

# بررسی آلودگی زیست‌محیطی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

نوید قنواتی<sup>۱</sup>، احد نظربور<sup>۲\*</sup>

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

Ghanavati.navid2014@gmail.com

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

## چکیده

گردوغبار خیابانی یکی از شاخص‌های مهم، از وضعیت آلودگی محیط‌زیست شهری است. برای شناسایی غلظت، منبع و ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز، تعداد ۱۱۵ نمونه از پیاده‌رو خیابان‌های اصلی جمع‌آوری شد. غلظت فلزات سنگین به روش جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شدند. میانگین غلظت فلزات سنگین Cu, Pb, Zn, Cr, As و Cd به ترتیب: ۱۷۹/۷۹، ۱۷۹/۶۰، ۱۵۰/۱، ۱۰۱، ۱۴/۲ و ۵/۶ mg/kg به دست آمد. ضرایب همبستگی به دست آمده بین فلزات نشان داد که عناصر سرب، روی، مس و کروم دارای همبستگی معناداری بوده که ناشی از منشأ یکسان از جمله انسان زاد است. از طرفی فلزاتی مانند کادمیم و آرسنیک، همبستگی پایینی با دیگر فلزات دارد که نشان از زمین‌زاد بودن این فلزات به‌ویژه آرسنیک و منابع آلودگی دیگر برای کادمیم است. نتایج شاخص آلودگی (PI)، شاخص جامع فاکتور آلودگی اصلاح شده نمره (NIPI) و نقشه توزیع فضایی هر کدام از عناصر نشان داد که آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز در سطح بسیار بالایی بوده و در مناطق با تراکم جمعیت بالا، ترافیک سنگین و فعالیت‌های صنعتی دارای آلودگی شدیدی ناشی از فلزات سنگین هستند.

## کلیدواژه

سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص آلودگی، شاخص جامع آلودگی نمره، غبار خیابانی، فلزات سنگین.

## ۱. سرآغاز

محیط‌زیست شهری به‌وجود آورده است (Liu et al., 2005; Pierzynski et al., 2014)، که در برخی موارد شامل سطوح بالای فلزات سنگین/سمی از جمله سرب (Pb)، روی (Zn)، مس (Cu)، آرسنیک (As)، کرم (Cr) و کادمیم (Cd) و دیگر آلاینده‌های آلی هستند (Chlopek et al., 2010; Langer et al., 2016). از میان اجزای پیچیده گردوغبار خیابانی، آلودگی فلزات سنگین به مشکلی شهری و محیطی تبدیل شده است که در تحقیقات فراوانی که در این زمینه در حال انجام هستند، به دلیل سمیت، پنهان شدن، تداوم و انباشت بیولوژیکی، فلزات سنگین توجه بسیاری را به خود جلب کرده است (Hu et al., 2016).

گردوغبار خیابانی منبع اصلی آلاینده‌هایی است که از طیف وسیعی از منابع، از جمله ترافیک، انتشارات صنعتی، آفت‌کش‌ها، رسوبات اتمسفر و فعالیت‌های معدنی تشکیل می‌شود (Ghanavati, 2018; Acosta et al., 2014). گردوغبار خیابانی شامل ذرات جامد با ترکیبات پیچیده‌ای هستند که در فضا وجود دارند و به راحتی به وسیله باد در هوا به صورت معلق درمی‌آیند (Tang et al., 2013). گردوغبار خیابانی تجمع ذرات جامد در فرم‌هایی از آلاینده‌های آلی و معدنی در سطوح اطراف زمین و سطح زمین هستند که محیطی ارزشمند برای توصیف کیفیت

سنگین در گردوغبار خیابانی را بررسی کرده‌اند (Ghanavati & Nazarpour, 2016; Kim et al., 2016; Nazarpour et al., 2017b; Saedi et al., 2012). نقشه‌برداری با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای توصیف روند توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی استفاده می‌شود (Li & Feng, 2012; Shi et al., 2011). همچنین با استفاده از نقشه‌های ایجاد شده با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین را با الگوهای خاص جغرافیایی مانند مناطق صنعتی و مناطق با جمعیت و ترافیک بالا مرتبط کرد (Chen et al., 2016; Li et al., 2013; Yesilonis et al., 2008). امروزه مطالعات زیادی درباره غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده که تعداد اندکی از این مطالعات مربوط به کشورهای توسعه یافته است (Nazarpour et al., 2017b; Rashed, 2010). با توجه به افزایش شدت آلودگی هوا و ذرات معلق در سال‌های گذشته در شهر اهواز، همچنین ورود توده‌های بزرگ گردوغبار در سال‌های اخیر و آثار سوء غبارهای آلوده بر سلامت شهروندان، بهداشت و محیط‌زیست، لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در این کلان شهر احساس می‌شود.

بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی میزان غلظت، سطح آلودگی و همچنین توزیع مکانی شش فلز سمی سرب، روی، مس، کروم، کادمیم، و آرسنیک برای دستیابی به نقاط داغ آلودگی به منظور شناسایی منابع این فلزات در گردوغبار خیابانی شهر اهواز است. در راستای این اهداف روش‌های دیگری از جمله تعیین طبیعی یا انسان‌زاد بودن این فلزات، و همچنین تحلیل رابطه این فلزات با یکدیگر به منظور تعیین منشأ احتمالی فلزات مورد مطالعه از جمله تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. در نهایت، برای ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی با استفاده از شاخص آلودگی (PI)، شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) و توزیع مکانی آنها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است.

(Benhaddya et al., 2016) چنین عناصری آثار شدید سمی و سرطان‌زایی را پس از ورود به اکوسیستم و انسان ایجاد می‌نمایند (Huang et al., 2016; Keshavarzi et al., 2015; Nazarpour et al., 2017b). این فلزات سنگین هم در خاک و هم در گردوغبار خیابانی به دلیل فعالیت‌های انسان‌زاد مانند سوختن سوخت‌های فسیلی، تردد خودروها، فعالیت‌های صنعتی و ..... تجمع می‌یابد که تحقیقات انجام شده در این خصوص نشان داده است که میزان تجمع فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی بیشتر از غلظت این عناصر در خاک همان مناطق است (Ghanavati et al., 2018; Qing et al., 2015; Tang et al., 2017). فلزات سنگین در گردوغبار سطح شهرها معمولاً «بمب زمانی شیمیایی» نامیده می‌شوند (Hu et al., 2016). تا به امروز، کنترل سطوح فلزات سنگین در گردوغبار مناطق شهری به چالشی بزرگ تبدیل شده است (Benhaddya et al., 2017a; Nazarpour et al., 2016). افرادی که از خیابان عبور می‌کنند، گردوغبار خیابانی را به راحتی استنشاق می‌کنند. همچنین در کودکان، به دلیل به دهان بردن اشیاء مختلف و مکیدن دست و انگشتان، مقادیر معناداری گردوغبار بلعیده می‌شود. وجود فلزات سنگین در گردوغبار خیابان باعث انباشته شدن آنها در بدن انسان شده و در نتیجه به خطرات بهداشتی تبدیل می‌شوند (Kwasowski et al., 2016; Papas et al., 2010; Wyszowska et al., 2013). خطر ناشی از فلزات سنگین سال‌ها باقی می‌ماند و این امر باعث ایجاد خطرات زیست‌محیطی بر سلامت انسان می‌شود (Ebenezer & Eremasi, 2012; Ravankhah et al., 2015). آثار نامطلوب فلزات سنگین بر انسان و اکوسیستم، آلودگی ناشی از این فلزات توجه بسیاری از سازمان‌های دولتی و نظارتی را به خود جلب کرده است که به دنبال جلوگیری از زوال هرچه بیشتر محیط‌زیست هستند. (Benhaddya et al., 2013; Simon et al., 2016). مطالعات مختلفی ویژگی‌ها، توزیع مکانی، شکل‌گیری و منبع آلودگی فلزات

دستگاه GPS شد. برای نمونه‌برداری در هر نقطه در پیاده‌روهای خیابان‌های اصلی شهر اهواز به وسیله پلات چوبی ۱×۱ متر و با استفاده از بُرس‌های قلم مویی در سطح تعیین شده جدا و بدون دخالت هر گونه ابزار فلزی در شیشه‌های کهربایی قرار گرفته و با فویل آلومینیوم مهر و موم شد تا از ورود مستقیم نور به آنها جلوگیری شود. در هر نمونه‌برداری به منظور عدم انتقال غلظت فلزات از نقطه‌ای به نقطه دیگر، برس را سه مرتبه با آب مقطر تهیه شده شستشو دادند. این عمل در هر شبکه در ۵ نقطه انجام شد و پس از مخلوط کردن آنها نهایتاً یک نمونه تهیه شد. در نهایت با توجه به هدف تحقیق تعداد ۱۱۵ نمونه برداشت شد. در این مطالعه برای تعیین میزان آلاینده‌های خاک به فلزات سنگین، بایستی میزان غلظت عناصر با استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود در همان منطقه است. در این مطالعه به دلیل نبود استاندارد خاص برای آلودگی خاک در کشورمان، اقدام به نمونه‌برداری برای دستیابی به میزان زمینه صورت گرفته است. از این رو تعداد ۱۲ نمونه از مناطق دور از ترافیک و آلاینده‌های صنعتی برداشته و مقدار میانگین آنها استاندارد در نظر گرفته شد. شکل ۱، نقشه پراکنندگی نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. پس از نمونه‌برداری، تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند و تا زمان آزمایش نمونه‌ها در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تجزیه و تحلیل فلزات سنگین موجود در گرد غبار خیابانی، نمونه‌ها به آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود منتقل شدند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از روش جذب اتمی (AAS) استفاده شد. مقدار ۰/۳۵ گرم از هر نمونه از رقیق ۱۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی در ظروف تفلونی (PTFE) در دمای ۱۶۰ درجه به مدت ۶ ساعت هضم شد و سپس با آب دیونیزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. خاک استاندارد SRM 2711 Montana برای کنترل کیفیت (QA) و بررسی صحت (QC) اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین

## ۲. مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

اهواز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان خوزستان است. این شهر از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. جلگه خوزستان به ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع است. طبق آمار ایستگاه‌های هواشناسی میزان بارندگی سالانه ۲۱۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. شهر اهواز با ۳۱۸ کیلومتر مربع مساحت، سومین شهر وسیع ایران پس از تهران و مشهد است. جمعیت آن نیز در سرشماری سال ۱۳۹۰، ۱/۴ میلیون نفر بوده که اهواز را در جایگاه هفتمین شهر پر جمعیت ایران قرار می‌دهد (آمارنامه کلان شهر اهواز، ۱۳۹۲). شهر اهواز به دلیل وجود منابع غنی نفت و گاز و نیز صنایع پتروشیمی، فعالیت‌های شرکت ملی نفت، حفاری، صنایع بزرگ فلزی و غیرفلزی (وجود کارخانه‌های بزرگ صنعتی نظیر فولاد، شرکت کربن بلک، نورد لوله، نورد کاویان، کارخانه‌های سپنتا، پاریساز و شهرک‌های صنعتی) و بالا بودن میزان مصرف سوخت فسیلی در بخش صنایع و خودروها، تراکم نسبتاً بالای جمعیت همراه با ترافیک شهری، کمبود فضای سبز در شهر و حومه و نیز گرد و غباری که از طریق مرزهای غربی کشور وارد می‌شود این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان تبدیل کرده است.

### نمونه‌برداری گردوغبار خیابانی و تجزیه و تحلیل

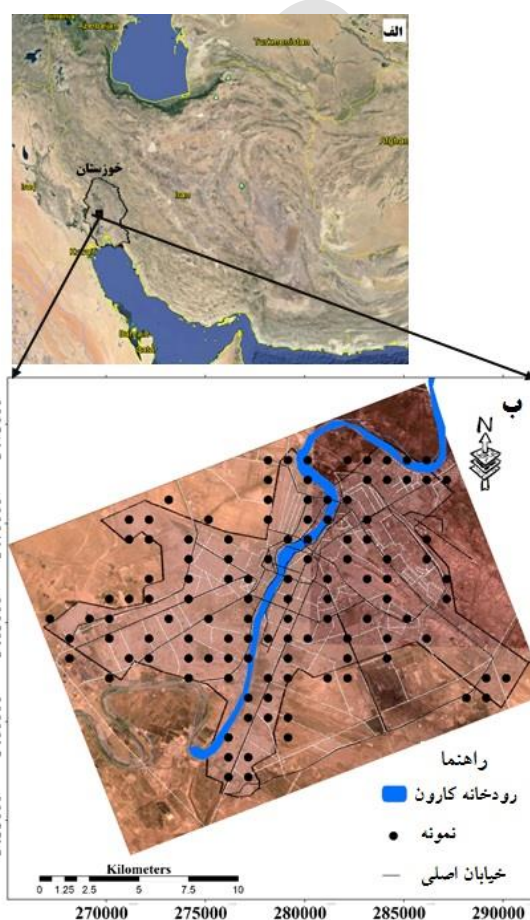
#### نمونه‌ها

آب و هوای شهر اهواز گرم و مرطوب است به همین علت نمونه‌برداری از بیست فروردین تا پنج اردیبهشت سال ۱۳۹۴ صورت گرفت. برای انجام نمونه‌برداری از گردوغبار خیابانی در سطح شهر اهواز، شبکه‌ای تصادفی با پوشش کامل منطقه مورد مطالعه در افزونه X-Tools در محیط نرم‌افزار ArcGIS، روی لایه شهری تهیه شد. سپس موقعیت جغرافیایی مرکز هر کدام از شبکه‌ها تعیین و وارد

تعیین سطح آلودگی از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. در این راستا از روش‌های درون‌یابی به روش عکس فاصله (IDW) استفاده شده است (Karim et al., 2015; Ali et al., 2016; Zou et al., 2017). روش IDW از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن برآورد براساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد انجام می‌گیرد که بنابر عکس فاصله وزن‌دهی می‌شوند. به عبارت دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد، وزن بیشتری داده می‌شود تا به نقاط دورتر. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند (واریوگرام ندارد) و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیکتر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن دارند تا نقاط دورتر. در این روش اغلب توانی برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول بین ۱ تا ۵ است، ولی اغلب از توان ۲، یعنی عکس مجذور فاصله استفاده می‌شود. مشخصه جالب این روش این است که وزن به کار رفته با افزایش فاصله به سرعت کاهش می‌یابد، در نتیجه درونیابی در این روش کاملاً محلی است و چون وزن‌های به کار رفته هیچ‌گاه صفر نمی‌شوند، بنابراین هیچ‌گونه انقطاع و عدم پیوستگی در برآوردها رخ نمی‌دهد. روش IDW، روش درونیابی و برآورد زمین آماری است که قادر است براساس مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را با حداقل واریانس برآورد کند. عمومی‌ترین روش در علوم زیست‌محیطی به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی نیز کاربرد دارد. روش IDW معمولی اغلب سبب هموارسازی<sup>۳</sup> نقشه‌ها می‌شود، یعنی مقادیر بسیار بزرگ، کوچک‌تر و مقادیر بسیار کوچک، بزرگ‌تر برآورد می‌شوند. بنابراین، استفاده از این روش در مواردی که حفظ حداقل و حداکثر داده‌های اولیه در نقشه‌های تولید شده اهمیت زیادی داشته باشد، توصیه نمی‌شود (Chen et al., 2018; Madhloom et al., 2017; Ozyazici et al., 2017; Shokr et al., 2016).

رابطه کلی درونیابی دوبعدی به روش IDW به شکل

کل در نمونه‌ها استفاده شد. در هنگام هضم برای هر دو روش آنالیز به همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه شده و همراه دیگر نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel و محاسبات شاخص‌ها و تهیه نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین به روش عکس فاصله<sup>۱</sup> (IDW) نیز به ترتیب با نرم‌افزارهای Excel و ArcGIS v10.3 انجام شد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنده‌گی نقاط نمونه‌برداری در شهر اهواز

### سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۲</sup>

در این تحقیق به منظور تعیین نقاط نمونه‌برداری و دستیابی به پوششی دقیق از منطقه مورد مطالعه در فرایند نمونه‌برداری و همچنین ارائه دقیق توزیع و شرایط سطح آلودگی و به نقشه در آوردن روش‌های بکارگرفته شده در

نمونه‌های گردوغبار برداشته شده به مقدار زمینه همان عنصر در خاک منطقه مورد مطالعه بیان می‌شود. شاخص آلودگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Yu et al., 2004):

$$PI = C/X_a \quad C \leq X_a \quad (3)$$

$$PI = 1 + (X - X_a)/(X_c - X_a) \quad X_a < C \leq X_c$$

$$X_c < C \leq X_p \quad PI = 2 + (X - X_c)/(X_p - X_c)$$

$$C > X_p \quad PI = 3 + (X - X_p)/(X_p - X_c)$$

در این رابطه، C، غلظت عنصر مطالعه‌شده در نمونه‌های گردوغبار؛  $X_a$ ، آستانه غلظت غنی‌شدگی فلز سنگین؛  $X_c$ ، آستانه غلظت سطح پایین آلودگی و  $X_p$ ، آستانه غلظت سطح بالای آلودگی است. مقادیر  $X_a$ ،  $X_c$  و  $X_p$  در جدول ۱ آمده است، که در واقع نتایج یکپارچه ارائه‌شده با (Yu et al., 2004)، استاندارد کیفیت زیست‌محیطی برای خاک‌ها توسط آژانس ملی حفاظت محیط‌زیست چین (NEPA, 1995) و گزارش تحقیقاتی مطالعات ژئوشیمیایی سازمان زمین‌شناسی چین هستند.

سطح آلودگی براساس مقدار شاخص آلودگی به صورت زیر تعریف می‌شود: بدن آلودگی ( $PI \leq 1$ )، نشان می‌دهد که میزان غلظت فلز مورد نظر کمتر از غلظت آستانه بوده ولی بدین معنی نیست که هیچ آلودگی از منابع انسان‌زاد یا غنی‌شدگی دیگری بیشتر از زمینه وجود ندارد. سطح آلودگی کم ( $1 < PI \leq 3$ )، سطح آلودگی متوسط ( $2 < PI < 3$ )، و سطح آلودگی زیاد ( $PI > 3$ ) (Yu et al., 2004).

