

## ارزیابی آلودگی زیست‌محیطی برخی از فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مریم هلیل<sup>۱</sup>، نوید فنوتی<sup>۱\*</sup> و احد نظرپور<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۶)

### چکیده

غلظت بالای فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی به‌عنوان یک خطر جدی برای سلامت انسان و محیط زیست به‌شمار می‌آید. در این مطالعه برای بررسی سطح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهری تعداد ۳۰ عدد نمونه گرد و غبار از پیاده‌رو خیابان‌های اصلی آبادان برداشت و غلظت فلزات سنگین به روش طیف‌سنجی جفت شده پلاسمای القایی (ICP-OES) تعیین شد. سطح آلودگی بر اساس شاخص‌هایی از جمله، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی نمره برآورد شد. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، آرسنیک و کبالت به ترتیب ۵۹/۱۳، ۲۸۷/۵۰، ۱۱۲/۹۷، ۵۰/۰۳، ۰/۵۲، ۵۶/۷۷، ۳۵/۸۳، ۷/۱۰ و ۷/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بر اساس میانگین فاکتور غنی‌شدگی نیکل، مس و سرب دارای آلودگی بسیار زیاد و روی دارای آلودگی به شدت زیاد بود. بر اساس میانگین شاخص آلودگی روی و سرب دارای آلودگی زیاد هستند. همچنین بر اساس ارزیابی شاخص جامع آلودگی نمره ۹۶/۶۶ درصد از نمونه‌ها دارای درجه آلودگی بالا هستند. الگوی توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین نشان داد که در مناطقی با تراکم جمعیت بالا، حجم ترافیک بالا و مراکز خرید شهری، آلودگی شدیدی از نظر فلزات سنگین وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، گرد و غبار خیابانی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی، شاخص جامع آلودگی نمره

۱. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: N.ghanavati@iauhvaz.ac.ir

## مقدمه

مناطق شهری در سرتاسر جهان تغییرات سریعی را از نظر شهرنشینی و توسعه اقتصادی تجربه می کنند (۱، ۲۸). در نتیجه، این امر باعث کاهش کیفیت محیط شهری شده است (۵ و ۶). گرد و غبار خیابانی، انباشت ذرات جامد به شکل آلاینده‌های آلی و غیرآلی روی سطوح زمین در فضای باز، شاخصی ارزشمند برای توصیف کیفیت محیط زیست شهری است (۱۸ و ۲۳). ذرات رسوب شده که گرد و غبار خیابانی را تشکیل می‌دهند، می‌توانند از منابع متنوع مانند فرسایش خاک اطراف، رسوبات جوی و فعالیت‌های انسان‌زاد مانند فعالیت‌های صنعتی، شهری و ترافیکی ایجاد شوند (۴، ۱۹ و ۲۱). ترکیب شیمیایی گرد و غبار خیابانی می‌تواند توسط عواملی مانند سایش تایر و لنت ترمز، احتراق بنزین خروجی از آگزوز اتومبیل‌ها، روان‌کننده‌های روغنی و سایش سطوح رنگی پیاده‌روها تعیین شود (۴، ۲۰ و ۳۷). گرد و غبار خیابانی یک مخزن اصلی برای پتانسیل سمیت ناشی از فلزات سنگین است (۱۳ و ۳۸). گرد و غبار شهری اغلب شامل سطوح بالای فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی هستند (۱۰، ۲۱ و ۲۲). فلزات سنگین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین آلاینده‌ها در محیط زیست طبقه‌بندی می‌شوند. وجود فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی باعث می‌شود که آنها در بدن انسان انباشته و در نتیجه تبدیل به خطرات بهداشتی شوند (۲۷). این آلاینده‌ها از منابع مختلف منتشر می‌شوند و می‌توانند تأثیر مستقیم بر سلامت انسان داشته باشند زیرا می‌توانند به‌وسیله مسیرهای مختلف مانند استنشاق، بلع و جذب پوستی به بدن انسان منتقل شوند (۲۵). مصرف بیش اندازه فلزات سنگین باعث مسمومیت‌های حاد و مزمن مانند آسیب به سیستم‌های عصبی مرکزی، ترکیب خون، ریه، کلیه‌ها، کبد و حتی مرگ می‌شود (۳۲ و ۳۳). با توجه به خطر جدی آلودگی فلزات سنگین روی سلامتی انسان، باید میزان آلودگی این فلزات مورد بررسی قرار گیرد. امروزه مطالعات زیادی در مورد غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده است که تعداد اندکی از این مطالعات مربوط به کشورهای توسعه یافته است (۲۶ و ۲۹). مطالعه فرهنگدکیا و

همکاران (۱۷) در مورد فلزات سنگین در ذرات راسب شونده در هوای شهر زنجان نشان داد که که فعالیت‌های صنعتی مهم‌ترین عامل افزایش غلظت فلزات سنگین در ریزش‌های جوی خشک و تر هستند. بهروش و همکاران (۷) در مطالعات خود روی گرد و غبار خیابانی در شهر مشهد دریافتند که غلظت فلزات سرب، مس، روی و نیکل بیشتر از غلظت این فلزات در بخش بالایی پوسته زمین است. ضریب همبستگی مثبت میان فلزات سنگین روی و مس و همچنین سرب و روی، نشان‌دهنده منابع تولید کننده همانند است که همان سوخت خودروها و سایش لنت ترمز وسایل نقلیه است. دست‌گشاده و همکاران (۱۴) در مطالعه ای به بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در غبار جاده‌ای شهر کرج پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی، میزان فلزات سرب، مس و روی در کلیه جاده‌ها در اثر فعالیت‌های انسانی افزایش یافته و منشأ طبیعی ندارد. همچنین مقادیر محاسبه شده شاخص بار آلودگی در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داد که در مناطق پرتراфик و صنعتی، میزان بار آلودگی فلزات سنگین بالاتر است. در مطالعه‌ای دیگر در شهر استانبول (ترکیه)، فلزات سنگین خاک منطقه با گرد و غبار شهری مورد مقایسه قرار گرفت و به این نتایج رسیدند که غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار، چندین برابر بیشتر از خاک است. به طور مثال میانگین غلظت سرب ۹ تا ۱۱ برابر، مس و کادمیوم ۲ برابر و روی ۹ تا ۱۲ برابر در گرد و غبار بیشتر از خاک بود (۳۹) که این موضوع نشان می‌دهد کنترل ریزگردهای شهری، امری مهم تلقی می‌شود. با توجه به مطالب فوق الذکر و اهمیت زیست‌محیطی این مسئله لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان احساس شده است. بدین ترتیب هدف از پژوهش حاضر ۱- تعیین غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل، روی، مس، کادمیوم، کروم، آرسنیک، وانادیوم و کبالت) در غبار خیابانی شهر آبادان، ۲- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی (فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشتگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی نمره) و

