

## بررسی وضعیت، منابع و آلودگی زیست‌محیطی برخی از فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر دزفول

فاطمه صادق‌دوست<sup>۱،۲</sup>، نوید قنواتی<sup>۲\*</sup>، احد نظریور<sup>۳</sup>، تیمور بابایی نژاد<sup>۴</sup> و مایکل جیمز واتس<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۵)

### چکیده

فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی به دلیل سمیت و پایداری آنها به عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی در چند سال اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته‌اند. هدف از مطالعه حاضر بررسی خطر فلزات سنگین (سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، آرسنیک و کبالت) بر سلامت انسانی در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول است. برای نیل به این هدف تعداد ۳۰ عدد نمونه گرد و غبار از پیاده‌رو خیابان‌های اصلی دزفول برداشت و به روش جذب اتمی (AAS) آنالیز شد. سطح آلودگی فلزات سنگین بر اساس شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی نمره برآورد شد. همچنین الگوی مکانی غلظت فلزات در گردوغبار خیابانی در محیط GIS تهیه شد. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، آرسنیک و کبالت به ترتیب ۵۴/۲، ۲۲۳/۶، ۵۰/۵، ۴۴/۴، ۰/۴، ۴۵/۸، ۳۷/۸، ۳/۳ و ۷/۶ (mg/kg) بود. میانگین غلظت تمام فلزات سنگین به جز آرسنیک، وانادیوم و کبالت چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه است. بر اساس میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) و شاخص آلودگی (PI) در منطقه مورد مطالعه، فلزات سنگین روی و سرب دارای آلودگی بسیار بالایی هستند. بر اساس ارزیابی شاخص جامع آلودگی نمره ۱۰۰ درصد نمونه‌ها دارای درجه آلودگی بالا هستند. نتایج به دست آمده از شاخص‌های آلودگی نشان داد که منبع آلودگی فلزات مورد مطالعه فعالیت‌های انسان‌زاد از قبیل ترافیک و سوختن سوخت‌های فسیلی در منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، گردوغبار خیابانی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی، شاخص جامع آلودگی نمره، دزفول

۱. گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

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

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

۴. گروه زمین‌شناسی معدنی، مرکز تحقیقات ژئوشیمی زیست‌محیطی، سازمان زمین‌شناسی بریتانیا، ناتینگهام، انگلستان

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

## مقدمه

گرد و غبار سطح زمین به‌عنوان یکی از منابع آلاینده محیط زیست عمل می‌کند (۱۰). گرد و غبار خیابانی یک مخزن اصلی از آلاینده‌هایی است که می‌تواند از طیف وسیعی از منابع، از جمله ترافیک، انتشارات صنعتی، آفت‌کش‌ها، رسوبات اتمسفر و فعالیت‌های معدنی منشأ گرفته باشد (۲). از آنجا که آلودگی‌های انباشته شده در گرد و غبار خیابانی می‌تواند در محیط (مانند خاک، آب سطحی و آب‌های زیرزمینی) آزاد و به گیاهان، حیوانات و بدن انسان وارد شود؛ در نتیجه، این آلودگی‌ها می‌توانند اثرات شدید سمی و سرطان‌زایی روی انسان‌ها را عمدتاً از طریق استنشاق، بلع و تماس پوستی داشته باشند (۱۰).

از جمله اجزای پیچیده گرد و غبار خیابانی، فلزات سنگین هستند که به‌دلیل سمیت بالا، پنهان شدن، پایداری و تجمع بیولوژیکی تبدیل به یک مشکل شهری و زیست‌محیطی شده است و توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند (۱۶، ۱۲ و ۲۱). وجود فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان باعث می‌شود که آنها در بدن انسان انباشته و در نتیجه تبدیل به خطرات بهداشتی شوند (۱۷). سرطان‌ها از مهم‌ترین امراض غیر واگیر هستند که بار بیماری عمده‌ای را به جامعه تحمیل می‌کنند (۴). 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 (۲۱، ۲۲ و ۲۳). سلطانی و همکاران (۳۱) در مطالعات خود روی گرد و غبار خیابانی شهر اصفهان دریافتند که آلودگی ناشی از فلزات سنگین می‌تواند توسط فعالیت‌های انسان‌زاد مانند ترافیک، احتراق سوخت‌های فسیلی، خوردگی سطوح فلزی و لنت ترمز اتومبیل‌ها و یا منابع طبیعی باشد. در مطالعه‌ای که جعفری و همکاران (۱۳) در کرمان روی ارزیابی فلزات سنگین در گرد و غبار شهری انجام دادند به این نتیجه رسیدند که منشأ اصلی فلزات سنگین سرب، روی و مس در گرد و غبار شهری مربوط به وسایل نقلیه موتوری است. مطالعات دست‌گشاده و همکاران (۷) در کرج

روی ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار جاده‌ای نشان داد که میزان غلظت فلزات سنگین سرب، مس و روی در کلیه جاده‌ها در اثر فعالیت‌های انسان‌زاد افزایش یافته و منشأ طبیعی ندارد. مطالعات کریمیان و همکاران (۱۵) روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار شهر اهواز نشان داد که غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار مورد مطالعه در مناطق صنعتی و پرترافیک بالاست. همچنین با مقایسه غلظت فلزات سنگین در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری، بیشترین غلظت فلزات سنگین در آذرماه مشاهده شده است. بهروش و همکاران (۳) در مطالعات خود روی گرد و غبار خیابانی در شهر مشهد دریافتند که غلظت فلزات Cu، Pb، Zn و Ni بیشتر از غلظت این فلزات در بخش بالایی پسته زمین است. ضریب همبستگی مثبت میان فلزات سنگین Zn و Cu و همچنین Zn و Pb، نشان‌دهنده منابع تولیدکننده که همان سوخت خودروها و سایش لنت ترمز وسایل نقلیه است. مظلومی و همکاران (۱۹) به ارزیابی میزان حضور فلزات و شبه‌فلزات در گرد و غبار خیابانی غرب و شرق تهران پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که گرد و غبار خیابانی هر دو منطقه مورد مطالعه از نظر عناصر Li، Al، Ti، V، Cr، Mn، Fe، Ni، Sr و Ba غیرآلوده بوده و منشأ این عناصر عمدتاً منابع طبیعی است اما عناصر Cd، Cu، As، Zn و Sn آلودگی متوسط تا بالایی نشان دادند. این عناصر در هر دو منطقه درجه غنی‌شدگی بسیار بالا تا به‌شدت بالا داشتند و منشأ آنها عمدتاً منابع آنتروپوژنیک است. شاخص ریسک اکولوژیک برای منطقه شرق، ریسک اکولوژیک متوسط و برای منطقه غرب، ریسک اکولوژیک پایین نشان داد.

