

## بررسی آلودگی گرد و غبار اتمسفری استان کرمانشاه به برخی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های آلودگی طی تابستان ۱۳۹۲

شهاب احمدی دوآبی<sup>۱\*</sup> - مجید افیونی<sup>۲</sup> - مهین کرمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹

### چکیده

گرد و غبار یک منبع مهم فلزات سنگین به‌ویژه در محیط زیست شهری است. فلزات سنگین با اتصال به ذرات گرد و غبار می‌توانند در مقیاس وسیعی منتشر شوند. هدف از این مطالعه، بررسی غلظت برخی فلزات سنگین و وضعیت سطوح آلودگی آن‌ها در گرد و غبار استان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌های مختلف آلودگی بود. جهت انجام این مطالعه تعداد ۴۹ نمونه گرد و غبار از شهرستان‌های کرمانشاه، سنقر، گیلان‌غرب، قصرشیرین، صحنه، سرپل‌دهاب، کنگاور، پاوه و جوانرود طی فصل تابستان ۱۳۹۲ جمع‌آوری شد. غلظت کل فلزات  $Fe$ ،  $Mn$ ،  $Cr$ ،  $Ni$ ،  $Cu$ ،  $Zn$  در نمونه‌های گرد و غبار اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت  $Fe$  و  $Mn$ ،  $Cr$ ،  $Ni$ ،  $Cu$ ،  $Zn$  به ترتیب ۲۳۸، ۴۷، ۱۲۴، ۷۴، ۴۹۵ و  $287.04$  ( $mg\ kg^{-1}$ ) به‌دست آمد. از شاخص‌های زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی جهت تعیین میزان آلودگی نمونه‌های گرد و غبار استفاده گردید. نتایج مطالعه نشان داد که غلظت فلزات در گرد و غبار به‌جز برای آهن و منگنز در مقایسه با مقدار زمینه خاک‌های جهان بالاتر است که نشان از منشأ انسانی این فلزات دارد. شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی محاسبه شده برای همه عناصر مورد مطالعه به صورت  $Fe < Mn < Cr < Cu < Zn < Ni$  می‌باشد. میزان شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی در گرد و غبار برای نیکل، روی و مس (به‌ویژه نیکل) و به میزان کمتری کروم، نشان از آلودگی این فلزات دارد که احتمالاً از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی سرچشمه گرفته‌اند. همچنین میزان پایین این شاخص‌های ارزیابی آلودگی برای منگنز و آهن، نشان از عدم آلودگی گرد و غبار به این عناصر دارد. نتایج ارزیابی شاخص جامع آلودگی، آلودگی شدید گرد و غبار توسط فلزات سنگین را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این مطالعه، شناسایی و کنترل منابع آلاینده‌هایی چون فلزات سنگین در گرد و غبار به منظور پیشگیری از آلودگی ناشی از آن‌ها نیازمند توجه بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی آلودگی، عناصر سنگین، غبار اتمسفری، کرمانشاه

### مقدمه

(۳۷). فلزات سنگین با ورود به بدن انسان می‌توانند در بافت‌ها تجمع یابند و روی سیستم عصبی و گردش خون تأثیر گذارند. همچنین، این فلزات سبب اختلال عملکرد طبیعی اندام‌های داخلی می‌شوند یا ممکن است عامل کمکی برای ایجاد بیماری‌های دیگر باشند (۲۷).

فلزات سنگین از مسیرهای مختلف مانند فرونشست اتمسفری، استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی، کمپوست، لجن و پساب فاضلاب، آهک، آب آبیاری و محصولات فرعی صنعتی وارد خاک می‌شوند. در این میان فرونشست اتمسفری بزرگترین منبع ورود برخی فلزات به خاک است (۲۶). فلزات سنگین می‌توانند از طریق فرونشست اتمسفری طی فرآیندهای متفاوت در بخش فوقانی خاک تجمع یابند (۳۹). گرد و غبار به‌عنوان حامل فلزات سنگین در اتمسفر عمل می‌کند و در نهایت این فلزات از این مسیر وارد خاک می‌گردند.