جدایش  $1 \times 1$  مترمربع اقدام به نمونه‌برداری شد (شکل ۱). گرد و غبار سطحی با استفاده از برس‌های قلمی در سطح تعیین شده جدا و بدون دخالت هر گونه ابزار فلزی در شیشه‌های کهربایی قرار گرفته و توسط فویل آلومینیوم مهر و موم شد تا از ورود مستقیم نور به آنها جلوگیری شود. پس از نمونه‌برداری، تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه از الک  $200$  مش عبور داده شد و تا زمان آزمایش نمونه‌ها در یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در نهایت نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین به آزمایشگاه منتقل شد. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز توسط دستگاه (ICP-OES) با روش انحلال چهار اسید ( $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ) صورت گرفت (۳۶). پس از توزین نمونه‌ها  $0.250$  گرم  $\text{HF}$  ( $40$  درصد و  $1 \text{ mL}$ )  $\text{HClO}_4$   $70$  درصد اضافه کرده و محلول آماده شده را تا به دست آمدن یک محلول ژله‌ای، در ظرف مخصوص پلاستیکی (HOT BOX) داخل آب تا دمای  $200$  درجه سانتی‌گراد قرار داده شد سپس  $\text{HCl}$  ( $3/75 \text{ mL}$ )  $37$  درصد و  $\text{HNO}_3$  ( $1/25 \text{ M}$ )  $65$  درصد اضافه کرده و محلول را به حجم  $25$  میلی‌لیتر رسانده و در نهایت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین با روش طیف‌سنجی پلاسمایی جفت شده القایی (ICP-OES) با دستگاه مدل (Model Varian 735) انجام پذیرفت. تضمین کیفیت (QA) و کنترل کیفیت (QC) توسط اندازه‌گیری نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تکراری (با دقت  $4$  تا  $6$  درصد) و مواد مرجع NIST 2710 (با دقت  $5 \pm 100$ ) انجام گرفت. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel و محاسبات شاخص‌ها و تهیه نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین به روش عکس فاصله (IDW) نیز به ترتیب توسط نرم‌افزارهای Excel و ArcGIS v10.3 انجام شد.

### ارزیابی تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین

در این پژوهش برای ارزیابی و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین از شاخص‌های زیست‌محیطی متفاوتی استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از:

۳- تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

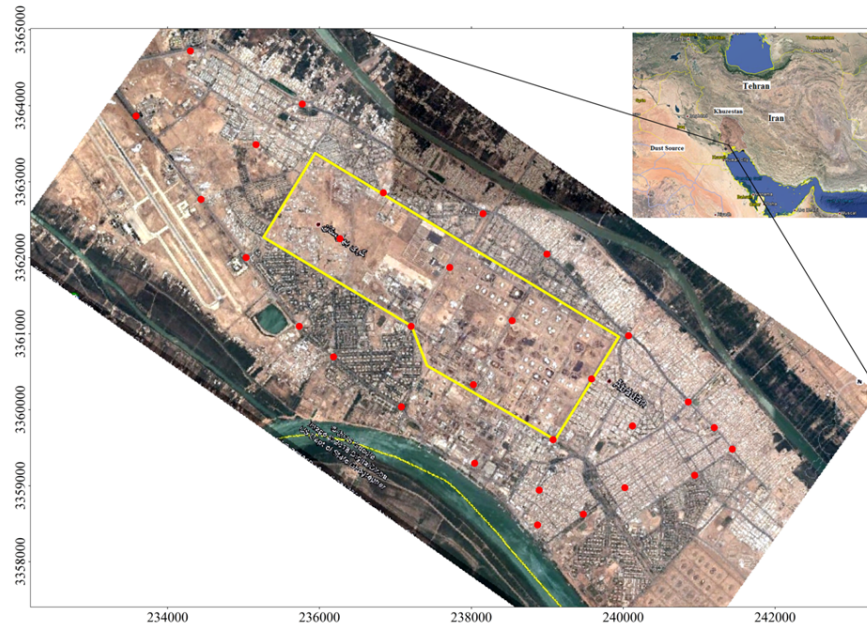
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

آبادان یکی از شهرهای بزرگ استان خوزستان است. موقعیت جغرافیایی شهر آبادان از نظر جغرافیایی در  $29^{\circ} 20' 30''$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 17' 12''$  طول شرقی قرار گرفته است و با ارتفاع  $3$  متر از سطح دریا و با پهناوری  $2796$  کیلومتر مربع است. جمعیت آن در سرشماری سال  $1395$ ،  $347$  هزار نفر بوده است. شهر آبادان به واسطه قرار داشتن در مجاورت بیابان‌های کشور عراق و فاصله کم با صحرای عربستان و نیز فعالیت دو مجتمع بزرگ پالایشگاه و پتروشیمی، هر ساله شاهد ورود و انباشت حجم بسیار زیادی از ترکیبات حاوی فلزات سنگین است. این شهر دارای آلودگی‌هایی از قبیل فعالیت‌های نفتی، احتراق نفت و گاز، صنایع و ترافیک بوده و به‌منظور پالایش و مدیریت آلودگی‌های موجود، طی شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب ارزیابی زیست‌محیطی در این شهر حائز اهمیت است.

### نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

در این تحقیق به‌منظور مطالعه غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان، نمونه‌برداری با استفاده از روش‌های استاندارد ارائه شده در مقالات علمی استفاده شد. روش نمونه‌برداری بدین صورت بود که ابتدا با استفاده از توزیع نمونه‌برداری تصادفی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، محل‌های پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد. سپس با اصلاح موقعیت هر کدام از محل‌های نمونه‌برداری موقعیت جغرافیایی (UTM) هر کدام از نقاط به دستگاه سیستم موقعیت جغرافیایی (GPS) برای دستیابی سریع به محل نمونه‌برداری استفاده شد. پس از تعیین محل، در مطالعه حاضر تعداد  $30$  نمونه از مکان‌هایی با کاربری‌های مختلف ابتدا با استفاده از ابزار تهیه شده



شکل ۱. نقشه پراکندگی نقاط نمونه برداری در شهر آبادان

استفاده شد. این فاکتور در تحلیل‌های زیست‌محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۴).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{Sample}}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{Background}} \quad (1)$$

در این رابطه:

EF = فاکتور غنی‌شدگی

C<sub>x</sub> = غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گرد و غبار و

C<sub>ref</sub> = غلظت عنصر مرجع است.

عنصر مرجع در تعیین فاکتور غنی‌شدگی، عنصری است که منشأ کاملاً طبیعی داشته باشد. در تحقیقات زیست‌محیطی معمولاً از Sr، Al، Fe، Ti، Zr به‌عنوان عناصر مرجع استفاده می‌شود (۲). اگر میزان فاکتور غنی‌شدگی کم باشد، آلودگی چندان اهمیتی ندارد، زیرا معمولاً غنی‌شدگی‌های کوچک مقدار مربوط به اختلاف در ترکیب گرد و غبارهای محلی و یا نوع عنصر مرجع مورد استفاده در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی است (۱۲). در منطقه مورد مطالعه، عنصر Al به‌دلیل ماهیت ژئوشیمیایی، تغییرات بسیار

#### فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

فاکتور غنی‌شدگی (EF) نشان‌دهنده مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به عبارت دیگر این فاکتور بیانگر شدت تأثیر عوامل انسان‌زاد (آنتروپوژنیک) است. فاکتور غنی‌شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. در مطالعات مختلف، مقادیر محاسبه شده فلزات سنگین از مطالعات پیشین را به‌عنوان مقدار زمینه انتخاب می‌کنند (۳۰ و ۴۶) و در بعضی از مطالعات نیز از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به‌عنوان مقدار زمینه استفاده شده است (۱۶). بنابراین با توجه به اینکه اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان برای نخستین بار در این مطالعه انجام می‌گیرد، به‌دلیل موجود نبودن اطلاعات قبلی و همچنین عدم تدوین و ارائه مقادیر غلظت‌های زمینه‌ای فلزات برای نواحی مختلف کشور (درحالی‌که این مقادیر به‌وسیله بسیاری از کشورها تهیه و ارائه شده است (۲۳ و ۴۰)، از مقادیر میانگین موجود در پوسته زمین به‌عنوان غلظت زمینه فلزات

## نتایج و بحث

آنالیز پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهر آبادان نشان داد که غلظت تمام فلزات سنگین به جز وانادیوم در نمونه‌های گرد و غبار شهر آبادان چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود (جدول ۱). در واقع این مطلب نشان می‌دهد که غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسان‌زاد مثل فعالیت تأسیسات صنعتی نظیر پالایشگاه و پتروشیمی آبادان، ترافیک، تأسیسات تولید برق، سوختن سوخت‌های فسیلی، بدسوزی و فعالیت‌های ساخت و ساز است. مطالعات دهقانی و همکاران (۱۶) در گرد و غبار خیابانی شهر تهران نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین Cu, Pb, Sb, Zn و به وضوح مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر ساییدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت‌های فسیلی است. مطالعات انجام شده توسط جبین (۲۲) بر غلظت فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی در چهار منطقه مرکز شهر، تونل‌ها، پارکینگ‌های سربسته خودروها و محل‌های مسکونی نشان داد که بیشترین مقدار فلزات سنگین در تونل‌ها و کمترین غلظت در مناطق مسکونی موجود است. سپس با تحلیل نتایج به‌دست آمده مشخص شد که همبستگی زیادی بین سرب و کادمیم وجود دارد. بنابراین می‌توان گفت این آلاینده‌ها منبع انتشار مشترک دارند. مطالعات نشان می‌دهند که اصلی‌ترین منبع انتشار سرب در غبارهای خیابانی، مواد افزودنی به سوخت خودروهاست (۴۶). کروم، مس و روی از فرسایش آلیاژهای استفاده شده در وسایل نقلیه و سایر سطوح و مواد فلزی ناشی می‌شوند (۴۰). همچنین ممکن است در صورت وجود کارخانه و صنایع خاص، فعالیت‌های صنعتی نیز منابعی برای انتشار این فلزات در گرد و غبار خیابانی باشند (۳ و ۱۱). احتراق سوخت‌های فسیلی و روغن‌های مورد استفاده در خودروها از منابع تولید کننده نیکل هستند (۴۰). مهم‌ترین منبع آرسنیک از مواد مادر است، با این وجود تجمع آرسنیک در محیط‌های شهری در نتیجه منابعی از جمله، احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع فرآوری فلزات و فعالیت‌های معدنی هستند (۸). کادمیم در

ناچیز و تحرک کمی که در محیط از خود نشان می‌دهد، به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شد (۸). فاکتور غنی‌شدگی همچنین می‌تواند در تعیین درجه آلودگی گرد و غبار کمک کند. درجه آلودگی فلزات سنگین را می‌توان به پنج دسته طبقه‌بندی کرد. سطح آلودگی کم ( $EF < 2$ )، سطح آلودگی متوسط ( $2 \leq EF < 5$ )، سطح آلودگی زیاد ( $5 \leq EF < 20$ )، سطح آلودگی بسیار زیاد ( $20 \leq EF < 40$ ) و سطح آلودگی به شدت زیاد ( $EF \geq 40$ ).

## شاخص آلودگی (Pollution Index)

شاخص آلودگی برای ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد، فرمول آن به‌صورت زیر است

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad (2)$$

$C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه،  $B_n$  غلظت زمینه‌ای همان فلز سنگین در پوسته زمین، این شاخص در چهار گروه غیرآلوده ( $PI \leq 1$ )، آلودگی کم ( $1 < PI \leq 2$ )، آلودگی متوسط ( $2 < PI \leq 3$ ) و آلودگی شدید ( $PI < 3$ ) طبقه‌بندی می‌شود (۹ و ۲۴).