طی چند سال گذشته مقادیر زیادی غبارهای جوی از طریق مرزهای غربی کشور وارد شده است، که به‌عنوان عامل اصلی آلودگی‌های محیط زیستی در غرب کشور و به‌ویژه در استان خوزستان و شهر دزفول هستند. با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت زیست‌محیطی این مسئله، لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول احساس شده است.

تجمع یافته است، برداشت شد. نقشه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در شکل (۱) نمایش داده شده است. گرد و غبار خیابانی نقاط به گونه‌ای انتخاب شدند که بتوانند کل منطقه مورد مطالعه را پوشش دهند که مجموع این نقاط ۳۰ نقطه شد. نمونه‌ها به صورت ترکیبی (مخلوط سه نمونه با هم در فاصله ۵ تا ۱۰ متر) و با وزن تقریبی ۱۰۰ گرم به دست آمدند. 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. 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 اندازه‌گیری فلزات سنگین از روش جذب اتمی (AAS) استفاده شد. مقدار ۰/۳۵ گرم از هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (ترکیب سه اسید  $\text{HNO}_3$  و  $\text{HClO}_4$ ، HF) به نسبت ۳:۲:۵ هضم) و در ظروف تفلونی (PTFE) در دمای ۱۶۰ درجه به مدت شش ساعت هضم شد (۴۰) و سپس با آب دیونیزه به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس عناصر As, Cr, Co, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, V با دستگاه جذب اتمی مدل Xplora و GBC مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. خاک استاندارد II SRM 2711 Montana برای کنترل کیفیت و بررسی صحت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در نمونه‌ها استفاده شده است. حد تشخیص دستگاه برای عناصر As, Cr, Co, Cd, Ni, Pb, Cu, Zn به ترتیب ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۶، ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۷/۰۰۵، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در هنگام هضم به همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه شده و همراه سایر نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. بازیابی قابل قبولی (۹۸/۵-۸۱/۶ درصد) برای فلزات مورد بررسی به دست آمد.

#### آنالیز آماری

به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) استفاده شد (۳۴). تحلیل آماری داده‌ها با

بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان غلظت ۹ فلز (شبه‌فلز) سمی سرب، نیکل، روی، مس، کادمیوم، کروم، آرسنیک، وانادیوم و کبالت به منظور دستیابی به نقاط با آلودگی بالا برای شناسایی منابع این فلزات در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول است، استفاده از تحلیل‌های آماری نظیر ضریب همبستگی اسپیرمن و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای تعیین روابط بین عناصر مختلف که درک این روابط می‌تواند در تشخیص منشأ طبیعی یا انسان‌زاد بودن عناصر و چگونگی انتقال آن در محیط مفید باشد، همچنین ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص آلودگی (PI)، شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) و توزیع مکانی آنها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

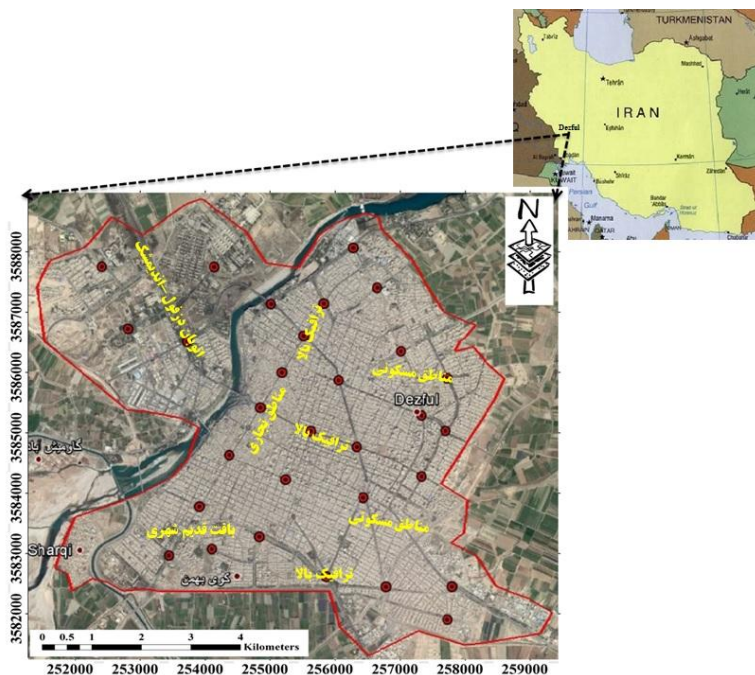
#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

شهرستان دزفول، از شهرستان‌های استان خوزستان در جنوب غربی ایران است. شهر دزفول از لحاظ وسعت و جمعیت دومین شهر بعد از اهواز در استان خوزستان است. موقعیت جغرافیایی شهر دزفول در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۵ دقیقه و با ارتفاع ۱۴۳ متر از سطح دریا و با مساحتی معادل ۴۷۶۲ کیلومتر مربع است. جمعیت آن در سرشماری سال ۱۳۹۵، ۴۴۳ هزار نفر بوده است. این شهر دارای آلودگی‌هایی از قبیل احتراق نفت و گاز، صنایع و ترافیک بوده و به منظور پالایش و مدیریت آلودگی‌های موجود، ارزیابی محیط زیستی در این شهر حائز اهمیت است.

##### نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

در این پژوهش به منظور مطالعه غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول، نمونه‌برداری در فصل خشک در خردادماه ۱۳۹۵ از نقاط پرتراffیک، میادین شهر، خیابان‌های اصلی شهر، مراکز خرید و مناطق مسکونی از کنار پیاده‌روها، آسفالت خیابان‌ها و مکان‌هایی که گرد و غبار برای مدتی در آن



شکل ۱. نقشه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در شهر دزفول

مجذور فاصله. مشخصه جالب این روش این است که وزن به‌کاررفته با افزایش فاصله به سرعت کاهش می‌یابد، در نتیجه درون‌یابی در این روش کاملاً محلی است و چون وزن‌های به‌کار رفته هیچ‌گاه صفر نمی‌شوند، بنابراین هیچ‌گونه انقطاع و عدم پیوستگی در برآوردها رخ نمی‌دهد. روش IDW، روش درون‌یابی و برآورد زمین‌آماری است که قادر است بر اساس مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند. عمومی‌ترین روش در علوم زیست‌محیطی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی نیز کاربرد دارد. روش IDW معمولی اغلب سبب هموارسازی (Smoothing) 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. IDW را هم می‌توان به‌صورت نقطه‌ای و هم بلوکی انجام داد. ویژگی دیگر IDW علاوه بر دقت زیاد در برآورد این است که به‌همراه هر برآوردی (نقشه IDW)، مقدار خطای آن