زیر است:

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i w_i \quad (1)$$

$$\lambda_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^p}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_k}\right)^p} \quad (2)$$

که  $w(x, y)$ ، مقادیر برآورد شده در موقعیت  $(x, y)$ ؛ N، تعداد نقاط معلوم مجاور  $(x, y)$ ؛  $\lambda_i$ ، وزن اختصاص داده شده به هر یک از مقادیر معلوم  $w_i$  در موقعیت  $(x_i, y_i)$ ؛  $d_i$  فاصله اقلیدسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت‌های  $(x, y)$  و  $(x_i, y_i)$  و مقدار توان است که متأثر از وزن  $w_i$  بر  $w$  است.

### شاخص‌های ارزیابی و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین

برای ارزیابی میزان آلودگی خاک و رسوبات، معیارهای مختلفی وجود دارد. در این تحقیق میزان آلودگی گردوغبار خیابانی در شهر اهواز با استفاده از شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکپارچه نمره به‌عنوان روش‌های استاندارد ارزیابی سطح آلودگی استفاده شده است. مزیتی این شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها در این است که ریسک آلودگی به همه فلزات مطالعه شده در منطقه مشخص می‌شود.

### شاخص آلودگی<sup>۴</sup>

این شاخص به صورت نسبت غلظت یک عنصر در

جدول ۱. آستانه غلظت سطح آلودگی عناصر مورد مطالعه

عناصر	$X_a$	$X_c$	$X_p$
As	۱۵	۲۵	۳۰
Pb	۳۵	۲۵۰	۵۰۰
Zn	۸۵	۲۰۰	۵۰۰
Cu	۳۰	۵۰	۴۰۰
Cr	۹۰	۲۰۰	۳۰۰
Cd	۰/۱۵	۰/۳	۱

شاخص آلودگی یکپارچه نمره<sup>۵</sup>:

برای هر نقطه نمونه برداری شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

که  $PI_{\max}$  ماکزیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین؛ و  $PI_{\text{ave}}$  میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین است. مزیت این شاخص نسبت به دیگر شاخص‌ها در این است که ریسک آلودگی به همه فلزات مطالعه شده در منطقه مشخص می‌شود. بر اساس این شاخص کیفیت خاک در پنج سطح طبقه‌بندی می‌شود. خاک بدون آلودگی ( $NIPI \leq 0.7$ )، خط هشدار آلودگی ( $0.7 < NIPI \leq 1$ )، سطح آلودگی کم ( $1 < NIPI \leq 2$ )، سطح متوسط آلودگی ( $2 < NIPI \leq 3$ )، و سطح بالای آلودگی ( $NIPI > 3$ ) (Yu et al., 2004). به‌طور کلی، شاخص آلودگی به صورت نسبت غلظت یک عنصر در نمونه‌های گردوغبار برداشته شده به مقدار زمینه همان عنصر در خاک منطقه مورد مطالعه بیان می‌شود و در صورتی که این شاخص بیشتر از ۱ باشد نشان‌دهنده سطوح مختلف آلودگی در اثر آن عنصر به خصوص است. به عبارت دیگر این شاخص، آلودگی ناشی از هر عنصر را به صورت مجزا بررسی می‌کند. اما مزیت شاخص جامع آلودگی نسبت به دیگر شاخص‌ها در این است که ریسک آلودگی ناشی از همه

فلزات مطالعه شده را به طور جامع و یکپارچه در هر نقطه نمونه برداری نشان می‌دهد.

## ۳. نتایج و بحث

## تحلیل غلظت فلزات سنگین در غبار خیابانی

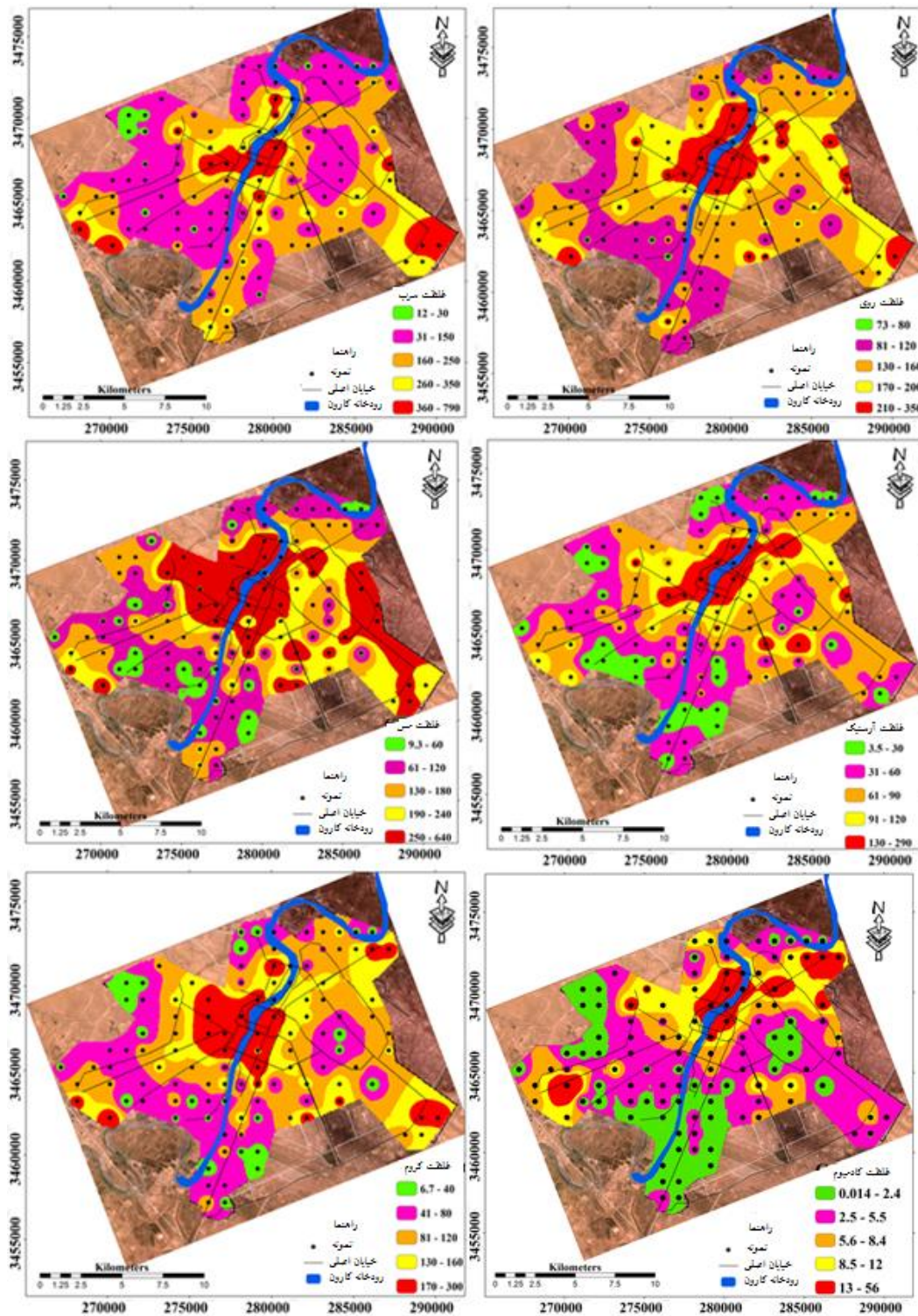
غلظت عناصر سرب، روی، مس، کروم و کادمیوم در ۱۱۵ نمونه گردوغبار خیابانی اندازه‌گیری شد. مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و چولگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی در جدول ۲ آمده است. نتایج آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف در جدول ۲ نشان داد که غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه، توزیع نرمالی دارند. شکل ۲، نقشه توزیع غلظت هر کدام از عناصر را نشان می‌دهد. همچنین مقایسه غلظت این عناصر در گردوغبار خیابانی دیگر شهرهای جهان در جدول ۳ آمده است. توزیع مکانی غلظت عناصر، ابزار بصری بسیار مفیدی است که به بررسی منابع احتمالی و شناسایی نقاط داغ با غلظت بالا کمک می‌کند. در این مطالعه توزیع مکانی هر کدام از فلزات مورد مطالعه در خاک با استفاده از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی تجزیه و تحلیل شد. غلظت عناصر با استفاده از روش وزن فاصله معکوس درون‌یابی و در آخر نقشه توزیع مکانی هر کدام از عناصر بر اساس فواصل طبیعی طبقه‌بندی شد. در بخش‌های زیر درباره نتایج به دست آمده برای هر عنصر بحث می‌شود.