## شاخص جامع آلودگی نمره

### (Nemro Integrated Pollution Index)

این شاخص به‌صورت معادله زیر بیان می‌شود:

$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{i\max}^2 + PI_{i\ave}^2}{2}} \quad (4)$$

$PI_{i\max}$ ، ماکزیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین و  $PI_{i\ave}$ ، میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین است. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی برای همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد در منطقه مشخص می‌شود (۳۴). این شاخص در پنج سطح بدون آلودگی ( $NIPI \leq 0/7$ )، خطر هشدار آلودگی ( $0/7 < NIPI \leq 1$ )، سطح آلودگی کم ( $1 < NIPI \leq 2$ )، سطح متوسط آلودگی ( $2 < NIPI \leq 3$ ) سطح بالای آلودگی ( $NIPI > 3$ ) طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۱. خلاصه‌ای از پارمترهای آماری غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در گرد و غبار آبادان

فلزات سنگین	حداکثر - حداقل	انحراف معیار $\pm$ میانگین	چولگی	زمینه
سرب	۱۵-۲۲۶	$۵۹/۱۳ \pm ۴۲/۹۰$	۳/۶۷	۱۵
روی	۱۱۶-۷۰۱	$۲۸۷/۵۰ \pm ۱۳۹/۴۲$	۱/۰۱	۳۱
مس	۳۱-۹۸۲	$۱۱۲/۹۷ \pm ۱۶۸/۰۱$	۴/۸۳	۲۹
کروم	۳۱-۷۲	$۵۰/۰۳ \pm ۸/۳۲$	۰/۳۵	۳۵
کادمیوم	۰/۴۳-۰/۷۵	$۰/۵۲ \pm ۰/۰۸$	۱/۱۴	۰/۰۹
نیکل	۳۵-۸۸	$۵۶/۷۷ \pm ۹/۸۸$	۰/۶۹	۲۰
وانادیوم	۲۸-۴۸	$۳۵/۸۳ \pm ۳/۹۷$	۰/۷۱	۶۰
آرسنیک	۳/۶۰-۲۹/۱۰	$۷/۱۰ \pm ۵/۱۲$	۳/۳۱	۴/۸
کبالت	۵-۱۲	$۷/۵۳ \pm ۱/۳۸$	۰/۸۴	۱۰

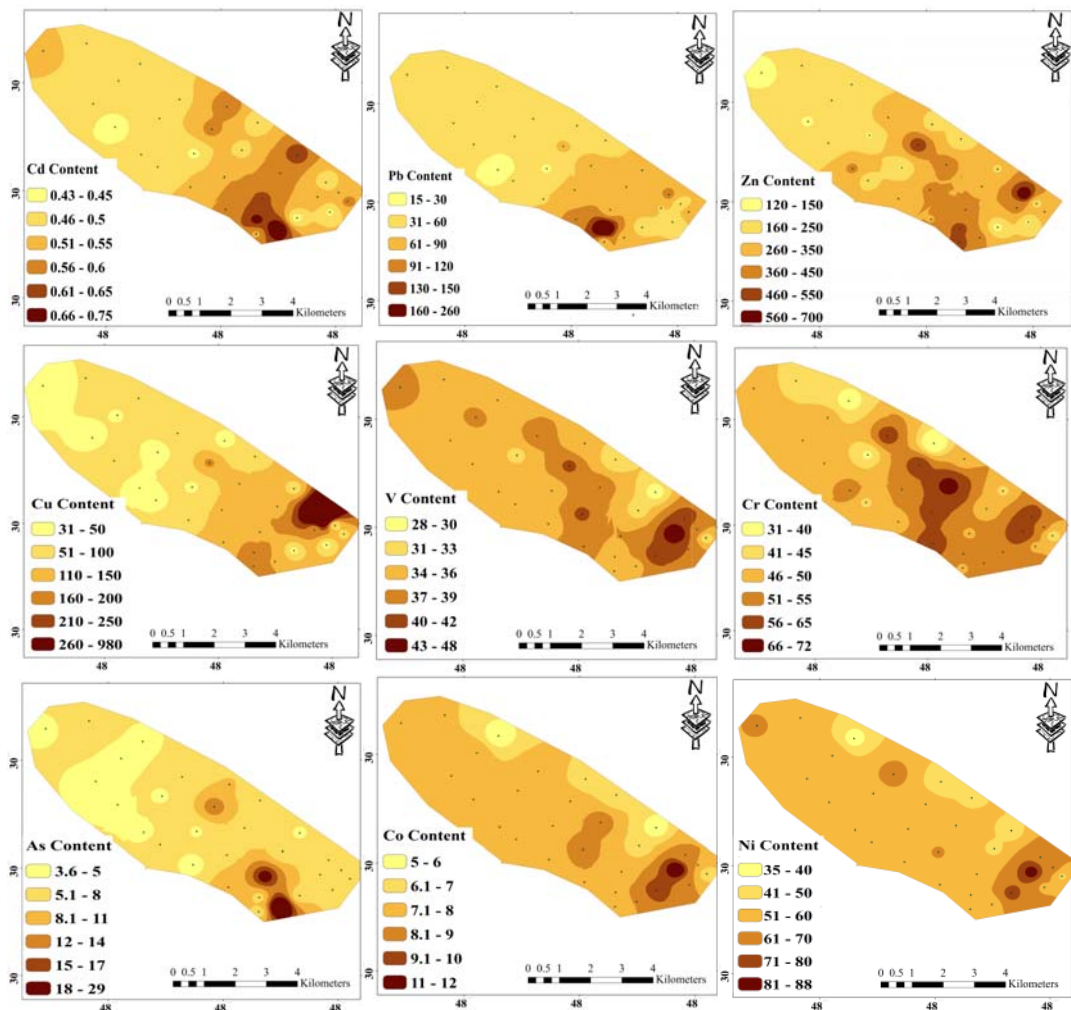
جدول ۲. میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) موجود در گرد و غبار خیابانی آبادان و دیگر نقاط جهان