استفاده از بسته نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس (SPSS.۲۲) و محاسبات شاخص‌ها توسط نرم‌افزار اکسل انجام شد. همچنین در این مطالعه توزیع مکانی هر کدام از فلزات مورد مطالعه در گرد و غبار با استفاده از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. غلظت عناصر با استفاده از روش وزن فاصله معکوس (IDW) درون‌یابی شد و در نهایت نقشه توزیع مکانی هر کدام از عناصر بر اساس فواصل طبیعی مورد طبقه‌بندی قرار گرفت. روش IDW از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن برآورد بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنا بر عکس فاصله وزندهی می‌شوند، انجام می‌شود. به‌عبارت 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 به‌طور معمول بین یک تا پنج است، ولی اغلب از توان دو استفاده می‌شود، یعنی عکس

تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$EF = \frac{\left(\frac{CX}{Cref}\right)_{Sample}}{\left(\frac{CX}{Cref}\right)_{Background}} \quad (1)$$

که در معادله (۱)  $\left(\frac{CX}{Cref}\right)_{Sample}$  نسبت غلظت فلز مورد نظر (اندازه‌گیری شده در گرد و غبار) به غلظت فلز زمینه در نمونه مورد مطالعه،  $\left(\frac{CX}{Cref}\right)_{Background}$  نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا در مقادیر زمینه است. Cref (غلظت عنصر مرجع)، عنصری است که منشأ کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد. در پژوهش‌های زیست‌محیطی معمولاً از Sr, Al, Fe, Ti, Zr به‌عنوان عناصر مرجع استفاده می‌شود (۱). در این مطالعه Al به‌عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد، چرا که منابع انسانی انتشار آن ناچیز و قابل صرف نظر است. این عنصر در پوسته زمین غنی است و به مقدار کمتر در آلودگی‌های زیست‌محیطی انسان‌زاد وجود دارد. اگر فاکتور غنی‌شدگی عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی دارد و در صورتی که بین ۱ تا ۱۰ باشد، عنصر هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسان‌زاد خواهد داشت و در صورتی که این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد، منشأ آلودگی عنصر مورد نظر عمدتاً انسان‌زاد است. مقادیر EF بین یک تا پنج نشان‌دهنده این است که منبع انسان‌زاد سهم معنی‌داری در میزان آن عنصر ندارند (۲۴). درجه آلودگی فلزات سنگین را می‌توان به پنج دسته طبقه‌بندی کرد که عبارت‌اند از: آلودگی کم ( $EF < 2$ )، آلودگی متوسط ( $2 \leq EF < 5$ )، آلودگی زیاد ( $5 \leq EF < 20$ )، آلودگی بسیار زیاد ( $20 \leq EF < 40$ ) و آلودگی به‌شدت زیاد ( $EF \geq 40$ ).

#### شاخص آلودگی (Pollution Index)

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

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

(نقشه انحراف معیار) را نیز محاسبه می‌کند. از آنجا که در این حالت کریجینگ وزن را بر اساس عکس تعداد نمونه‌ها ( $n/1$ ) محاسبه می‌کند، در نقشه‌های برآورد شده به این روش برخلاف روش کریجینگ، حداقل و حداکثر متغیر برآورد شده در محل نمونه‌های اولیه قابل مشاهده است (۵).

#### 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 عبارت‌اند از:

#### فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor)

از فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای تشخیص بین منابع انسانی، طبیعی و یا منابع مختلط (انسانی و طبیعی) و نیز تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین استفاده می‌شود (۲۰). به‌طور کلی این فاکتور برای بررسی آثار احتمالی فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات سنگین استفاده می‌شود. 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 (۳۴) و در بعضی از مطالعات نیز از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به‌عنوان مقدار زمینه استفاده شده است (۹). بنابراین با توجه به اینکه اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول برای نخستین بار در این مطالعه انجام می‌شود، به‌دلیل موجود نبودن اطلاعات قبلی و همچنین عدم تدوین و ارائه مقادیر غلظت‌های زمینه‌ای فلزات برای نواحی مختلف کشور (در حالی که این مقادیر به‌وسیله بسیاری از کشورها تهیه و ارائه شده است)، از مقادیر میانگین موجود در پوسته زمین به‌عنوان غلظت زمینه فلزات استفاده شد. این فاکتور در تحلیل‌های زیست‌محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر

فلزات در مناطقی از شهر مانند مرکز شهر، میادین، خیابان‌های اصلی و مناطق مسکونی قدیمی که با مرکز شهر و یا اتوبان اندیمشک-دزفول فاصله چندانی ندارد به دلیل تردد زیاد وسایل نقلیه، بالاست. با توجه به این نتایج می‌توان احتمال داد غلظت بالای این فلزات می‌تواند بیشتر ناشی از ترافیک شهری، سوختن سوخت‌های فسیلی، فرسودگی رینگ و لاستیک و ساییش بدنه و لنت ترمز خودروها باشد. مطالعات دهقانی و همکاران (۹) در گرد و غبار خیابانی شهر تهران نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین Pb, Cu, Zn و Sb به وضوح مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر ساییدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، ساییش جاده و احتراق سوخت‌های فسیلی است. مطالعات نشان می‌دهند که اصلی‌ترین منبع انتشار سرب در گرد و غبار خیابانی، مواد افزودنی به سوخت خودروهاست (۳۴). با توجه به آنکه در حال حاضر بنزین سرب‌دار تولید و استفاده نمی‌شود و در عین حال افزایش میزان سرب با افزایش میزان ترافیک مرتبط است، برای انتشار سرب در گرد و غبار خیابانی می‌بایست منابعی غیر از احتراق بنزین وجود داشته باشد. اسمیکوسکی و همکاران (۳۰) معتقدند علاوه بر بنزین سرب‌دار، فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) از منابع اصلی آلودگی محیط زیست شهری به سرب به‌شمار می‌روند. کروم، مس و روی از فرسایش آلیاژهای استفاده شده در وسایل نقلیه و سایر سطوح و مواد فلزی ناشی می‌شوند. محتمل‌ترین منبع عنصر روی در گرد و غبار خیابانی عمدتاً ناشی از اکسید روی استفاده شده در ولکانیزاسیون لاستیک تایرها است. منشأ احتمالی مس نیز فرسایش قطعات فلزی اتومبیل‌هاست. با توجه به مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین)، می‌توان بیان داشت که آلودگی خاصی از فلزات V, As و Co در محیط شهری مشاهده نشده است.