فلزات سنگین به‌طور طبیعی در غلظت‌های کم در خاک و سنگ‌ها وجود دارند، اما فعالیت‌های انسانی مانند صنعت، ترافیک، سوزاندن سوخت‌های فسیلی و کشاورزی سبب افزایش و انتشار آن‌ها در محیط زیست می‌شود (۳۱). اغلب فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کم سمی هستند و زندگی بیولوژیکی را تهدید می‌کنند

۱ و ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*- نویسنده مسئول: (Email: sahmadi96@yahoo.com)

۳- استادیار گروه خاکشناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

آلودگی متوسط را نشان می‌دهند که با توجه به رشد سریع شهر نشینی انتظار می‌رود میزان آلودگی زیاده‌تر شود. وی و همکاران (۳۹) نیز با بررسی آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین در شهر ارومچی در چین با استفاده از شاخص زمین‌انباشتگی و شاخص جامع آلودگی گزارش کردند که سطح آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار در دسته متوسط آلودگی قرار می‌گیرد. جعفری (۱۶)، در بررسی گرد و غبار اتمسفری کرمان بیان کرد که فلزات منگنز و نیکل کمترین و روی و مس بیشترین شاخص آلودگی را دارند و همچنین این فلزات دارای شاخص جامع آلودگی در کلاس متوسط و شدید هستند. راشکی و همکاران (۲۸)، طی تحقیقی در گرد و غبار سیستان، مقدار شاخص غنی‌شدگی را برای عناصر روی، مس، نیکل، کروم و سرب بسیار کم گزارش نمودند که نشان دهنده منشأ طبیعی این عناصر است. در حالی که زراسوندی و همکاران (۴۳)، طی بررسی گرد و غبار استان خوزستان میزان شاخص غنی‌شدگی برای عناصر نیکل و کروم را بیش از ۱۰ بیان نمودند و منشأ آن را فعالیت‌های انسانی گزارش نمودند.

در نقاط مختلف دنیا مطالعات زیادی در ارتباط با ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار انجام شده است. با وجود اهمیت فرونشست اتمسفری به‌عنوان یک منبع مهم ورود عناصر سنگین به خاک، متأسفانه اطلاعات منتشر شده‌ای درباره مقدار فرونشست اتمسفری عناصر سنگین در استان کرمانشاه در دسترس نیست. با توجه به گزارش‌های پراکنده موجود در منابع مختلف، انتظار می‌رود که مقدار عنصری که از این طریق وارد خاک می‌شوند، به‌ویژه در مناطق صنعتی، قابل توجه باشد. بنابراین با توجه به اهمیت آلودگی عناصر سنگین، این تحقیق به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین در فرونشست اتمسفری و شناسایی سطوح آلودگی این فلزات با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی چون شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با وسعت ۲۵۰۰۸ کیلومتر مربع در غرب کشور، حدود ۱/۵ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. این استان بین طول‌های جغرافیایی ۴۵°۲۴' تا ۴۸°۷' شرقی و عرض‌های ۳۳°۴۰' تا ۳۵°۱۸' شمالی قرار گرفته است. حداکثر و حداقل ارتفاع در این استان به ترتیب ۳۳۹۰ و ۱۸۰ متر می‌باشد و دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک با جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای است. متوسط میزان بارندگی و دمای سالانه در سطح استان به ترتیب بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتیگراد است. جهت وزش بادهای غالب استان در طول سال غربی بوده، که همراه با نوساناتی در جهت شمال