شهر	سرب	روی	مس	کروم	کادمیوم	آرسنیک	وانادیوم	کبالت	نیکل	منبع
تهران (ایران)	۱۱۵/۷۱	۴۰۳/۴۶	۱۳۶/۳۴	۶۷/۱۶	۰/۵	۶/۵۸	-	-	۷۷/۵۲	(۲۸)
شیراز (ایران)	۲۵۷/۴	۸۷۳/۲	۲۲۵/۳	۳۳/۵	۱۰/۷	-	-	-	۳۴/۸	(۱۱)
هنگ کنگ (چین)	۱۲۰	۳۸۴۰	۱۱۰	۱۲۴	-	۶۶/۸	۳۶/۶	۹/۵۲	۲۸/۶	(۳۱)
بیجینگ (چین)	۵۴	۲۱۹	۴۶	۸۷	۱/۱	۶	-	۹	۳۴	(۱۲)
اوتاوا (کانادا)	۳۳	۱۰۱	۳۸	۴۲	۰/۳	۱	-	۸	۱۵	(۲۷)
مادرید (اسپانیا)	۱۹۲۷	۴۶۷	۱۸۸	۶۱	-	-	۱۷	۳	۴۴	(۸)
امان (اردن)	۲۷۱	۳۵۱	۱۳۹	۲۹	۱/۹	-	-	۳۲	۶۶	(۱۷)
آبادان (این مطالعه)	۵۹/۱۳	۲۸۷/۵۰	۱۱۲/۹۷	۵۰/۰۳	۰/۵۲	۷/۱۰	۳۵/۸۳	۷/۵۳	۵۶/۷۷	-

جمله بیجینگ و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز مس در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان که در جدول (۲) ارائه شده‌اند نشان‌دهنده پایین بودن مقدار میانگین این فلز نسبت به برخی از شهرها مانند تهران، شیراز، مادرید و امان و همچنین این مقدار از شهرهایی مانند هنگ کنگ، بیجینگ و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز کروم موجود از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند تهران، هنگ کنگ، بیجینگ و مادرید کمتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی از جمله شیراز، امان و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز کادمیوم در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند شیراز، بیجینگ و

ساخت باتری، پلاستیک و مصالح ساختمانی استفاده می‌شود (۴۰). در این مطالعه ساختمان‌های اداری و مسکونی به وفور در اطراف خیابان وجود داشت، بنابراین به نظر فرسایش تایر و باتری خودروها و مواد ساختمانی منشأ اصلی انتشار کادمیم است. در هر صورت منشأ احتراقی برای کادمیم کم احتمال است اما منشأ انسانی آن در شهر و شدت آلودگی محرز است.

غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان که در جدول (۲) آورده شده، نشان‌دهنده این است که میانگین غلظت سرب و روی موجود از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند تهران، شیراز، هنگ کنگ، مادرید و امان کمتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی از



شکل ۲. توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در شهر آبادان

احتمالاً ناشی از منابع دیگری به غیر از منابع طبیعی‌اند. یکی از منابع انتشار را می‌توان سوخت مصرفی در خودروهای شهر آبادان دانست که ممکن است با توجه به کیفیت نامناسب آن میزان آلاینده‌های خطرناک در آبادان نسبت به شهرهای صنعتی و پرجمعیت جهان را افزایش دهد. همچنین فعالیت‌های صنعتی، خوردگی بدنه خودروها، سطوح فلزی مختلف در شهر، ذرات ریز لاستیک و لنت ترمز خودروها نیز از منابع ورود این فلزات به شکل ذره‌ای به محیط شهری هستند.

نقشه الگوی توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در شکل (۲) ارائه شده است. الگوی توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین به شناسایی مناطق با آلودگی بالا و منابع آلودگی کمک می‌کند. با

امان کمتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی از جمله تهران و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز آرسنیک موجود از میانگین غلظت شهر هنگ کنگ کمتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی نظیر تهران، بیجینگ و اوتاوا بیشتر است. میانگین غلظت وانادیوم در شهر آبادان از میانگین غلظت این فلز از شهر هنگ کنگ کمتر و از شهر مادید بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز کبالت موجود از میانگین غلظت تمامی شهرها به جز مادید کمتر است. همچنین میانگین غلظت فلز نیکل موجود از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند تهران و امان کمتر و از شهرهایی مانند شیراز، هنگ کنگ، بیجینگ، مادید و اوتاوا بیشتر است. میزان بالای برخی از آلاینده‌ها در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان نگران‌کننده بود و

جدول ۳. نتایج آماری فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	فاکتور غنی‌شدگی						
	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی بالا	آلودگی بسیار بالا
سرب	۶/۹۱	۱۲۱/۹۴	۲۹/۱۸	۰	۰	۱۳(٪۴۳/۳)	۱۱(٪۳۶/۶۶)
روی	۲۰/۴۹	۱۵۷/۰۳	۶۷/۹۶	۰	۰	۰	۷(٪۲۳/۳۳)
مس	۶/۹۹	۲۳۵/۱۵	۲۸/۳۵	۰	۰	۱۵(٪۵۰)	۱۲(٪۴۰)
کروم	۷/۶۴	۱۳/۸۶	۱۰/۴۰	۰	۰	۳۰(٪۱۰۰)	۰
کادمیوم	۱۱/۷۷	۳۲/۷۵	۱۹/۳۵	۰	۰	۲۰(٪۶۶/۶۶)	۱۰(٪۳۳/۳۴)
نیکل	۱۶/۷۰	۲۳/۶۱	۲۰/۴۴	۰	۰	۹(٪۳۰)	۲۱(٪۷۰)
وانادیوم	۳/۶۴	۷/۱۰	۴/۳۷	۰	۲۹(٪۹۶/۶۷)	۱(٪۳/۳۳)	۰
آرسنیک	۵/۵۲	۴۲/۸۳	۱۰/۹۲	۰	۰	۲۸(٪۹۳/۳۴)	۱(٪۳/۳۳)
کبالت	۴/۸۶	۶/۴۵	۵/۴۲	۰	۴(٪۱۳/۳۴)	۲۶(٪۸۶/۶۶)	۰

فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای هر یک از فلزات سنگین در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار به صورت  $V < Co < Cr < As < Cd < Ni < Cu < Pb < Zn$  کاهش می‌یابد. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۱/۵ نشان‌دهنده آن است که آن فلز به‌طور کامل از مواد پوسته زمین و یا فرایندهای طبیعی به‌وجود آمده است. درحالی‌که فاکتورهای غنی‌شدگی بیشتر از ۱/۵ نشان‌دهنده آن است که آن فلز به احتمال زیاد تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد به وجود آمده است (۴۱). مقدار میانگین فاکتور غنی‌شدگی کلیه فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق بیشتر از ۱/۵ است. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این فاکتور بدین شرح است که وانادیوم دارای آلودگی متوسط ( $EF < 5$ )، کبالت، کروم، آرسنیک و کادمیوم دارای آلودگی زیاد ( $5 < EF < 20$ ) و نیکل، مس و سرب دارای آلودگی بسیار زیاد ( $EF < 40$ ) هستند. به علاوه روی به دلیل میانگین فاکتور غنی‌شدگی بالاتر از ۴۰، دارای آلودگی به شدت زیاد است.