#### تحلیل همبستگی بین فلزات سنگین

ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی کمک کند. در این پژوهش از ضریب

$C_n$  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 (۶).

#### شاخص جامع آلودگی نمرو

##### (Nemro Integrated Pollution Index)

این شاخص به صورت معادله زیر بیان می‌شود:

$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{i\max}^2 + PI_{i\text{ave}}^2}{2}} \quad (3)$$

$PI_{i\max}$ ، ماکزیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین و  $PI_{i\text{ave}}$  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 (۳۲). 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 ( $2 < NIPI \leq 3$ ) و سطح بالای آلودگی ( $NIPI > 3$ ) طبقه‌بندی می‌شود.

#### نتایج

##### بررسی غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهر دزفول در جدول (۱) گزارش شده است. غلظت عناصر سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، آرسنیک و کبالت به ترتیب بین ۱۰۷-۳۳، ۳۴۱-۱۱۹، ۱۰۳-۳۰، ۵۰-۳۶، ۵۲/۰-۳۳/۰، ۵۴-۳۸، ۴۱-۳۴، ۳/۷-۲/۹ و ۹-۶ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. میانگین غلظت این عناصر به ترتیب: ۵۴/۲، ۲۳۳/۶، ۵۰/۵، ۴۴/۴، ۰/۴، ۴۵/۸، ۳۷/۸، ۳/۳ و ۷/۶ (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. غلظت تمام فلزات سنگین به جز وانادیوم، آرسنیک و کبالت در نمونه‌های گرد و غبار شهر دزفول چندین برابر بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود. غلظت این

جدول ۱. خلاصه‌ای از پارمترهای آماری غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول

فلزات سنگین	واحد	دامنه	انحراف معیار $\pm$ میانگین	چولگی	زمینه (۲۶)
Pb	(mg/kg)	۳۳-۱۰۷	$۵۴/۱۷ \pm ۲۰/۴۵$	۱/۱۷	۱۵
Zn	(mg/kg)	۱۱۹-۳۴۱	$۲۲۳/۵۷ \pm ۷۱/۵۱$	۰/۳۹	۳۱
Cu	(mg/kg)	۳۰-۱۰۳	$۵۰/۴۷ \pm ۲۲/۷۴$	۱/۲۸	۲۹
Cr	(mg/kg)	۳۶-۵۰	$۴۴/۳۷ \pm ۴/۴۲$	-۰/۳۶	۳۵
Cd	(mg/kg)	۰/۳۳-۰/۵۲	$۰/۴۰ \pm ۰/۰۴$	۱/۱۵	۰/۰۹
Ni	(mg/kg)	۳۸-۵۴	$۴۵/۸۰ \pm ۴/۴۲$	-۰/۰۴	۲۰
V	(mg/kg)	۳۴-۴۱	$۳۷/۸۰ \pm ۲/۰۱$	-۰/۲۶	۶۰
As	(mg/kg)	۲/۹-۳/۷	$۳/۲۹ \pm ۰/۱۷$	-۰/۱۴	۴/۸
Co	(mg/kg)	۶-۹	$۷/۵۷ \pm ۰/۸۴$	۰/۳۰	۱۰

می‌دهند. شکل (۲) آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) را نشان می‌دهد. اولین مؤلفه اصلی (PC۱) ۵۲ درصد از واریانس کل را در بر گرفته و شامل فلزات Co، V، As، Cr، Ni و Cd است. منشأ این فلزات سنگین احتمالاً از منابع انسان‌زاد (برای فلزات Cr، Ni و Cd) مانند ترافیک، فرسودگی رینگ و لاستیک خودروها، سایش بدنه خودروها و استفاده از بنزین و همچنین منابع طبیعی (برای فلزات V، Co و As) حاصل می‌شود. دومین جزء اصلی (PC۲) که ۲۷ درصد از کل واریانس را در بر گرفته و شامل Zn، Cu، Pb است. این نتایج نشان می‌دهد که منشأ این فلزات سنگین احتمالاً از منابع انسان‌زاد مانند سایش لاستیک خودروها، خوردگی فلزات، سوختن زباله و گازهای صنعتی است.

غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان که در جدول (۳) آورده شده نشان‌دهنده این است که میانگین غلظت سرب و روی موجود از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند تهران، اصفهان، نانجینگ، هنگ‌کنگ، مادرید و امان کمتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی از جمله شیراز و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت مس و کبالت در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول پایین‌تر از مقدار میانگین این فلز نسبت به سایر شهرها است. مقدار میانگین غلظت فلز کروم موجود از میانگین غلظت

همبستگی اسپیرمن برای تعیین روابط بین عناصر مختلف استفاده شده است (جدول ۲). درک این روابط می‌تواند در تشخیص منبع عنصر و چگونگی انتقال آن در محیط مفید باشد. ضریب همبستگی به دست آمده بین عناصر آلاینده نشان می‌دهد که عنصر سرب دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با مس (۰/۷۵) و روی (۰/۵۱) است که در واقع ناشی از منشأ یکسان آزادسازی فلزات سنگین در محیط زیست است اما با سایر عناصر، همبستگی معنی‌داری ندارد. همچنین عناصر کروم، نیکل، وانادیوم آرسنیک و کبالت دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با یکدیگر هستند. همچنین این عناصر با کادمیوم دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح پنج درصد هستند که در واقع حاکی از وجود منشأ دیگری برای عناصر مذکور است.