جدول ۲. خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	حداکثر	حداقل	میانگین	میانه	چولگی	مقدار زمینه	K-S*
Pb	۷۹۳	۱۱	۱۷۹/۶۰	۱۴۲	۱/۲۹	۱۴	۰/۶۸
Zn	۳۵۶	۷۲	۱۵۰/۱۵	۱۴۴	۰/۹۹	۲۸	۰/۷۲
Cu	۶۴۱	۸/۳۶	۱۷۹/۷۵	۱۳۹	۱/۰۳	۳۳	۰/۵۹
Cd	۵۶	۰/۰۱	۵/۶۰	۳/۲۴	۳/۵۴	۰/۰۹	۰/۲۸
Cr	۳۰۶	۶	۱۰۱	۸۴/۶۰	۰/۷۲	۹۸	۰/۶
AS	۱۲۴	۱/۵	۱۴/۲	۱۱/۲۰	۶/۲۱	۳/۱	۰/۹۴

\*نتایج آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف





شکل ۲. توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در شهر اهواز

وارد می‌کند. آثار سوء سرب در انسان باعث نارسایی‌های کلیوی می‌شود، همچنین به میزان هوش کودکان، بافت‌های عصبی و استخوان هم آسیب جدی می‌رساند. در مطالعه

### سرب<sup>۶</sup>

سرب در جوامع صنعتی دارای بیشترین غلظت است. این عنصر به دلیل تجزیه کم، تأثیرات منفی بر سلامت انسان

مختل کند. روی در درجه نخست از طریق تماس پوستی ایجاد بیماری می‌کند. در مطالعه حاضر نتایج به دست آمده از این عنصر به صورت زیر است (جدول ۲): محدوده غلظت فلز روی در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر اهواز از ۳۵۶-۷۲ mg/kg متغیر بوده و مقدار میانگین، میانه و چولگی غلظت این فلز به ترتیب: ۱۵۰/۱۵، ۱۴۴ و ۰/۹۹ mg/kg هستند. مقدار زمینه فلز روی در منطقه دارای مقدار متوسط ۲۸ mg/kg است. نقشه توزیع غلظت روی در شکل ۲ نمایش داده شد. نقشه توزیع غلظت روی نشان می‌دهد مقدار عنصر روی ناشی از سایش لاستیک خودروها، خوردگی فلزات، سوختن زباله و گازهای صنعتی است و حداکثر این عنصر مربوط به مناطقی است که حجم ترافیک بالا بود. مقدار میانگین غلظت فلز روی در گردوغبار خیابانی شهر اهواز در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان که در جدول ۳ ارائه شده‌اند نشان‌دهنده بالا بودن مقدار متوسط این فلز نسبت به برخی از شهرها مانند اوتاوا (Rasmussen et al., 2001) و کلکته (Chatterjee and Banerjee, 1999) بیشتر بوده و همچنین این مقدار از شهرهایی مانند تهران (Saeedi et al., 2012)، گوانژو (Duzgoren-Aydin et al., 2006)، باوجی (Lu et al., 2010)، اسلو (De Miguel et al., 1997) و نانچینگ (Hu et al., 2011) کمتر است.

### مس<sup>۸</sup>

مس به‌طور طبیعی در خاک وجود دارد. مس عنصری کمیاب و ضروری است که به‌طور گسترده در محیط توزیع شده است. این عنصر در محیط تجزیه نمی‌شود. مس در بسیاری از غذاها و نوشیدنی‌ها مثل آب وجود دارد. استنشاق حاد به دلیل قرار گرفتن در معرض گردوغبار یا بخار مس در غلظت ۰/۱۲-۰/۰۷ mg/kg ممکن است باعث تب و لرز و سرفه شدید شود. در مطالعه حاضر نتایج به دست آمده از این عنصر که در جدول ۲ آورده شده به صورت زیر است: محدوده غلظت مس در نمونه‌های

حاضر نتایج به دست آمده از این عنصر که در جدول ۲ آورده شده به صورت زیر است: محدوده غلظت سرب در نمونه‌های گردوغبار خیابانی در منطقه مورد مطالعه بین ۷۹۳-۱۱ mg/kg میانگین، میانه و چولگی به ترتیب: ۱۷۹/۶۰، ۱۴۲ و ۱/۲۹ mg/kg به دست آمد. مقدار زمینه سرب در منطقه دارای مقدار متوسط ۱۴ mg/kg است. پراکندگی غلظت سرب در شکل ۲ نمایش داده شد. نقشه توزیع غلظت سرب و انطباق آن با منطقه بندی شهری در واقع نشان‌دهنده غلظت بالای سرب در مناطق با تراکم جمعیتی بالا، حجم ترافیک بالا، مراکز خرید شهری است که مهم‌ترین عامل افزایش غلظت سرب استفاده از بنزین سرب‌دار در بلندمدت است. در برخی از مناطق با وجود تراکم جمعیتی و ترافیک پایین و استفاده از گاز طبیعی فشرده (CNG) همچنین دارای غلظت بالاتر از استاندارد و زمینه هستند. به نظر می‌رسد صنایع موجود از جمله فولاد، و فعالیت‌های دیگری از جمله صنایع بالادستی نفت و حفاری نیز عامل بسیار مهمی در افزایش غلظت فلز سمی سرب در غبار خیابانی شهر اهواز هستند. غلظت سرب در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان که در جدول ۳ آورده شده نشان‌دهنده این است که متوسط سرب موجود از متوسط برخی از شهرها مانند اسلو (De Miguel et al., 1997) و نانچینگ (Hu et al., 2011) با وجود تراکم جمعیتی بالاتر بیشتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی مانند گوانژو (Duzgoren-Aydin et al., 2006)، باوجی (Lu et al., 2010)، اوتاوا (Rasmussen et al., 2001)، تهران (Saeedi et al., 2012)، کلکته (Chatterjee and Banerjee, 1999) کمتر است.

### روی<sup>۲</sup>

روی جزء عناصر کمیاب ضروری در خاک است. فرایندهای میکروبی خاک به عنصر روی حساس هستند. روی در غلظت‌های بالا می‌تواند سمی باشد. سطح بالای این عنصر ممکن است هموستازی دیگر عناصر ضروری را



موجود در گردوغبار خیابانی به علت ترافیک، فرسودگی رینگ، لاستیک و سوخت خودروها است. این مطلب نشان می‌دهد آلودگی کادمیوم مربوط به منابع انسانی است. غلظت کادمیوم در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان در جدول ۳ آمده است و نشان می‌دهد که متوسط کادمیوم موجود از متوسط غلظت این فلز در برخی از شهرهایی مانند گوانژو (Duzgoren-Aydin et al., 2006)، باوجی (Lu et al., 2010)، اوتاوا (Rasmussen et al., 2001)، کلکته (Chatterjee and Banerjee, 1999) و نانجینگ (Hu et al., 2011) بیشتر بوده و همچنین این مقدار از شهری مانند تهران (Saeedi et al., 2012) کمتر است.

### کروم<sup>۱۰</sup>

کروم یکی از عناصر کمیاب در خاک است که در حالت‌های مختلف اکسیداسیون وجود دارد. با توسعه استفاده از ترکیبات کروم در صنایع مختلف نظیر چرم‌سازی، رنگ‌سازی، روکش دهی فلزات، صنایع فولاد و همچنین ورود آن به محیط‌زیست از طریق پسماند کارخانه‌ها، آثار سمی آن بر سلامت انسان مشاهده شد. این عنصر باعث بیماری‌هایی نظیر مرگ سلول‌های بنیادی مغز و استخوان، کاهش پروتئین، پاره شدن DNA و غیره می‌شود. در مطالعه حاضر نتایج به‌دست‌آمده از این عنصر که در جدول ۲ آورده شده به‌صورت زیر است: محدوده غلظت کروم در نمونه‌های گردوغبار خیابانی بین ۰۰۶-۳۰۶ mg/kg، میانگین، میانه و چولگی به‌ترتیب: ۰۱۰، ۸۴/۶۰ و ۰/۷۲ mg/kg در شکل ۲ نمایش داده شد. نقشه توزیع غلظت کروم نشان می‌دهد منبع آلودگی عنصر کروم مانند کادمیوم است و عمدتاً از ترافیک، فرسودگی رینگ و لاستیک خودروها، سایش بدنه خودروها و استفاده از بنزین است. بنابراین بیان می‌شود منبع آلودگی این عنصر عوامل انسان‌زاد است. غلظت کروم در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان در جدول ۳ آمده که نشان‌دهنده این است که متوسط کروم موجود در گردوغبار خیابانی شهر اهواز

گردوغبار خیابانی بین ۶۴۱-۸/۳۶ mg/kg، میانگین، میانه و چولگی به‌ترتیب ۱۷۹/۷۵، ۱۳۹ و ۱/۰۳ mg/kg به دست آمد. مقدار زمینه مس در منطقه دارای مقدار متوسط ۳۳ mg/kg است. پراکندگی غلظت مس در شکل ۲ نمایش داده شده است. نقشه توزیع غلظت مس نشان می‌دهد مقدار عنصر مس ناشی از ترافیک، سایش لاستیک خودروها، مواد فرسایش، مواد خیابانی، سوختن زباله و غیره است. غلظت مس در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان بیان‌کننده مقدار بالای متوسط مس در گردوغبار خیابانی شهر اهواز نسبت به شهرهای گوانژو- (Duzgoren-Aydin et al., 2006)، باوجی (Lu et al., 2010)، اوتاوا (Chatterjee and Rasmussen et al., 2001)، کلکته (Chatterjee and Banerjee, 1999)، اسلو (De Miguel et al., 1997) و نانجینگ (Hu et al., 2011) است (جدول ۳). همچنین این مقدار از شهری مانند تهران (Saeedi et al., 2012) کمتر است.