شاخص آلودگی معمولاً برای ارزیابی کیفیت محیط

توجه به فعالیت دو مجتمع بزرگ پالایشگاه و پتروشیمی و ورود و انباشت حجم بسیار زیادی از ترکیبات حاوی فلزات سنگین انتظار بر این بود که بالاترین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی در اطراف این مراکز مشاهده شود اما بر اساس نتایج به‌دست آمده از نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین و انطباق آن با منطقه بندی شهری آبادان در واقع نشان‌دهنده غلظت بالای فلزات سنگین در مناطق با تراکم جمعیتی بالا، حجم ترافیک بالا و مراکز خرید شهری است. بر اساس آمار هواشناسی میزان بارش سالیانه شهر آبادان در حدود ۱۵۷ میلی‌متر در سال است و در بیشتر سال خشک و همراه با باد است. باد اصلی منطقه، باد شمال غربی است که در تمام فصول سال در حال وزیدن بوده ولی در تابستان دارای شدت بیشتری است. وزش این باد باعث غبارآلوده شدن منطقه می‌شود. غلظت فلزات سنگین در سمت خلاف برای باد غالب دارای غلظت بیشتری نسبت به طرف دیگر هستند که در واقع نشان‌دهنده این موضوع هستند که باد بر توزیع و پراکنش فلزات سنگین تأثیر بسیار زیادی دارد. این امر باعث می‌شود که هوای آلوده که حاوی انواع فلزات سنگین است را از مناطق اطراف پالایشگاه و پتروشیمی با خود حمل کرده و به مناطق شهری و مسکونی منتقل کند.

فاکتور غنی‌شدگی به‌منظور تعیین منابع انسان‌زاد و یا طبیعی



جدول ۴. نتایج آماری شاخص آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	شاخص آلودگی						تعداد نمونه‌ها
	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	
سرب	۱/۰۰	۱۷/۴۷	۳/۹۴	۱(۰/۳۳)	۲(۰/۶۶)	۱۳(۰/۴۳/۳۳)	۱۴(۰/۴۶/۶۶)
روی	۳/۷۴	۲۲/۶۱	۹/۲۷	۰	۰	۰	۳۰(۰/۱۰۰)
مس	۱/۰۷	۳۳/۸۶	۳/۹۰	۰	۱۳(۰/۴۳/۳۳)	۵(۰/۱۶/۶۶)	۱۲(۰/۴۰)
کروم	۰/۸۹	۲/۰۶	۱/۴۳	۱(۰/۳۳)	۲۸(۰/۹۳/۳۳)	۱(۰/۳۳)	۰
کادمیوم	۲/۱۵	۳/۷۵	۲/۶۰	۰	۰	۲۶(۰/۸۶/۶۶)	۴(۰/۱۳/۳۳)
نیکل	۱/۷۵	۴/۴۰	۲/۸۴	۰	۲(۰/۶۶)	۲۱(۰/۷۰)	۷(۰/۲۳/۳۳)
وانادیوم	۰/۴۷	۰/۸۰	۰/۶۰	۳۰(۰/۱۰۰)	۰	۰	۰
آرسنیک	۰/۷۵	۶/۰۶	۱/۴۸	۱۰(۰/۳۳/۳۳)	۱۷(۰/۵۶/۶۶)	۱(۰/۳۳)	۲(۰/۶/۶۶)
کبالت	۰/۵۰	۱/۲۰	۰/۷۵	۲۹(۰/۹۶/۶۶)	۱(۰/۳۳)	۰	۰

جدول ۵. نتایج آماری شاخص نمره فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

شاخص آلودگی	شاخص آلودگی نمره				تعداد نمونه
	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	بدون آلودگی	
۳/۰۰	۲۴/۶۳	۷/۱۸	۰	۰	۲۹(۰/۹۶/۶۶)
۰	۰	۰	۰	۰	۱(۰/۳۳)
۰	۰	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰

زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲). مقدار میانگین شاخص (PI) برای هر یک از فلزات سنگین در جدول (۴) ارائه شده است. مقدار میانگین شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین سرب (۳/۹۴)، مس (۳/۹۰)، کروم (۱/۴۳)، آرسنیک (۱/۴۸)، نیکل (۲/۸۴)، روی (۹/۲۷)، کادمیوم (۲/۶۰)، وانادیوم (۰/۶۰) و کبالت (۰/۷۵) است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین مورد مطالعه به صورت  $V < Co < Cr < As < Cd < Ni < Cu < Pb < Zn$  می‌باشد. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این شاخص بدین شرح است که وانادیوم و کبالت بدون آلودگی ( $P \leq 1$ )، کروم، آرسنیک و مس دارای سطح آلودگی کم ( $1 < PI \leq 2$ )، کادمیوم و نیکل دارای سطح آلودگی متوسط ( $2 < PI \leq 3$ )، روی و سرب دارای سطح آلودگی زیاد ( $PI > 3$ ) هستند. همچنین طبق نتایج نشان داده شده در جدول (۴) وانادیوم با ۳۰ نمونه (۱۰۰ درصد) و کبالت با ۲۹ نمونه

۹۶/۶۶ درصد) بدون آلودگی هستند. کروم با ۲۸ نمونه (۳۳/۳۳ درصد)، آرسنیک با ۱۷ نمونه (۵۶/۶۶ درصد) و مس با ۱۳ نمونه (۳۳/۳۳ درصد) دارای سطح آلودگی کم هستند. کادمیوم با ۲۶ نمونه (۸۶/۶۶ درصد) و نیکل با ۲۱ نمونه (۷۰ درصد) دارای آلودگی متوسط هستند. به علاوه روی با ۳۰ نمونه (۱۰۰ درصد) و سرب با ۱۴ نمونه (۴۶/۶۶ درصد) دارای آلودگی زیاد هستند...