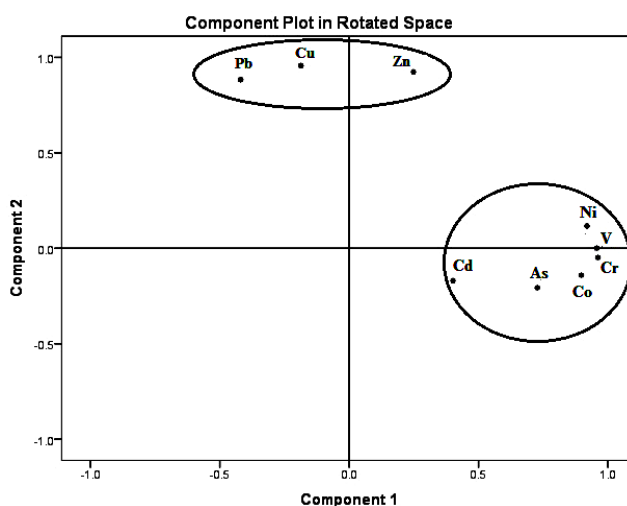
#### تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

در این پژوهش، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی به منظور درک رابطه بین فلزات سنگین در گرد و غبار شهری و تعیین منابع احتمالی آنها استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای غلظت فلزات سنگین نشان داد که دو عامل اصلی ۷۹ (PC) درصد از کل واریانس را تشکیل

جدول ۲. همبستگی بین غلظت فلزات سنگین

Co	As	V	Ni	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	
								۱	Pb
							۱	۰/۵۰۷**	Zn
						۱	۰/۶۳۸**	۰/۷۵۱**	Cu
					۱	۰/۲۴۸	۰/۲۴۶	۰/۳۷۸	Cr
				۱	۰/۴۲۰*	۰/۰۰۳	۰/۰۳۳	۰/۲۳۸	Cd
			۱	۰/۴۲۶*	۰/۸۶۹**	۰/۰۶۵	۰/۳۸۸	۰/۲۷۱	Ni
		۱	۰/۸۹۲**	۰/۴۱۰*	۰/۹۶۷**	۰/۲۰۵	۰/۳۰۴	۰/۲۴۸	V
	۱	۰/۶۶۴**	۰/۵۷۶**	۰/۵۵۹*	۰/۶۲۱**	۰/۳۳۱	۰/۰۷۱	۰/۱۰۳	As
۱	۰/۶۹۶**	۰/۸۵۱**	۰/۷۶۶**	۰/۵۱۸*	۰/۸۶۳**	۰/۳۲۱	۰/۲۲۸	۰/۲۶۶	Co

\* همبستگی در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار و \*\* همبستگی در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار است.



شکل ۲. آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) فلزات سنگین موجود در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی دزفول

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول و دیگر شهرهای انتخاب شده (mg/kg)

منبع	V	Co	As	Ni	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	موقعیت
(۲۳)	-	-	-	۳۴/۸	۱۰/۷	۳۳/۵	۲۲۵/۳	۸۷۳/۲	۲۵۷/۴	تهران (ایران)
(۲۵)	-	۱۳/۹۳	۲۲/۱۵	۷۰/۰۴	۲/۱۴	۸۲/۱۳	۱۸۲/۲۶	۷۰۷/۱۹	۳۹۳/۳۳	اصفهان (ایران)
(۱۲)	-	-	-	۳۴/۸	۲۵۷/۴	۸۷۳/۲	۲۲۵/۳	۳۳/۵	۱۰/۷	شیراز (ایران)
(۹)	-	۱۰/۷	۱۳/۴	۵۵/۹	۱/۱۰	۱۲۶	۱۲۳	۳۹۴	۱۰۳	نانجینگ (چین)
(۲۹)	۳۶/۶	۹/۵۲	۶۶/۸	۲۸/۶	-	۱۲۴	۱۱۰	۳۸۴۰	۱۲۰	هنگ کنگ (چین)
(۲۱)	-	۸/۳۱	۱/۳	۱۵/۲	۰/۳۷	۴۳/۳	۶۵/۸۴	۱۱۲/۵	۳۹/۰۵	اوتاوا (کانادا)
(۱۱)	-	-	-	۱۶/۲۷	۱/۱	۱۸/۳۳	۲۴۹/۶	۴۱۰	۹۷۶	امان (اردن)
(۴)	-	-	-	۴۴	-	۶۱	۱۸۸	۴۷۶	۱۹۲۷	مادرید (اسپانیا)
-	۳۷/۸۰	۷/۵۷	۳/۲۹	۴۵/۸۰	۰/۴۰	۴۴/۳۷	۵۰/۴۷	۲۲۳/۵۷	۵۴/۱۷	دزفول (این مطالعه)



فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار به صورت  $Zn < Pb < Ni < Cd < Cu < Co < As < V < Cr$  کاهش می‌یابد (جدول ۴). مقدار میانگین فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین روی (۵۴)، سرب (۲۸)، مس (۱۳)، نیکل (۱۷)، کادمیوم (۱۴)، آرسنیک (۵)، کروم (۳)، کبالت (۵) و وانادیوم (۴) بیشتر از ۱/۵ است که این امر نشان‌دهنده انسان‌زاد بودن منبع این فلزات سنگین در گرد و غبار است. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این فاکتور بدین شرح است که کروم دارای آلودگی متوسط ( $5 < EF \leq 2$ )، کبالت، نیکل، وانادیم، آرسنیک و کادمیوم دارای آلودگی زیاد ( $20 < EF < 5$ ) و مس و سرب دارای آلودگی بسیار زیاد ( $40 < EF < 20$ ) است. به‌علاوه روی به‌دلیل میانگین فاکتور غنی‌شدگی بالاتر از ۴۰، دارای آلودگی به‌شدت زیاد است. این نتایج نشان می‌دهد که گرد و غبار منطقه مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد.

#### شاخص آلودگی

شاخص آلودگی معمولاً برای ارزیابی کیفیت محیط زیست استفاده می‌شود. مقدار میانگین شاخص آلودگی برای هر یک از فلزات سنگین در جدول (۵) ارائه شده است. مقدار میانگین شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین به‌ترتیب،  $Cu < (7/21) Pb < (3/61) Zn < (2/29) Ni < (1/98) Cr < (1/74) Co < (0/76) V < (0/68) Cd < (0/63) A < (0/45)$  است. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این شاخص بدین شرح است که آرسنیک، کادمیوم، وانادیوم و کبالت بدون آلودگی ( $PI \leq 1$ )، کروم و نیکل دارای سطح آلودگی کم ( $2 < PI \leq 1$ )، روی دارای سطح آلودگی متوسط ( $3 < PI \leq 2$ )، مس و سرب دارای سطح آلودگی زیاد ( $PI > 3$ ) هستند. همچنین طبق نتایج نشان داده شده در جدول (۵) وانادیوم، کروم، آرسنیک و کبالت با ۳۰ نمونه (۱۰۰ درصد) بدون آلودگی هستند. مس با ۲۲ نمونه (۷۳/۳۳ درصد) و کادمیوم با ۱۹ نمونه (۶۳/۳۳ درصد) دارای سطح آلودگی کم هستند. نیکل با ۲۸ نمونه (۹۳/۳۳ درصد) دارای آلودگی متوسط است. به‌علاوه