### کادمیوم<sup>۹</sup>

کادمیوم فلز سنگین نسبتاً کمیابی است که به‌طور طبیعی از ترکیب با فلزات دیگر ایجاد می‌شود. قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض کادمیوم موجود در گردوغبار خیابانی باعث مسمومیت شدید در انسان و ایجاد بیماری‌های کلیوی می‌شود. کادمیوم موجود در گردوغبار خیابانی از طریق تماس پوستی در کودکان و بزرگسالان با ایجاد بیماری به بافت‌های داخلی کودکان و بزرگسالان آسیب جدی وارد می‌کند. در مطالعه حاضر نتایج به‌دست‌آمده از غلظت این عنصر در غبار خیابانی شهر اهواز که در جدول ۲ آورده شده به‌صورت زیر است: محدوده غلظت کادمیوم در نمونه‌های گردوغبار خیابانی بین ۰/۰۱-۵۶ mg/kg، میانگین، میانه و چولگی به‌ترتیب ۵/۶، ۳/۲۴ و ۳/۵۴ mg/kg به دست آمد. مقدار زمینه کادمیوم در منطقه دارای مقدار متوسط ۰/۰۹ mg/kg است. پراکندگی غلظت کادمیوم در شکل ۲ نمایش داده شده است. نقشه توزیع غلظت کادمیوم نشان می‌دهد کادمیوم

نیستند، متفاوت است. هیدروکسیدهای آهن عمومی نقش مهمی در کنترل تمرکز آرسنیک در خاک‌ها و محلول‌های حاکی ایفا می‌کند. مقدار آرسنیک در پوسته زمین بین ۰/۵ تا ۲/۵ mg/kg است و در رسوبات رسی مقدار آن بیش از ۱۳ mg/kg وجود دارد (Nordstrom, 2000; Battacharya et al., 2002). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل آماری غلظت آرسنیک در گردوغبار خیابانی شهر اهواز دارای دامنه تغییرات ۱۲۴-۱/۵ mg/kg و مقدار میانگین ۱۴/۲۸ mg/kg است. مقدار زمینه غلظت آرسنیک در نمونه‌های مورد مطالعه ۳/۱ mg/kg است. معیار کیفیت خاک توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) برای کل ۲۰ mg/kg است که مقدار میانگین غبار خیابانی شهر اهواز کمتر از این معیار است (USEPA, 1996). غلظت فلز آرسنیک در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان در جدول ۳ نشان‌دهنده بالا بودن متوسط آرسنیک نسبت به برخی از شهرها مانند اوتاوا (Rasmussen et al., 2001) و نانجینگ (Hu et al., 2011) بالاتر بوده و همچنین از شهرهایی مانند تهران (Saeedi et al., 2012)، باوجی (Lu et al., 2010) و کلکته (Chatterjee and Banerjee, 1999) کمتر است.

بیشتر از متوسط غلظت این فلز در شهرهایی مانند تهران (Duzgoren-Aydin et al., گوانزو، (Saeedi et al., 2012)، 2006)، اوتاوا (Rasmussen et al., 2001)، کلکته (Chatterjee and Banerjee, 1999) و اسلو (De Miguel et al., 1997) بوده و کمتر از مقدار متوسط کروم در گردوغبار خیابانی شهرهایی مانند نانجینگ (Hu et al., 2011) و باوجی (Lu et al., 2010) است.

### آرسنیک<sup>۱۱</sup>

آلودگی آرسنیک به علت آثار سمی آن به‌عنوان ماده سرطان‌زا، از نگرانی‌های بزرگ زیست‌محیطی است. بسیاری از مطالعات تأیید کرده‌اند که در معرض قرار گرفتن و استنشاق آرسنیک می‌تواند به‌طور خاص، سبب سرطان ریه شود و عاملی برای تحریک بیماری‌های دیابت، قلبی-عروقی و عصبی است (سلگی و همکاران، ۱۳۹۴). مهم‌ترین منبع آرسنیک مواد مادر (Parent materials) است، با این وجود تجمع آرسنیک در محیط‌های شهری در نتیجه منابعی از جمله، احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع فراوری فلزات، و فعالیت‌های معدنی هستند (Ajmoné- Marsan & Biasioli, 2010). ترکیب و رفتار آرسنیک در خاک‌های آب‌گرفته (شالیزارها) و خاک‌هایی که در زیر آب

جدول ۳. غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهرهای جهان و شهر اهواز

منبع	روی	سرب	مس	کرم	کادمیم	آرسنیک	شهر
۱	۸۷۳/۲	۲۵۷/۴	۲۲۵/۳	۳۳/۵	۱۰/۷	-	تهران
۲	۵۸۶	۲۴۰	۱۷۶	۷۸/۸	۲/۴۱	-	گوانزو (چین)
۳	۷۱۵/۳	۴۴۳/۲	۱۲۳/۲	۱۲۶/۷		۱۹/۸	باوجی (چین)
۴	۱۱۲/۵	۴۳۳	۶۵/۸۴	۴۳/۳	۰/۳۷	۱/۳	اوتاوا (کانادا)
۵	۱۴۹	۵۳۶	۴۴	۵۴	۳/۱۳	۲۳	کلکته (هند)
۶	۴۱۲	۱۸۰	۱۲۳	-	۱/۴	-	اسلو (نروژ)
۷	۳۹۴	۱۰۳	۱۲۳	۱۲۶	۱/۱	۱۳/۴	نانجینگ (چین)
این مطالعه	۱۵۰/۱۵	۱۷۹/۶	۱۷۹/۷۵	۱۰۱	۵/۶	۱۴/۲۸	اهواز

1. (Saeedi et al., 2012), 2. (Duzgoren-Aydin et al., 2006), 3. (Lu et al., 2010), 4. (Rasmussen et al., 2001), 5. (Chatterjee and Banerjee, 1999), 6. (De Miguel et al., 1997), 7. (Hu et al., 2011)

## ارزیابی آلودگی فلزات

### شاخص آلودگی<sup>۴</sup>

مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین شاخص آلودگی برای هر فلز در جدول ۵ آمده است. مقدار میانگین شاخص آلودگی به‌طور کلی بالا است و نشان می‌دهد منابع آلودگی مشهودی در غبار خیابانی در منطقه مورد مطالعه وجود دارند. با وجود این، مقادیر شاخص آلودگی در بین فلزات متغیر است. مقادیر شاخص آلودگی برای سرب، روی، مس، آرسنیک، کروم و کادمیم به ترتیب از ۰/۳۱ تا ۱۷/۳۲، ۱/۳ تا ۱۵/۲۹، ۰/۲۸ تا ۷/۶۹، ۰/۲۰۷ تا ۲۲/۵، ۰/۰۷ تا ۱۲/۰۶ و ۰/۰۵ تا ۸۱/۵۷ است. به‌علاوه مقادیر بالای شاخص آلودگی شامل ( $PI > 1$ )، شامل ۷۳ درصد نمونه‌ها از نظر مقدار سرب، ۱۰۰ درصد برای روی، و ۸۰ درصد از نظر فلز مس دارای آلودگی هستند (شکل ۳). این موضوع در واقع نشان‌دهنده این است که غبار خیابانی در سطح شهر اهواز دارای آلودگی کم تا شدیداً آلوده هستند. از طرف دیگر، بیشتر نمونه‌ها فاقد آلودگی از نظر فلز آرسنیک بوده و فقط ۱۱ نمونه (حدوداً ۹ درصد) مقادیر شاخص آلودگی بالا دارند. این یافته‌ها پیشنهاد می‌کنند که غلظت آرسنیک در گردوغبار خیابانی شهر اهواز جز در مواردی که دارای قدمت سکونت بالا و ترافیک و تراکم جمعیتی بالا هستند، قابل مقایسه با مقدار حد آستانه اولیه تأیید شده توسط استانداردها کیفیت زیست‌محیطی برای خاک‌ها توسط آژانس ملی حفاظت محیط‌زیست چین (NEPA, 1995) است، و آلودگی واضحی از آرسنیک در غبار خیابانی در دیگر نقاط شهر اهواز مشاهده نمی‌شود.