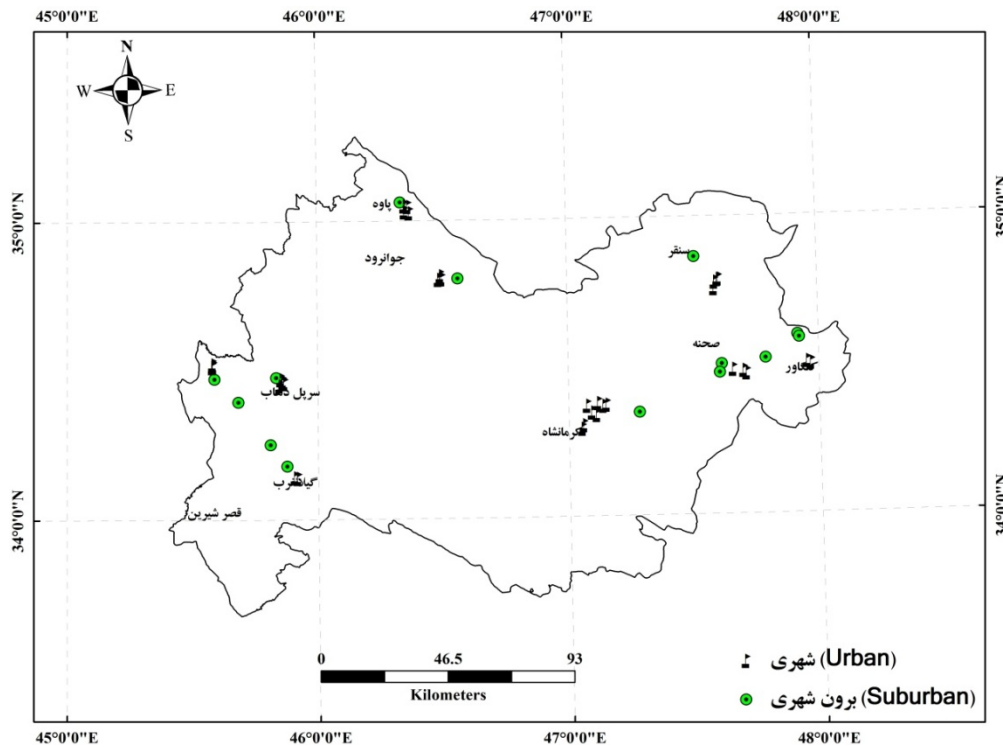
گرد و غبار و خاک سطحی در مناطق شهری، شاخصه‌های آلودگی فلزات سنگین از طریق فرونشست اتمسفری می‌باشند (۴). جذب فلزات سنگین از طریق سیستم خاک-گیاه به‌عنوان غالب‌ترین مسیری که فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی تحت تأثیر قرار می‌دهد مورد بررسی قرار گرفته است، اما فرونشست جوی فلزات سنگین که ۲۵-۸۵ درصد از کل ورودی فلزات سنگین به خاک را تشکیل می‌دهد و از مهم‌ترین منابع فلزات سنگین در خاک است (۲۶)، کمتر بررسی شده است. نیکلسون و همکاران (۲۶)، سهم فرونشست جوی در کل ورودی فلزات سنگین به خاک‌های کشاورزی انگلیس و ولز را برای مس و روی ۴۸-۳۸ درصد، سرب، نیکل و آرسنیک ۷۷-۵۵ درصد، کادمیم ۵۳ درصد و جیوه ۸۵ درصد گزارش کرده‌اند. محمودی و خادمی (۲۴)، نرخ ورود سرب و کادمیم را از طریق گرد و غبار به خاک‌های اصفهان و برخی شهرهای مجاور با توجه به میزان استفاده از سایر منابع متفاوت و به ترتیب بین ۹۱-۳۵ درصد و ۴۷-۱۲ درصد بیان نمودند. احمدی دوآبی و همکاران (۱)، سهم فرونشست جوی در کل ورودی فلزات سنگین به خاک‌های کشاورزی ۹ شهرستان مورد مطالعه استان کرمانشاه را برای روی، مس و نیکل در مقیاس شهرستان ۲۹-۴ درصد و در مقیاس منطقه مطالعاتی ۴-۲ درصد گزارش کردند.