شاخص آلودگی نمره برای هر نقطه نمونه‌برداری شده محاسبه می‌شود. مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی برای تمامی فلزات سنگین که مورد مطالعه قرار می‌گیرند در منطقه مشخص می‌شود. نتایج به‌دست آمده از جدول (۵) نشان می‌دهد که شاخص آلودگی نمره همه نمونه‌ها از حداقل ۳/۰۰ تا حداکثر ۲۴/۶۳ متغیر است. مقدار میانگین این شاخص (۷/۱۸) است. همچنین بر اساس میزان میانگین شاخص آلودگی نمره تعداد یک

مطالعه، منابع انتشار فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان را می‌توان به چهار دسته، فعالیت صنایع (پالایشگاه و پتروشیمی)، ترافیک شهری (سوختن سوخت‌های فسیلی و قطعات مورد استفاده در خودرو)، تخریب و ساخت و سازهای ساختمانی و منابع طبیعی تقسیم کرد، اما احتمالاً صنایع و ترافیک شهری منشأ اصلی افزایش غلظت فلزات مورد بررسی در این تحقیق است. توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه نشان داد که نگرانی ناشی از فلزات سنگین در بخش‌های مراکز خرید شهری و مناطق مسکونی بیش از مناطق دیگر است. با استفاده از محاسبات مربوط به شاخص‌های آلودگی، بیشتر نقاط نمونه‌برداری، آلودگی متوسط تا زیادی را نشان دادند. بنابراین خطرهای بهداشتی و سلامتی از طریق تماس، استنشاق و بلع احتمالی ذرات ریز گرد و غبار خیابانی در شهر آبادان به شدت بالا است و مطالعات تفصیلی بیشتری در مورد آثار و خطرات ناشی از این موضوع در سطح شهر آبادان مورد نیاز است.

نمونه دارای آلودگی متوسط ( $3 \leq NIPI < 2$ ) و تعداد ۲۹ (۹۶/۶۶ درصد) نمونه دارای سطح بالای آلودگی ( $NIPI > 3$ ) است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، به نظر می‌رسد که فلز و انادایوم در گرد و غبار خیابانی شهر آبادان آلودگی نداشته و منشأ آن طبیعی است، اما احتمالاً فعالیت‌های انسانی باعث افزایش غلظت سایر فلزات مورد بررسی در این تحقیق شده است. شناسایی دقیق منشأ انتشار فلزات سنگین همراه با تحلیل آماری باید با آنالیزهای شیمیایی دقیق همراه شود که معمولاً به دلیل هزینه زیاد صورت نمی‌گیرد. به هر حال برای تحلیل دقیق‌تر باید پارامترهای دیگری مانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار نیز اندازه‌گیری شود اما به دلیل نبود امکانات کافی و هزینه زیاد، انجام این آنالیزها در این پژوهش میسر نبود. به هر حال، به‌طور کلی با توجه به این

### منابع مورد استفاده

1. Abdel-Latif, N. M. and I. A. Saleh. 2012. Heavy metals contamination in roadside dust along major roads and correlation with urbanization activities in Cairo, Egypt. *Journal of American Science* 8(6): 79-89.
2. Abraham G. and R. Parker. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* 136(1-3): 227-38.
3. Al-Khashman, O. A. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health* 29(1): 1-10.
4. Al-Momani, I. F. 2009. Assessment of Trace Metal Distribution and Contamination in Surface Soils of Amman, Jordan. *Jordan Journal of Chemistry* 4 (1): 77-87 .
5. Amato, F., M. Pandolfi, T. Moreno, M. Furger, J. Pey, A. Alastuey, N. Bukowiecki, A. S. H. Prevot, U. Baltensperger, and X. Querol. 2011. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment* 45(37): 6777-6787.
6. Babaei, H., N. Ghanavati and A. Nazarpour. 2018. Contamination level of mercury in the street dust of ahvaz city and its spatial distribution. *Journal of Water and Soil Science -Isfahan University of Technology* 22(3): 249-259. (In Farsi).
7. Behraves, F., G. M. Mahmudi, F. Ghassemzadeh and M. S. Avaz. 2015. Determination of heavy metals pollution in traffic dust of mashhad city, and its origin by using. *Selective Sequential Extraction”(Sse) Procedure* 95(24): 141-150. (In Farsi).
8. Bhattacharya, P., S. Frisbie, E. Smith, R. Naidu, G. Jacks and B. Sarkar. 2002. Arsenic in the environment: a global perspective. PP. 147-215. In: Marcell Dekker Inc, Handbook of Heavy Metals in the Environment, New York
9. Brown, J. N. and B. M. 2006. Peake Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science Total Environment* 359(1): 145-155.
10. Cevik, U., N. Celik, A. Celik, N. Damla and K. Coskuncelbi. 2009. Radioactivity and heavy metal levels in hazelnut growing in the Eastern Black Sea Region of Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 47(9): 2351-2355.