## تحلیل همبستگی بین فلزات سنگین

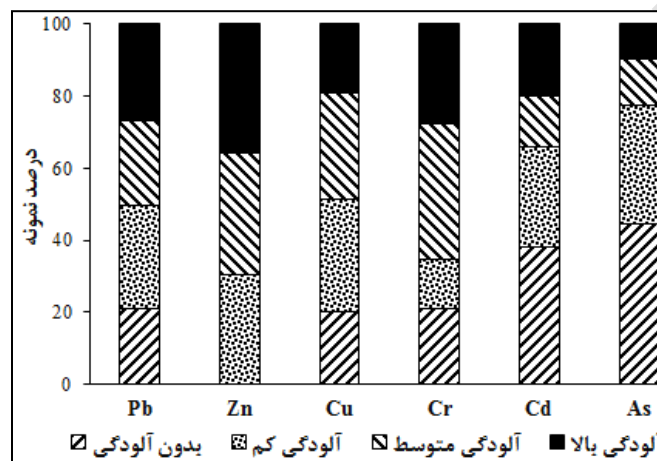
ضریب همبستگی پیرسون<sup>۱۲</sup> برای محاسبه همبستگی دو متغیر فاصله‌ای یا نسبی به کار برده می‌شود، که ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف در ارزیابی دقیق‌تر آثار زیست‌محیطی کمک می‌کند (Sajn & Gosar., 2014). در این تحقیق از ضریب همبستگی برای تعیین روابط بین عناصر مختلف استفاده شده است. درک این روابط می‌تواند در تشخیص منبع عنصر و چگونگی انتقال آن در محیط مفید باشد. به عبارتی مقادیر بالای همبستگی بین فلزات سنگین بیانگر یکسان بودن منبع انتشار این عناصر است (Li et al., 2009). همبستگی بالای عناصر موجود در رسوب را می‌تواند ناشی از چند عامل دانست که عبارت‌اند از: جذب سطحی در کانی‌های رسی و مواد آلی، حضور عناصر در ساختار کانی‌ها به‌ویژه رس‌ها، جذب عناصر توسط اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن و منگنز. نتایج همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در جدول ۴ ارائه شده است. ضریب همبستگی مثبت با سطح معناداری  $p < 0.01$  به‌دست آمده بین عناصر آلاینده نشان می‌دهد که عناصر سرب دارای همبستگی مثبت و معناداری با مس (۰/۸۱)، روی (۰/۷۹)، کروم (۰/۶۰) و آرسنیک (۰/۴۱) دارد. همچنین عناصر دیگر از جمله روی، مس، کروم و کادمیم با یکدیگر دارای همبستگی معناداری هستند که در واقع ناشی از منشأ یکسان آزادسازی فلزات سنگین در محیط‌زیست است. فلزاتی مانند آرسنیک و کادمیم در واقع همبستگی کمتری با دیگر عناصر دارند، که حاکی از وجود منشأ دیگری برای عناصر مذکور است.

جدول ۴. نتایج همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز

As	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb
					۱
					۰/۷۹**
				۰/۹۱**	۰/۸۱**
		۱	۰/۶۹**	۰/۴۶	۰/۶۰**
	۱	۰/۴۷	۰/۵۲*	۰/۵۹**	۰/۳۹
۱	۰/۶۳**	۰/۶۱**	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۴۱*

جدول ۵. نتایج آماری شاخص آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز

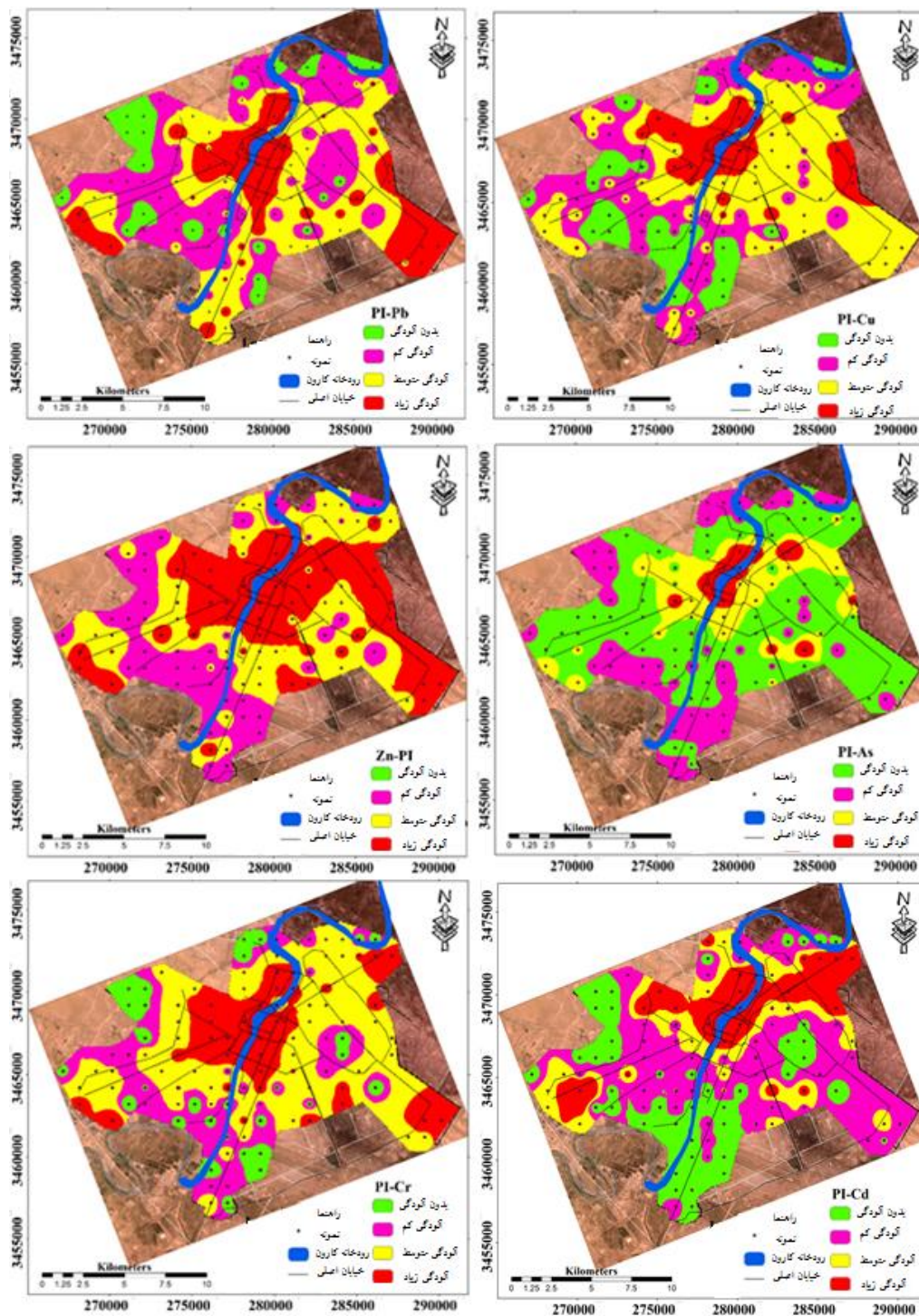
	شاخص آلودگی							
	تعداد نمونه‌ها	پایین	متوسط	بالا	بدون آلودگی	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
Pb	۳۱	۲۷	۳۳	۲۴	۲/۲۵	۱۷/۳۲	۰/۳۱	
Zn	۴۱	۳۹	۳۵	۰	۲/۲۴	۱۵/۲۹	۱/۳	
Cu	۲۲	۳۴	۳۶	۲۳	۴/۸	۷/۶۹	۰/۲۸	
Cr	۳۲	۴۳	۱۶	۲۴	۲/۰۶	۱۲/۰۶	۰/۰۷	
Cd	۲۳	۱۶	۳۲	۴۴	۹/۴۵	۸۱/۵۷	۰/۰۵	
As	۱۱	۱۵	۳۸	۵۱	۳/۲۲	۲۲/۵	۰/۲۰۷	



شکل ۳. نمودار درصد طبقات شاخص آلودگی هر کدام از فلزات در منطقه مورد مطالعه

شکل ۴، نقشه توزیع مقدار شاخص آلودگی هر کدام از فلزات بر اساس طبقه‌بندی ارائه‌شده در شاخص آلودگی را نشان می‌دهد. توزیع مکانی عناصر سرب، روی و مس تا حدودی مشابه بوده و می‌توان تا حدودی به هم منشأ بودن یا تشابه منشأ پی‌برد. توزیع این فلزات در واقع تطابق بسیار مناسبی با مناطق صنعتی و مناطق با تراکم جمعیتی و ترافیکی دارد. نقشه توزیع شاخص آلودگی سرب، روی و مس همچنین نشان‌دهنده این است که بیشترین آلودگی در مناطقی از جمله، مرکز شهر که شامل مناطق مراکز خرید و تراکم شدید هستند، مناطق نزدیک به جاده‌های ساحلی رودخانه کارون که عمده‌ترین شریان‌های ترافیکی شهر اهواز هستند، ورودی‌های شهر اهواز که در واقع مسیر کامیون‌های سنگین و تردد بالا در بنادر جنوبی هستند، مناطق صنعتی از جمله صنایع فولاد و صنایع ملی حفاری با توجه به وجود میدان نفتی اهواز در نزدیک شهر که بیشتر

حفاری‌ها همراه با گل حفاری با پایه روغنی هستند. مقادیر شاخص آلودگی فلزات کروم، کادمیم، در غبار خیابانی شهر اهواز به ترتیب از ۰/۰۷ تا ۱۲/۰۶ و ۰/۰۵ تا ۸۱/۵۷ متغیر است. همچنین مقادیر شاخص آلودگی برای کادمیم و کروم به ترتیب نشان‌دهنده ۶۲ درصد و ۷۸ درصد نمونه‌های دارای آلودگی است. داده‌های ارائه‌شده نشان‌دهنده این موضوع است. شاخص آلودگی در مناطق با تراکم جمعیت بالا، ترافیک سنگین، و فعالیت‌های صنعتی دارای آلودگی شدیدی از نظر فلزات سنگین است. تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از فلزی مانند روی در واقع بیان‌کننده این است که ۱۰۰ درصد نمونه‌های غبار خیابانی شهر اهواز، آلودگی کم تا شدیدی از این فلز دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد مهم‌ترین منابع این فلزات می‌توانند سوخت ناشی از خودروها، فرسایش قطعات مکانیکی و تایر ماشین‌ها و عملیات ساخت‌وساز باشند.