در پژوهش‌های زیست‌محیطی شاخص‌های محاسباتی مانند شاخص زمین‌انباشتگی<sup>۱</sup>، فاکتور غنی‌شدگی<sup>۲</sup>، شاخص آلودگی<sup>۳</sup> و شاخص جامع آلودگی<sup>۴</sup> برای شناخت منشأ و شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها، رسوبات و گرد و غبار استفاده می‌شود (۱۳ و ۲۳). از این شاخص‌ها همچنین برای مقایسه، ارزیابی، پایش و مدیریت اثرات عناصر آلاینده در خاک نیز استفاده می‌شود (۸). لو و همکاران (۲۳)، آلودگی فلزات روی، مس، نیکل، منگنز و سرب را در گرد و غبار خیابانی در چین با استفاده از شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که بیشترین میزان شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی مربوط به سرب، روی و مس است که غالباً از ترافیک (عبور و مرور وسایل نقلیه) و فعالیت‌های صنعتی سرچشمه گرفته‌اند. همچنین میزان شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر نیکل و منگنز کم بوده است. فیز و همکاران (۱۱)، طی تحقیقی بر روی ارزیابی آلودگی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شهری پاکستان، نشان دادند که بیشترین میزان شاخص زمین‌انباشتگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی به ترتیب مربوط به فلزات  $Ni < Cd < Zn < Pb < Cu$  است و همچنین تمامی شاخص‌ها،

- 1- Geo-accumulation Index
- 2- Enrichment Factor
- 3- Pollution Index
- 4- Integrated Pollution Index

کنگاور، پاره و جوانرود با مساحت ۱۷۱۱۸ کیلومتر مربع به‌عنوان منطقه مطالعاتی بررسی شدند (شکل ۱).

غرب و جنوب غربی است (۱۵ و ۳۵). در این مطالعه شهرستان‌های کرمانشاه، سنقر، گیلان‌غرب، قصرشیرین، صحنه، سرپل‌ذهاب،



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در استان کرمانشاه  
Figure 1- Study area and sampling points in Kermanshah province

ارتفاع ۳۳ سانتیمتری از سطح پشت بام خانه‌ها ثابت نگه داشته شدند (شکل ۲). نمونه‌های گرد و غبار طی یک دوره، از تیر تا شهریور ماه ۱۳۹۲، جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که به‌دلیل هزینه‌های بالای اقتصادی، نمونه‌برداری به صورت فصلی و در پایان تابستان ۱۳۹۲ صورت گرفت. در شهر کرمانشاه ۹ تله و در سایر شهرستان‌ها هر یک ۵ تله بر روی پشت بام خانه‌های یک طبقه (ارتفاع حدود ۴ متر از سطح زمین) با توزیع مناسب نصب گردید.

#### نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری گرد و غبار مجموعاً در ۴۹ نقطه مختلف استان کرمانشاه صورت گرفت. توزیع نقاط نمونه‌برداری به گونه‌ای در نظر گرفته شد که موقعیت‌های مختلف شهری (۳۵ سایت) و برون شهری (۱۴ سایت) را دربر بگیرد (شکل ۱). تله‌های رسوب‌گیر مورد استفاده جهت جمع‌آوری گرد و غبار، دارای قطر ۳۲ و عمق ۱۲ سانتی‌متر بود (۳۴) که توسط یک ورقه پلاستیکی ۲×۲ میلی‌متر پوشانده شده و در



شکل ۲- تله مورد استفاده جهت جمع‌آوری گرد و غبار  
Figure 2- Sampler used for dust collection

بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت‌های انسانی از ضریب ۱/۵ استفاده می‌گردد. مولر (۲۵) هفت کلاس برای شاخص زمین انباشتی در نظر گرفته است (جدول ۱).