11. Charlesworth, S., M. Everett, R. McCarthy, A. Ordonez and E. De Miguel. 2003. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International* 29(5): 563-573
12. Cheng, J-I., S. Zhou and Y-W. Zhu. 2007. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. *Journal of Environmental Sciences* 19(1): 50-54.
13. Chłopek, Z., K. Suchocka, M. Dudek and A. Jakubowski. 2016. Hazards posed by polycyclic aromatic hydrocarbons contained in the dusts emitted from motor vehicle braking systems. *Archives of Environmental Protection* 42(3): 3-10.
14. Dastgoshadeh, F., O. R. Tooni, S. Moghadam, G. Taghinejad, N. Hemmatian and R. Hatami. 2014. Contamination assessment of heavy metals in dust of selected roads in Karaj, Iran. *Environmental Studies* 331-344. (In Farsi).
15. de Miguel, E., Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O. and Vadset, M. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment* 31(17): 2733-2740.
16. Dehghani, S., F. Moore, B. Keshavarzi, A. H. Beverley. 2017. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 136: 92-103.
17. Farahmandkia, Z., M. Mehrasbi, M. Sekhavatjou, A. M. A. Hasan and Z. Ramezanzadeh. 2010. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment* 4(2): 240-249. (In Farsi).
18. Ghanavati, N., A. Nazarpour and B. De Vivo. 2018. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 1-17.
19. Ghanavati, N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment* 11(1): 63-74. (In Farsi).
20. Ghanavati, N. and A. Nazarpour. 2018. Environmental investigation of heavy metals concentration in Ahvaz city street dust, by using Geographical Information Systems (GIS). *Environmental Studies* 44(3): 393-410. (In Farsi).
21. Ghanavat, N. and A. Nazarpour. 2016. Heavy Metals Pollution Assessment of Roadside Soils in the Ahvaz City Junctions. *Geochemistry* 5(1): 47-54. (In Farsi).
22. Jien, Sh. H., Ch. C.Tasi, Z. Y. Hseu and Z. S Chen. 2011. Baseline concentrations of toxic elements in Metropolitan Park soils of Taiwan. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology* 1: 1-7.
23. Kelly, J., I. Thornton and P. Simpson. 1996. Urban geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Applied Geochemistry* 11(1-2): 363-370.
24. Keshavarzi, B., Z. Tazarvi, M. A. Rajabzadeh and A. Najmeddin. 2015. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment* 119: 1-10.
25. Liu, C. and K. Cen. 2007. Chemical composition and possible sources of elements in street dusts in Beijing. *Acta Scientiae Circumstantiae* 27(7): 1181-1188.
26. Kreider, M. L., J. M. Panko, B. L. McAtee, L. I. Sweet and B. L. Finley. 2010. Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies. *Science of the Total Environment* 408(3): 652-659.
27. Langer, S., C. J. Weschler, A. Fischer, G. Bekö, J. Toftum and G. Clausen. 2010. Phthalate and PAH concentrations in dust collected from Danish homes and daycare centers. *Atmospheric Environment* 44(19): 2294-2301.
28. Liu, E., T. Yan, G. Birch and Y. Zhu. 2014. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Science Total Environment* 476: 522-531
29. Lu, X., L. Wang, K. Lei, J. Huang and Y. Zhai. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials* 161(2):1058-1062.
30. Manasreh, W. A. 2010. Assessment of trace metals in street dust of Mutah city, Karak, Jordan. Carpathian. *Journal of Earth and Environmental Sciences* 5(1): 5-12.
31. Moreno, T., Karanasiou, A., Amato, F., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolari, G., Chiari, M., Coz, E., Artiñano, B., Lumbreras, J. and R. Borge 2013. Daily and hourly sourcing of metallic and mineral dust in urban air contaminated by traffic and coal-burning emissions. *Atmospheric Environment* 68: 33-44.
32. Nazarpour, A., N. Ghanavati and M. J. Watts. 2017. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 1-12.
33. Nazarpour, A., N. Ghanavati and T. Babaenejad. 2017. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. *Iranian Journal of Health and Environment* 10(3): 391-400. (In Farsi).
34. Nazzal, Y., M. A. Rosen and A. M. Al-Rawabdeh. 2013. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment* 185(2): 47-

- 58.
35. Oh, M. S., T. J. Lee and D. S. Kim. 2011. Quantitative source apportionment of size-segregated particulate matter at urbanized local site in Korea. *Aerosol and Air Quality Research* 11(3): 247-264
  36. Rashed, M. 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials* 178(1): 739-746.
  37. Rasmussen, P., K. Subramanian and B. A. Jessiman. 2001. Multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Science of the Total Environment* 267(1):125-140.
  38. Saeedi, M., L. Y. Li and M. Salmanzadeh. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials* 17: 227-229.
  39. Sezgin, N., H. K. Ozcan, G. Demir, S. Nemlioglu and C. Bayat. 2004. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International* 29(7): 979-985.
  40. Wei, B., F. Jiang, X. Li and S. Mu. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment* 160(1-4): 33.
  41. Wei, X., B. Gao, P. Wang, H. Zhou and J. Lu. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 112: 186-192
  42. Yang, Z., W. Lu, Y. Long, X. Bao and Q. Yang. 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration* 108(1): 27-38.
  43. Yeung, Z., R. Kwok and K. Yu. 2003. Determination of multi-element profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). *Applied Radiation and Isotopes* 58(3):339-346.
  44. Yongming, H., D. Peixuan, C. Junji, E. S. Posmentier. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355(1): 76-86.
  45. Zhang, M. and W. Hao. 2009. Concentrations and chemical forms of potentially toxic metals in road-deposited sediments from different zones of Hangzhou, China. *Journal of Environmental Sciences* 21(5): 25-31.
  46. Zhang, X., L. Yang, Y. Li, H. Li, W. Wang and B. Ye. 2012. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(4): 2261-2273
  47. Zheng, L. G., G. J. Liu, Y. Kang, R. K. Yang. 2010. Some potential hazardous trace elements contamination and their ecological risk in sediments of western Chaohu Lake, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 166(1-4):379-386.
  48. Zhu, Z., G. Sun, X. Bi, Z. Li and G. Yu. 2013. Identification of trace metal pollution in urban dust from kindergartens using magnetic, geochemical and lead isotopic analyses. *Atmospheric Environment* 77: 9-15

## Assessment of the Environmental Pollution of some Heavy Metals in Abadan City Street Dust using Geographic Information System (GIS)

M. Halil<sup>1</sup>, N. Ghanavati<sup>1\*</sup> and A. Nazarpour<sup>2</sup>

(Received: December 20-2017 ; Accepted: May 6-2018)

### Abstract

High concentrations of heavy metals in street dust are considered to be a serious risk to the human health and the environment. In this study, 30 dust samples were collected from the pavements in the main streets of Abadan to determine the level of pollution of heavy metals in the street dust. Heavy metal concentrations were analyzed by inductively coupled spectroscopy (ICP-OES) method. The level of heavy metals pollution was estimated based on enrichment factor, pollution index and Nemro Integrated Pollution Index. The average concentrations of heavy metals such as Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, Ni, V, As and Co were 59.13, 287.50, 112.97, 50.03, 0.52, 56.77, 35.83, 7.10 and 7.53 mg/kg, respectively. Based on the average enrichment factor (EF), Ni, Cu and Pb had high levels of contamination and Zn contamination was high. According to the mean of pollution index (PI), heavy metals of Zn and Pb had a high contamination. According to the Nemro Integrated Pollution Index (NIPI), 96.66% of the samples had a high degree of contamination. The spatial distribution pattern of the heavy metals concentration showed that in the areas with high population densities, high traffic volumes and urban shopping centers, heavy metal pollution was severe.

**Keywords:** Heavy metals, Street dust, Enrichment factor, Pollution index, Nemro integrated pollution index

---

1. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: N.ghanavati@iauahvaz.ac.ir