawardana, C., et al. 2014. Role of particle size and composition in metal adsorption by solids deposited on urban road surfaces. *Environmental Pollution*, Vol. 184, P. 44–53.
- Liang, L., et al. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons associated with road deposited solid and their ecological risk: implications for road stormwater reuse. *Science of the Total Environment*, Vol. 563–564, P. 190–198.
- Franco, C.F.J., et al. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust of Rio de Janeiro and Niterói, Brazil: Particle size distribution, sources and cancer risk assessment. *Science of the Total Environment*, Vol. 599–600, P. 305–313.
- Wang, J., et al. 2016. Bioaccessibility, sources and health risk assessment of trace metals in urban park dust in Nanjing, Southeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 128, P. 161–170.
- Lorenzi, D., et al. 2011. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban street dust: implication for human health. *Chemosphere*, Vol. 83, P. 970–977.
- Benjamin, A., et al. 2016. Occurrence, distribution and health risk from polycyclic aromatic compounds (PAHs, oxygenated-PAHs and azaarenes) in street dust from a major West African Metropolis. *Science of the Total Environment*, Vol. 553, P. 439–449.
- Hussain, K., et al. 2015. Street dust bound PAHs, carbon and heavy metals in Guwahati city: seasonality, toxicity and sources. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 19, P. 17–25.
- Jordanova, D., et al. 2014. Magnetic susceptibility of road deposited sediments at a national scale: relation to population size and urban pollution. *Environmental Pollution*, Vol. 189, P. 239–251.
- Alizadeh-Choobari, O., et al. 2016. Temporal and spatial variations of particulate matter and gaseous pollutants in the urban area of Tehran. *Atmospheric Environment*, Vol. 141, P. 443–453.
- Ordonñez, A., et al. 2003. Distribution of heavy metals in street dust and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 44, P. 160–170.
- Lu, X., et al. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 161, P. 1058–62.
- Rashki, A., et al. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, Vol. 90, P. 227–36.
- Addo, M.A., et al. 2012. Heavy metal concentration in road deposited dust at Ketu-South District, Ghana. *The International Journal of Science and Technology*, Vol. 2, P. 28–39.
- Haritash, A., 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*, Vol. 128, P. 411–20.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, Vol. 14, P. 975–1001.
- Soltani, N., et al. 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*, Vol. 505, P. 712–723.
- Qiu, H. 2010. Studies on the potential ecological risk and homology correlation of heavy metal in the surface soil. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 2, P. 194–201.
- Sun, Y., et al. 2010. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 174, P. 455–62.
- Lide, D.R. 2004. *Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton: CRC Press
- Solgi, E., et al. 2012. Soil Contamination of Metals in the Three Industrial Estates, Arak, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, Vol. 88, P. 634–638.
- Kamani H., et al. 2018. Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 24, P. 961–970.
- Okorie, A., et al. 2012. Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing. *Chemosphere*, Vol. 86, P. 460–67.
- Smolders, E., Degryse, F. 2002. Fate and effect of zinc from tire debris in soil. *Environmental Science & Technology*, Vol. 36, P. 3706–10.

- Saeedi, M., Li, L.Y. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 227–228, P. 9–17.
- Smichowski, P., et al. 2002. Traffic-Related Elements in Airborne Particulate Matter. *Applied Spectroscopy Reviews*, Vol. 43, P. 23-49.
- Kamani, H., et al. 2015. Heavy Metal Contamination in Street Dusts with Various Land Uses in Zahedan, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 94, P. 382–386.
- Greene, N.A., Morris, V.R., 2006. 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*, Vol. 3, P. 86-97.
- Amouei, A., et al. 2017. Heavy Metal Contamination and Risk Assessment of Surface Soils of Babol in Northern Iran. *Health Scop*, Vol. 7, e62423.