شکل ۴. نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه

نمونه‌ها از ۰/۷۱ تا ۵۹/۰۱ با مقدار میانگین ۹/۶۶ متغیر است (جدول ۶). ارزیابی داده‌ها در واقع نشان می‌دهد که ۲۴ نمونه (۲۰/۸ درصد) هیچ‌گونه آلودگی ندارند، در حالی که تعداد ۲۶ نمونه خاک (۲۲/۶ درصد) نمونه‌ها دارای

#### شاخص جامع آلودگی نمره<sup>۵</sup>

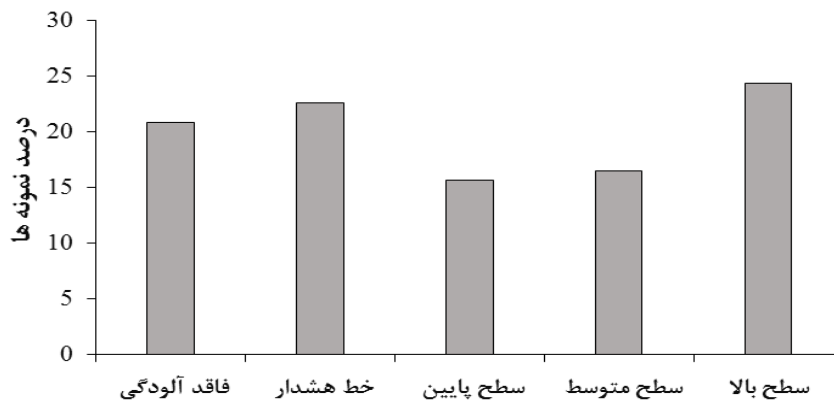
نمودار درصد نمونه‌ها در هر سطح آلودگی تعیین شده با شاخص جامع آلودگی نمره در مقابل تعداد نمونه‌ها در شکل ۵ آمده است. شاخص جامع آلودگی نمره همه

مقدار شاخص آلودگی ۲ تا ۳ دارند. در نهایت تعداد ۲۸ نمونه خاک (۲۴/۳ درصد) سطح آلودگی شدید دارند. شکل ۶، توزیع فضایی مقادیر شاخص جامع آلودگی نمره در گردوغبار خیابانی شهر اهواز را نشان می‌دهد.

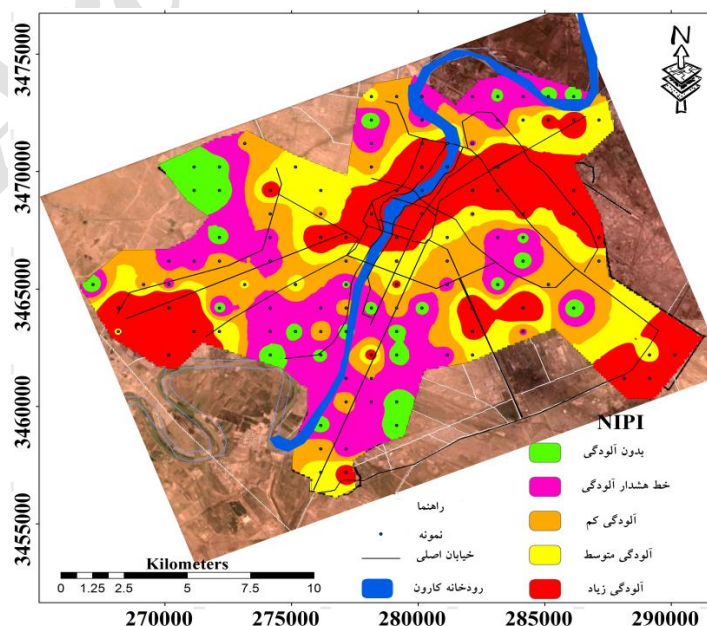
آلودگی با سطح خط هشدار آلودگی با مقدار شاخص جامع آلودگی بین ۰/۷ تا ۱ هستند. تعداد ۱۸ نمونه خاک (۱۵/۶۵ درصد) از نمونه‌ها، مقدار شاخص جامع آلودگی بین ۱ تا ۲ و سطح آلودگی پایین دارند. تعداد ۱۹ نمونه خاک (۱۶/۵ درصد) از نمونه‌ها، سطح آلودگی متوسط با

جدول ۶. نتایج آماری شاخص جامع آلودگی یکپارچه شده نمره فلزات در گردوغبار خیابانی شهر اهواز

تعداد نمونه‌ها					NIPI		
سطح بالا	سطح متوسط	سطح پایین	خط هشدار	فاقد آلودگی	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
۲۸	۱۹	۱۸	۲۶	۲۴	۹/۶۶	۵۹/۰۱	۰/۷۱



شکل ۵. نمودار درصد نمونه‌ها در هر سطح آلودگی تعیین شده توسط شاخص نمره



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی شاخص جامع آلودگی نمره در محدوده مورد مطالعه



توزیع مکانی فلزات نشان‌دهندهٔ بیشترین غلظت فلزات در مکان‌های صنعتی و دارای حجم ترافیک و جمعیتی است. به عبارتی عواملی غیر از عوامل طبیعی (آندروپوژنیک) مانند وسایل نقلیه، ترافیک سنگین، فرسایش، سایش لاسٹیک خودروها، خوردگی فلزات، سوخت‌های مصرفی و صنایع بزرگی از جمله ذوب فلزات، و فعالیت‌های حفاری که اساساً حفاری بر پایه روغنی است باعث افزایش این فلزات در غبارهای خیابانی می‌شود. نتایج شاخص جامع آلودگی نمره نشا می‌دهد بیش از ۵۶ درصد از نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط به بالا هستند. بنابراین برخی از اقدامات حفاظتی کاهش سطح آلودگی فلزات سنگین در شهر اهواز مانند، افزایش فضای سبز، تبدیل سوخت‌های مایع به گازی و استفاده از حمل‌ونقل عمومی پیشنهاد می‌شود.

#### یادداشت‌ها

1. Inverse Distance Weighting
2. Geographic Information System
3. smoothing
4. pollution index
5. nemerow integrated pollution index
6. lead
7. zinc
8. copper
9. cadmium
10. cromium
11. arsenic
12. pearson's correlltion

نمونه‌های خاک با سطح آلودگی متوسط و بالا در نزدیکی مناطقی از جمله مرکز شهر با تراکم جمعیتی و حجم ترافیک بالا، مناطق نزدیک به ساخت شهرک‌های صنعتی، صنایع شیمیایی، فعالیت‌های حفاری در شرکت ملی حفاری ایران، صنایع بزرگی از جمله، فولاد خوزستان و مقاطع ورودی شهر اهواز هستند. مناطق با آلودگی پایین و روی خط آلودگی در واقع مناطق توسعه یافته در چند دههٔ اخیرند که ترافیک و تراکم جمعیتی پایین دارند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه به اندازه‌گیری میزان غلظت و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم و کادمیوم در ۱۱۵ نمونهٔ غبار خیابانی شهر اهواز پرداخته شد. همچنین پراکندگی غلظت این فلزات به وسیلهٔ سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه شد. یافته‌های پژوهش حاضر در واقع تأثیر فعالیت‌های شهری و صنعتی در سطح شهر اهواز و محدوده شهر را نشان می‌دهد، که به افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر اهواز نسبت به دیگر شهرهای دنیا با وجود جمعیت بیشتر می‌انجامد. نتایج تحلیل همبستگی نشان‌دهندهٔ همبستگی معنادار بین سرب، روی، مس و کروم است، که نشان از منشأ احتمالی یکسان و انسان‌زاد است، از طرفی فلزاتی مانند آرسنیک و کادمیم، همبستگی کمتری با دیگر عناصر دارند، که حاکی از وجود منشأ دیگری برای عناصر مذکور است. همچنین نتایج

#### منابع

آمارنامهٔ کلان‌شهر اهواز، ۱۳۹۰، شهرداری اهواز.

سلگی، ع.، اسماعیلی ساری، ع.، ریحانی بختیاری، ع.، هادی پور، م. ۱۳۹۴. آلودگی آرسنیک در مناطق شهری: مطالعهٔ موردی شهر اراک، مجلهٔ سلامت و محیط، فصلنامهٔ علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۱(۸): ۱-۱۰.

Acosta, J., Faz, A., Kalbitz, K., Jansen, B. and Martínez-Martínez, S. 2014. Partitioning of heavy metals over different chemical fraction in street dust of Murcia (Spain) as a basis for risk assessment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144: 298-305.

Ajmone-Marsan, F. and Biasioli, M. 2010. Trace elements in soils of urban areas. *Water, Air, & Soil Pollution* 213: 121-143.