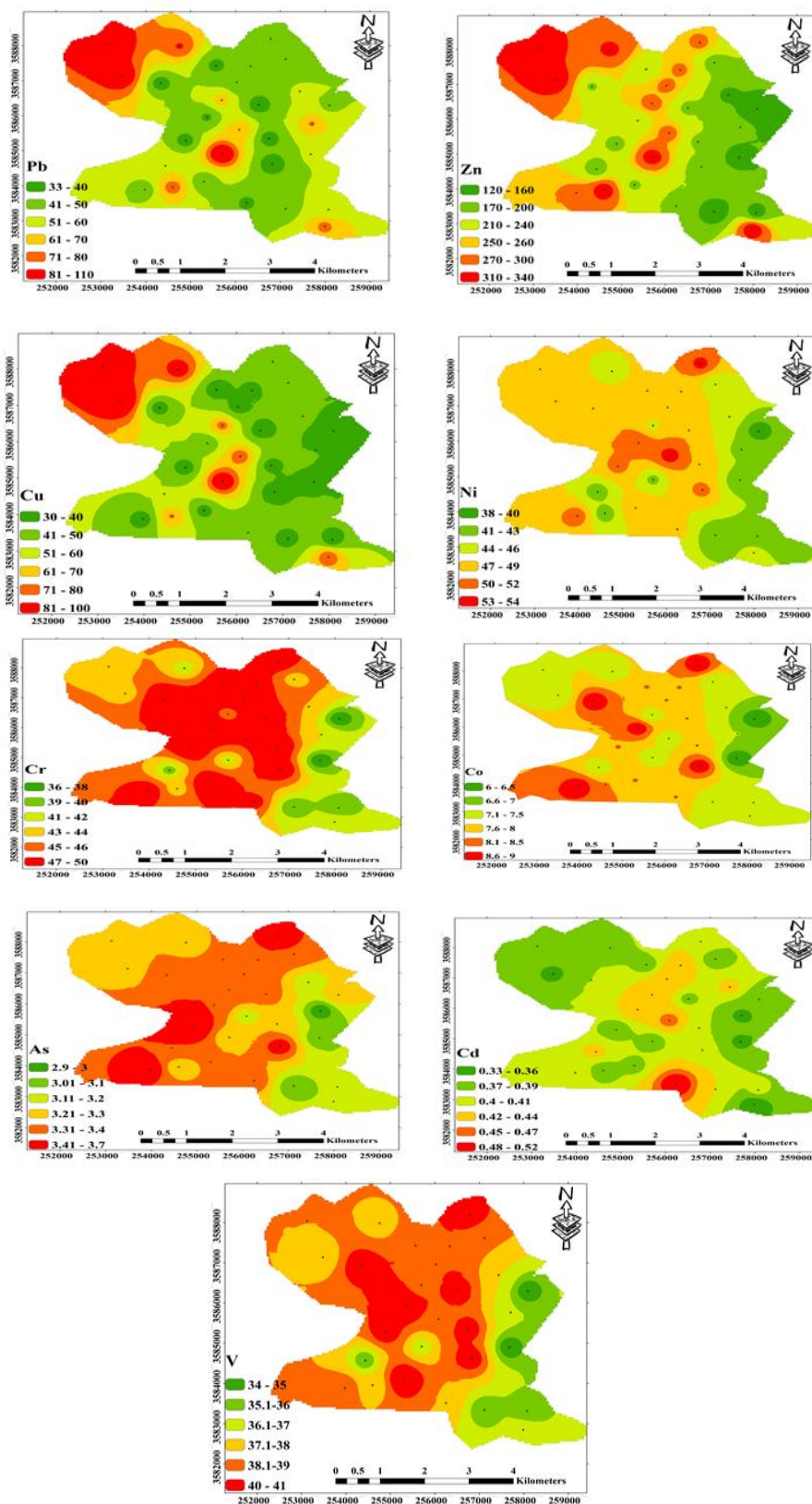
برخی از شهرها مانند شیراز، اصفهان، نانجینگ، هنگ‌کنگ و مادرید کمتر است و همچنین این مقدار از شهرهایی از جمله تهران، امان و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز کادمیوم در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول از میانگین غلظت همه شهرها به‌جز اوتاوا کمتر است. همچنین میانگین غلظت فلز نیکل موجود از میانگین غلظت برخی از شهرها مانند نانجینگ و اصفهان کمتر و از شهرهایی مانند شیراز، تهران، هنگ‌کنگ، امان، مادرید و اوتاوا بیشتر است. مقدار میانگین غلظت فلز آرسنیک موجود از میانگین غلظت شهر هنگ‌کنگ، نانجینگ و اصفهان کمتر است و همچنین این مقدار از شهر اوتاوا بیشتر است. میانگین غلظت وانادیوم در شهر دزفول از میانگین غلظت این فلز از شهر هنگ‌کنگ بیشتر است. میزان بالای برخی از آلاینده‌ها در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول نگران‌کننده بوده و احتمالاً ناشی از منابع دیگری به غیر از منابع طبیعی‌اند. یکی از منابع انتشار را می‌توان سوخت مصرفی در خودروهای شهر دزفول دانست که ممکن است با توجه به کیفیت نامناسب آن میزان آلاینده‌های خطرناک در دزفول نسبت به شهرهای صنعتی و پر جمعیت جهان، مقادیر بیشتری را نشان دهند.

#### توزیع مکانی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

نقشه‌های توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین به شناسایی مناطق داغ و منابع آلودگی کمک می‌کند. در این مطالعه مشخص شد بیشترین غلظت‌ها مربوط به مراکز شهری، مناطق نزدیک به اتوبان اندیمشک- دزفول، مناطق با حجم ترافیک بالا، مراکز خرید و مناطق بافت قدیم شهر دزفول است. مناطق با آلودگی کم در واقع مربوط به مناطق توسعه یافته در چند دهه اخیر هستند که دارای ترافیک پایین و تراکم جمعیتی پایین است. الگوهای توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در شکل (۳) آورده شد.