### فاکتور غنی‌شدگی

در مطالعات محیط زیستی، به‌ویژه زمانی که فاکتورهای طبیعی و انسانی به‌طور هم‌زمان غلظت فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توان برای تعیین میزان اثر فاکتور خارجی از فاکتور غنی‌شدگی (EF)<sup>۲</sup> استفاده نمود (۳۶). فاکتور غنی‌شدگی، در ابتدا برای ارزیابی عناصر در جو، بارش یا آب دریا استفاده می‌شد، اما به‌تدریج برای مطالعه خاک، رسوبات و سایر موارد زیست محیطی توسعه یافت (۳۰). فاکتور غنی‌شدگی یک فلز با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$EF = \frac{(C_x/C_{ref})_{sample}}{(C_x/C_{ref})_{background}} \quad (2)$$

در این فرمول  $(C_x/C_{ref})_{sample}$  نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مرجع در نمونه مورد مطالعه و  $(C_x/C_{ref})_{background}$  نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مرجع در مقادیر زمینه می‌باشد. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در پنج کلاس قرار می‌گیرند که در جدول ۲ آورده شده است (۱۹ و ۴۲). برای تعیین فاکتور غنی‌شدگی بیشتر از عناصری چون Fe، Al، Li (۳۲) به‌عنوان فلزات مرجع استفاده می‌شود. در این مطالعه از آهن به‌عنوان فلز مرجع برای نرمال‌سازی محاسبات استفاده گردید (۳ و ۲۳)، زیرا این فلز میزان بیشتری را در پوسته زمین دارد (۳)، سهم منابع انسانی برای ایجاد آن در اتمسفر ناچیز است (۴۱) و به‌طور عمده از منابع طبیعی ناشی می‌شود (۳۲).

### شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی

شاخص آلودگی (PI)<sup>۳</sup> و شاخص جامع آلودگی (IPI)<sup>۴</sup> نیز به‌طور معمول برای ارزیابی کیفیت محیط زیست استفاده می‌شود (۹). شاخص آلودگی به صورت نسبت غلظت عنصر در نمونه مورد مطالعه به غلظت زمینه تعریف شده و برای هر عنصر محاسبه و در سه کلاس طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۳). شاخص جامع آلودگی، تمام عناصر سنگین مورد مطالعه برای یک نمونه را بررسی می‌کند و به عنوان متوسط شاخص آلودگی تمام عناصر در سه کلاس تعریف می‌شود (جدول ۳). مزیتی که شاخص جامع آلودگی نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص، ریسک آلودگی نسبت به همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرند مشخص می‌شود.

نمونه‌های گرد و غبار پس از جمع‌آوری با آب مقطر و انتقال به آزمایشگاه، در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد آون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و سپس ازالک ۱ میلی‌متری عبور داده شدند. ۰/۵ گرم نمونه گرد و غبار توزین و در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر ترکیب اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ (با نسبت ۳:۱) (۳۳) به نمونه‌ها اضافه گردید. در ارلن‌ها توسط ورقه آلومینیمی پوشیده شد و در دمای اتاق به مدت یک شب به حال خود رها گردید، سپس ورقه‌های آلومینیمی برداشته شده و در ارلن‌ها توسط شیشه ساعت آزمایشگاهی پوشانده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ در داخل بالن ۵۰ میلی‌لیتری کاملاً صاف گردید و در نهایت با آب مقطر به حجم رسانده شد (۱۸ و ۳۳). غلظت کل عناصر روی، مس، نیکل، کروم، منگنز و آهن در عصاره‌های استخراج شده به کمک دستگاه جذب اتمی پریکن المر مدل ۳۰۳۰ تعیین شد.

### شاخص‌های ارزیابی آلودگی

روش‌هایی برای تعیین میزان غنی‌سازی فلز یا آلودگی در خاک‌ها، رسوبات و گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفته است (۱۳ و ۳۸). در این مطالعه از معیارهای مختلف شامل شاخص زمین‌انباشتی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی جهت سنجش میزان آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین و اثر فاکتورهای خارجی بر گرد و غبار استفاده شد.