Ali, M. H., Mustafa, A. R. A. and El-Sheikh, A. A. 2016. Geochemistry and spatial distribution of selected heavy metals in surface soil of Sohag, Egypt: a multivariate statistical and GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 75: 12-57.

- Benhaddya, M. L., Boukhelkhal, A., Halis, Y. and Hadjel, M. 2016. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 70: 556-571.
- Bhattacharya, P., Frisbie, S., Smith, E., Naidu, R., Jacks, G. and Sarkar, B. 2002. Arsenic in the environment: a global perspective. *Handbook of heavy metals in the environment*. Marcell Dekker Inc., New York, 23: 147-215.
- Chatterjee, A., and Banerjee, R. 1999. Determination of lead and other metals in a residential area of greater Calcutta. *Science of the Total Environment*, 227: 175-185.
- Chen, Y., Jiang, X., Wang, Y. and Zhuang, D. 2018. Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: A case study in China. *Process Safety and Environmental Protection*, 113: 204-219.
- Chen, T., Chang, Q., Liu, J., Clevers, J. and Kooistra, L. 2016. Identification of soil heavy metal sources and improvement in spatial mapping based on soil spectral information: a case study in northwest China. *Science of the Total Environment*, 565: 155-164.
- Chlopek, Z., Suchocka, K., Dudek, M. and Jakubowski, A. 2016. Hazards posed by polycyclic aromatic hydrocarbons contained in the dusts emitted from motor vehicle braking systems. *Archives of Environmental Protection*, 42: 3-10.
- 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: 2733-2740.
- Duzgoren-Aydin, N., Wong, C., Aydin, A., Song, Z., You, M. and Li, X. 2006. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. *Environmental geochemistry and health*, 28: 375-391.
- Ebenezer, A. and Eremasi, Y. 2012. Determination of heavy metals in water sediments and tilapia zilli from kolo-creek, Ogbia local government area, Bayelsa state, Nigeria. *Scientia Africana*, 11: 44-52.
- Ghanavati, N., Nazarpour, A. and De Vivo, B. 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.
- Ghanavati N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11: 63-74.
- Ghanavat, N. and Nazarpour, A. 2016. Heavy metals pollution assessment of roadside soils in the Ahvaz city junctions.
- Hu, B., Liu, B., Zhou, J., Guo, J., Sun, Z., Meng, W., Guo, X. and Duan, J. 2016. Health risk assessment on heavy metals in urban street dust of Tianjin based on trapezoidal fuzzy numbers. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22: 678-692.
- Hu, X., Wang, C. and Zou, L. 2011. Characteristics of heavy metals and Pb isotopic signatures in sediment cores collected from typical urban shallow lakes in Nanjing, China. *Journal of environmental management*, 92: 742-748.
- Huang, J., Li, F., Zeng, G., Liu, W., Huang, X., Xiao, Z., Wu, H., Gu, Y., Li, X. and He, X. 2016. Integrating hierarchical bioavailability and population distribution into potential eco-risk assessment of heavy metals in road dust: A case study in Xiandao District, Changsha city, China. *Science of the Total Environment*, 541: 969-976.
- Karim, Z., Qureshi, B. A. and Mumtaz, M. 2015. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan. *Ecological indicators*, 48: 358-364.
- Keshavarzi, B., Tazarvi, Z., Rajabzadeh, M. A. and Najmeddin, A. 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.
- Kim, J.A., Park, J.H. and Hwang, W.J. 2016. Heavy metal distribution in street dust from traditional markets and the human health implications. *International journal of environmental research and public health*, 13: 820.
- Kwasowski, W., Kozanecka, T., Górska, E. B., Gozdowski, D. and Kowalczyk, P. 2016. application of heavy metals in street dust in the monitoring of changes in environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 103-112.
- Langer, S., Weschler, C. J., Fischer, A., Bekö, G., Toftum, J. and Clausen, G. 2010. Phthalate and PAH concentrations in dust collected from Danish homes and daycare centers. *Atmospheric Environment*, 44: 2294-2301.
- Li, X. and Feng, L. 2012. Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*, 47: 58-65.

- Li, Z., Feng, X., Li, G., Bi, X., Zhu, J., Qin, H., Dai, Z., Liu, J., Li, Q. and Sun, G. 2013. Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids in the street dust of a heavily industrialized city of central China. *Environmental pollution*, 182: 408-416.
- Li, J., He, M., Han, W. and Gu Y. 2009. Analysis and assessment on heavy metal source in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *Journal of Hazardous Materials*, 164: 976-981.
- Liu, E., Yan, T., Birch, G. and Zhu, Y. 2014. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Science of the Total Environment*, 476: 522-531.
- Madhloom, H. M., Al-Ansari, N., Laue, J. and Chabuk, A. 2017. Modeling spatial distribution of some contamination within the lower reaches of Diyala river using IDW interpolation. *Sustainability*, 10: 22.
- Nazarpour, A., Ghanavati, N. and Babaenejad, T. 2017a. 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: 391-400.
- Nazarpour, A., Ghanavati, N. and Watts, M. J. 2017b. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental geochemistry and health*, 40: 693-704.
- NEPA (National Environmental Protection Agency of China). 1995. Environmental quality standard for soils (GB 15618-1995). Standards press of China, Beijing. (In Chinese).
- Nordstrom, D. K. 2000. An overview of arsenic mass poisoning in Bangladesh and West Bengal, India. *Minor elements*, 18: 21-30.
- Ozyazici, M.A., Dengiz, O. and Ozyazici, G. 2017. Spatial distribution of heavy metals density in cultivated soils of Central and East Parts of Black Sea Region in Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6: 197.
- Papas, D., Efstathiou, G.A., Zoumakis, N.M., Koutroubelis, S., Kelessis, A.G. and Petrakakis, M.J. 2010. Modelling of traffic pollution at an urban site using a microscale cfd dispersion model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19: 1997-2001.
- Pierzynski, G.M., Vance, G. F. and Sims, J. T. 2005. "Soils and environmental quality," CRC press.
- Qing, X., Yutong, Z. and Shenggao, L. 2015. Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 120: 377-385.
- 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: 739-746.
- Rasmussen, P., Subramanian, K. and Jessiman, B. 2001. A 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: 125-140.
- Ravankhah, N., Mirzaei, R. and Masoum, S. 2015. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. *Iranian Journal of Health and Environment*, 8: 345-356.
- Saeedi, M., Li, L. Y. and Salmanzadeh, M. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of hazardous materials*, 227: 9-17.
- Šajn, R. and Gosar, M. 2014. Multivariate statistical approach to identify metal sources in Litija area (Slovenia). *Journal of geochemical exploration*, 138: 8-21.
- Shi, G., Chen, Z., Bi, C., Wang, L., Teng, J., Li, Y. and Xu, S. 2011. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmospheric Environment*, 45: 764-771.
- Shokr, M. S., El Baroudy, A. A., Fullen, M. A., El-Beshbeshy, T. R., Ramadan, A. R., El Halim, A. A., Guerra, A. J. and Jorge, M. C. 2016. Spatial distribution of heavy metals in the middle Nile delta of Egypt. *International Soil and Water Conservation Research*, 4: 293-303.
- Simon, E., Vidic, A., Braun, M., Fábíán, I. and Tóthmérész, B. 2013. Trace element concentrations in soils along urbanization gradients in the city of Wien, Austria. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 917-924.
- Strobel, B. W., Hansen, H. C. B., Borggaard, O. K., Andersen, M. K. and Raulund-Rasmussen, K. 2001. Composition and reactivity of DOC in forest floor soil solutions in relation to tree species and soil type. *Biogeochemistry*, 56: 1-26.
- Tang, Z., Chai, M., Cheng, J., Jin, J., Yang, Y., Nie, Z., Huang, Q. and Li, Y. 2017. Contamination and health risks of heavy

- metals in street dust from a coal-mining city in eastern China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 138: 83-91.
- Tang, R., Ma, K., Zhang, Y. and Mao, Q. 2013. The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. *Applied geochemistry*, 35: 88-98.
- USEPA. 1996. United States Environmental Protection Agency, Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils. SW-846, Washington D.C.88p
- Wei, X., Gao, B., Wang, P., Zhou, H. and Lu, J. 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.
- Wyszkowska, J., Borowik, A., Kucharski, M.a. and Kucharski, J. 2013. Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes. *Journal of Elementology* 18.
- Yesilonis, I., Pouyat, R. and Neerchal, N. 2008. Spatial distribution of metals in soils in Baltimore, Maryland: role of native parent material, proximity to major roads, housing age and screening guidelines. *Environmental Pollution*, 156: 723-731.
- Yu, L., Zhang, B. and Zhang, S. 2004. Heavy metal elements pollution evaluation on the ecological environment of the Sanjiang Plain based on GIS. *Chinese Journal of Soil Science*, 35: 529-532.
- Zou, B., Jiang, X., Duan, X., Zhao, X., Zhang, J., Tang, J. and Sun, G. 2017. An integrated HG scheme identifying areas for soil remediation and primary heavy metal contributors: A risk perspective. *Scientific reports*, 7: 322-341.

Archive of SID