#### فاکتور غنی‌شدگی (EF)

نتایج نشان می‌دهد که میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای



شکل ۳. توزیع مکانی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول

جدول ۴. نتایج آماری فاکتور غنی شدگی (EF) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

فلزات سنگین	فاکتور غنی شدگی			تعداد نمونه‌ها		
	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد
Pb	۲۸/۴۵	۶۲/۷۱	۱۲/۷۶	۰	۰	۱۳ (۴۳/۳۳٪)
Zn	۵۴/۴۱	۹۹/۶۸	۳۴/۴۳	۰	۰	۱۱ (۳۶/۶۶٪)
Cu	۱۳/۶۳	۳۱/۲۳	۶/۸۰	۰	۰	۷ (۲۳/۳۳٪)
Cr	۳/۳۵	۳/۸۸	۲/۸۸	۰	۳۰ (٪۱۰۰)	۰
Cd	۱۴/۸۲	۱۹/۹۶	۱۰/۸۹	۰	۰	۳۰ (٪۱۰۰)
Ni	۱۷/۰۰	۲۰/۸۴	۱۴/۱۲	۰	۰	۵ (۱۶/۶۶٪)
V	۴/۷۰	۵/۸۴	۳/۸۶	۰	۱۲ (٪۴۰)	۰
As	۵/۱۳	۷/۰۱	۳/۹۶	۰	۱۴ (۴۶/۶۶٪)	۰
Co	۵/۶۰	۶/۶۸	۴/۶۱	۰	۵ (۱۶/۶۶٪)	۲۵ (۸۳/۳۳٪)

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

فلزات سنگین	فاکتور آلودگی			تعداد نمونه‌ها		
	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط
Pb	۳/۶۱	۷/۱۳	۲/۲۰	۰	۰	۱۵ (٪۵۰)
Zn	۷/۲۱	۱۱/۰۰	۳/۸۴	۰	۰	۳۰ (٪۱۰۰)
Cu	۱/۷۴	۳/۵۵	۱/۰۳	۰	۲۲ (۷۳/۳۳٪)	۴ (۱۳/۳۳٪)
Cr	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۳۷	۳۰ (٪۱۰۰)	۰	۰
Cd	۱/۹۸	۲/۶۰	۱/۶۵	۰	۱۹ (۶۳/۳۳٪)	۱۱ (۳۶/۶۶٪)
Ni	۲/۲۹	۲/۷۰	۱/۹۰	۰	۲ (۶/۶۶٪)	۲۸ (۹۳/۳۳٪)
V	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۵۷	۳۰ (٪۱۰۰)	۰	۰
As	۰/۶۸	۰/۷۷	۰/۶۰	۳۰ (٪۱۰۰)	۰	۰
Co	۰/۷۶	۰/۹۰	۰/۶۰	۳۰ (٪۱۰۰)	۰	۰

روی با ۳۰ نمونه (۱۰۰ درصد) و سرب با ۱۵ نمونه (۵۰ درصد) دارای آلودگی زیاد هستند.

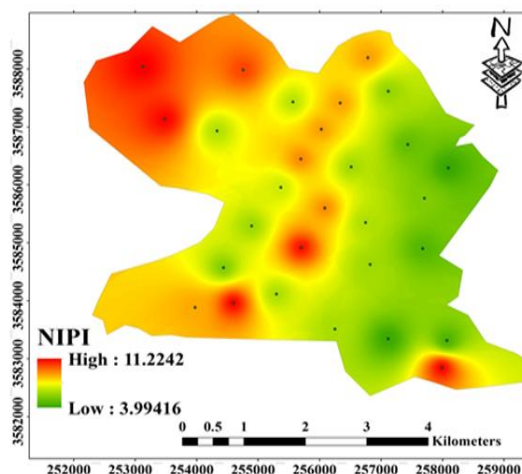
#### شاخص جامع آلودگی نمره

شاخص جامع آلودگی نمره برای هر نقطه نمونه برداری 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 به دست آمده از جدول (۶) نشان می‌دهد که شاخص آلودگی نمره (NIPI) همه نمونه‌ها از حداقل ۳/۹۹ تا حداکثر ۱۱/۲۲ متغیر است. مقدار میانگین این شاخص (۷/۳۷) است. همچنین بر اساس میزان میانگین شاخص آلودگی نمره (NIPI) همه نمونه‌ها دارای سطح بالای آلودگی ( $NIPI > 3$ ) هستند با توجه به تردد خودروها در منطقه و فرسایش تایر، مصرف روغن ماشین، باطری خودروها، فرسایش لنت اتومبیل‌ها و گاز اگزوز ماشین‌ها، منشا

جدول ۶. نتایج آماری شاخص نمر و فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

تعداد نمونه‌ها					شاخص آلودگی (NIPI)		
آلودگی بالا	آلودگی متوسط	آلودگی کم	خط هشدار آلودگی	بدون آلودگی	میانگین	ماکزیمم	مینیمم
۳۰ (٪۱۰۰)	۰	۰	۰	۰	۷/۳۷	۱۱/۲۲	۳/۹۹



شکل ۴. توزیع مکانی شاخص جامع آلودگی نمر و فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول

حجم ترافیک بالا، مناطق نزدیک به اتوبان اندیمشک-دزفول، دارای سطح آلودگی بالایی هستند. 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 ویژگی‌های 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. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های شهری (احتراق سوخت‌های فسیلی، سایش لاستیک و لنت ترمز خودروها و پوسیدگی بدنه خودروها) در سطح شهر دزفول و محدوده شهر منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار سطحی شهر دزفول نسبت به دیگر شهرهای دنیا با وجود جمعیت بیشتر شده است. از آنجا که گرد و غبار خیابانی به سادگی به صورت ذرات معلق به اتمسفر باز می‌گردد، می‌تواند به وسیله افرادی که از خیابان‌ها عبور می‌کنند به راحتی استنشاق شود. علاوه بر استنشاق، تماس پوستی و

اصلی آلودگی این فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول تردد وسایل نقلیه است. شکل (۴) توزیع مکانی مقادیر NIPI در گرد و غبار خیابانی شهر دزفول را نشان می‌دهد. نمونه‌های گرد و غبار دارای سطح آلودگی بالا در نزدیکی مناطقی از جمله مرکز شهر با تراکم جمعیتی و حجم ترافیک بالا، مناطق نزدیک به اتوبان اندیمشک-دزفول، مراکز خرید و مناطق بافت قدیم شهر دزفول هستند.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه به اندازه‌گیری میزان غلظت و تعیین سطح آلودگی تعدادی از فلزات سنگین در ۳۰ نمونه گردوغبار خیابانی شهر دزفول پرداخته شد. فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی نمر و برای شناسایی منابع احتمالی آلودگی فلزات سنگین استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نمونه‌های گرد و غبار در مناطقی از جمله مرکز و بافت قدیم شهر و مراکز خرید با تراکم جمعیتی و

خطرهای بهداشتی و سلامتی احتمالی گرد و غبار خیابانی در شهر دزفول بالاست و مطالعات تفصیلی بیشتری در مورد آثار و خطرات ناشی از این موضوع در سطح شهر دزفول نیاز است.

آلودگی از طریق بلع به‌ویژه در کودکان نیز می‌تواند منجر به ورود گرد و غبار خیابانی و فلزات سنگین همراه آنها به بدن انسان شود که این عناصر اثرات زیانباری داشته، در طول زمان در بدن تجمع یافته و اثرات مضرش افزایش می‌یابد. بنابراین

### منابع مورد استفاده

1. 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: 227-238.
2. Acosta, J., A. Faz, K. Kalbitz, B. Jansen and S. Martínez-Martínez. 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.
3. 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. *Geosciences* 5(24): 141-150. (In Farsi).
4. Brown, R., K. Kerr, A. Haoudi and A. Darzi. 2012. Tackling cancer burden in the Middle East: Qatar as an example. *The Lancet Oncology* 13: e501-e508.
5. Chen, Y., X. Jiang, Y. Wang and D. Zhuang. 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.
6. Cheng, J. L., 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: 50-54.
7. 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).
8. de Miguel, E., J. F. Llamas, E. Chacón, T. Berg, S. Larssen, O. Røyset and M. Vadset, 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmos. Environ* 31: 2733-2740.
9. Dehghani, S., F. Moore, B. Keshavarzi and 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.
10. Hu, B., B. Liu, J. Zhou, J. Guo, Z. Sun, W. Meng, X. Guo and J. Duan. 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.
11. Hu, X., Y. Zhang, J. Luo, T. Wang, H. Lian and Z. Ding. 2011. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China. *Environmental Pollution* 159: 1215-1221.
12. Huang, J., F. Li, G. Zeng, W. Liu, X. Huang, Z. Xiao, H. Wu, Y. Gu, X. Li and X. He. 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.
13. Jafari, F and H. Khademi. 2012. Spatial and temporal distribution of heavy metals in street dust of Kerman urban area. *Environmental Studies* 40(2): 373-361. (In Farsi).
14. Jiries, A. 2003. Vehicular contamination of dust in Amman, Jordan. *Environmentalist* 23: 205-210.
15. Karimian, B., A. Landi, S. Hojati and J. Ahadian. 2016. Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles carried through dust storms in ahvaz city. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 11(1): 159-173. (In Farsi).
16. 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.

17. Kwasowski, W., T. Kozanecka, E. B. Górska, D. Gozdowski and P. Kowalczyk. 2016. Application of heavy metals in street dust in the monitoring of changes in environment. *Fresenius Environmental Bulletin* 25: 103-112.
18. Lin, M., H. Gui, Y. Wang and W. Peng. 2017. Pollution characteristics, source apportionment, and health risk of heavy metals in street dust of Suzhou, China. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 1987-1998.
19. Mazloomi, S., A. Esmaili - Sari, N. Bahramifar and M. Moeinaddini 2017. Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment* 10(2): 281-292. (In Farsi).
20. Meza-Figueroa, D., M. De la O-Villanueva and M. L. De la Parra. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment* 41: 276-288.
21. Nazarpour, A., N. Ghanavati and M. J. Watts. 2018. 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.
22. 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).
23. 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.
24. Rashki, A., P. G. Eriksson, C. D. W. Rautenbach, D. G. Kaskaoutis, W. Grote and J. Dykstra. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere* 90: 227-236.
25. Rasmussen, P., K. Subramanian and B. Jessiman. 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.
26. Rudnick, R. L. and S. Gao. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry* 3: 659.
27. Ruuskanen, S., T. Laaksonen, J. Morales, J. Moreno, R. Mateo, E. Belskii, A. Bushuev, A. Järvinen, A. Kerimov and I. Krams. 2014. Large-scale geographical variation in eggshell metal and calcium content in a passerine bird (*Ficedula hypoleuca*). *Environmental Science and Pollution Research* 21: 3304-3317.
28. 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* 227: 9-17.
29. Shokr, M. S., A. A. El Baroudy, M. A. Fullen, T. R. El-Beshbeshy, A. R. Ramadan, A. A. El Halim, A. J. Guerra and M. C. Jorge. 2016. Spatial distribution of heavy metals in the middle Nile delta of Egypt. *International Soil and Water Conservation Research* 4: 293-303.
30. Smichowski, P., D. Gómez, C. Frazzoli and S. Caroli. 2007. Traffic-related elements in airborne particulate matter. *Applied Spectroscopy Reviews* 43: 23-49.
31. Soltani, N., B. Keshavarzi, F. Moore, T. Tavakol, A. R. Lahijanzadeh, N. Jaafarzadeh and M. Kermani. 2015. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment* 505: 712-723.
32. 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: 27-38.
33. 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: 339-346.

## Status, Source and Environmental Pollution Assessment of Some Heavy Metals in Street Dust of Dezful City

F. Sadegdust<sup>1, 2</sup>, N. Ghanavati<sup>2\*</sup>, A. Nazarpour<sup>3</sup>, T. Babaenejad<sup>2</sup> and M. J. Watts<sup>4</sup>

(Received: July 3-2018 ; Accepted: October 27-2018)

### Abstract

Heavy metals in street dust, as one of the most important environmental consequences of human activities, have attracted many researchers' attention in recent years due to their toxicity and sustainability. Therefore, this study aimed to investigate the hazard of heavy metals (lead, zinc, copper, chrome, cadmium, nickel, vanadium, arsenic and cobalt) on human health in street dust in Dezful. To this end, 30 dust samples collected from sidewalks of main streets of Dezful were analyzed by Atomic Absorption (AAS). The level of heavy metals pollution was estimated based on the pollution index and Nemro Integrated Pollution Index. Moreover, the spatial pattern of the concentrations of metals in street dust was prepared in GIS. The average concentrations of heavy metals in Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, Ni, V, As and Co were 54.2, 223.6, 50.6, 44.4, 0.4, 45.8, 37.8, 3.3 and 7.6 (mg/kg), respectively. The average concentration of all heavy metals except As, V and Co in the samples of dust in the city of Dezful was several times higher than that of the background one. Based on the average EF and PI in the target area, heavy metals of Zn and Pb have high contamination. Based on the evaluation of NIPI, 100% of samples have high degree of contamination. The results showed that the source of pollution of the studied metals such as urban transport and burning of fossil fuels was anthropogenic.

**Keywords:** heavy metals, street dust, enrichment factor, pollution index, Nemro Integrated Pollution Index, Dezful

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

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

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

4. Inorganic Geochemistry Facility, Centre for Environmental Geochemistry, British Geological Survey, Nottingham, UK.

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