### شاخص زمین‌انباشتی

در تحلیل‌های زیست محیطی، از شاخص زمین‌انباشتی ( $I_{geo}$ )<sup>۱</sup> به منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تأثیر عوامل انسان‌زاد از عوامل طبیعی استفاده می‌شود. این شاخص می‌تواند بیانگر شدت تأثیر عوامل خارجی (انسان‌زاد) باشد (۶). شاخص زمین‌انباشتی که اولین بار توسط مولر معرفی شده است (۲۵)، می‌تواند درجه آلاینده‌ی گرد و غبار را نیز تعیین کند و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

در این معادله،  $C_n$  غلظت عنصر در نمونه رسوب و یا خاک مورد مطالعه و  $B_n$  غلظت زمینه است. در این مطالعه از غلظت فلزات سنگین در خاک‌های جهان به‌عنوان غلظت زمینه استفاده شد (۵). جهت تصحیح اثرات مواد مادری خاک، نوسانات طبیعی و تغییرات

2- Enrichment Factor (EF)

3- Pollution Index (PI)

4- Integrated Pollution Index (IPI)

1- Geo-accumulation Index ( $I_{geo}$ )

جدول ۱- طبقات شاخص زمین انباشتگی

Table 1- Geo-accumulation index classes

کلاس Class	شاخص زمین انباشتگی Geo-accumulation index	درجه آلودگی Pollution degree
0	$I_{geo} \leq 0$	غیر آلوده Practically unpolluted
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	غیر آلوده تا کمی آلوده Unpolluted to moderately polluted
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	کمی آلوده Moderately polluted
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	کمی آلوده تا خیلی آلوده Moderately to strongly polluted
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	خیلی آلوده Strongly polluted
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده Strongly to extremely polluted
6	$I_{geo} > 5$	شدیداً آلوده Extremely polluted

جدول ۲- طبقات فاکتور غنی‌شدگی

Table 2- Enrichment factor classes

کلاس Class	فاکتور غنی‌شدگی Enrichment Factor	درجه غنی‌شدگی Pollution degree
1	$EF < 2$	غنی‌شدگی کم Deficiency to minimal enrichment
2	$2 \leq EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط Moderate enrichment
3	$5 \leq EF < 20$	غنی‌شدگی زیاد Significant enrichment
4	$20 \leq EF < 40$	غنی‌شدگی خیلی زیاد Very high enrichment
5	$EF \geq 40$	غنی‌شدگی بشدت زیاد Extremely high enrichment

جدول ۳- طبقات شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی

Table 3- Pollution index (PI) and integrated pollution index (IPI) classes

کلاس Class	شاخص آلودگی Pollution Index (PI)	شاخص جامع آلودگی Integrated pollution index (IPI)	سطح آلودگی Pollution level
1	$PI \leq 1$	$IPI \leq 1$	کم Low
2	$1 < PI \leq 3$	$1 < IPI \leq 2$	متوسط Middle
3	$PI > 3$	$IPI > 2$	زیاد High

شناخته شده مقایسه نمود. اما به دلیل عدم وجود استاندارد برای درجه آلودگی گرد و غبار در ایران از شاخص‌های ارزیابی آلودگی برای بررسی آلودگی گرد و غبار به عناصر سنگین استفاده می‌شود.

## نتایج و بحث

برای ارزیابی اثرات زیست محیطی عناصر سنگین در خاک یا گرد و غبار یک منطقه، بایستی میزان غلظت عناصر آن را با یک استاندارد

### توصیف آماری غلظت فلزات سنگین

خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی عناصر سنگین مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است. ترتیب میانگین غلظت عناصر در گرد و غبار اتمسفری منطقه مطالعاتی در طول دوره نمونه برداری به صورت آهن < منگنز < روی < نیکل < کروم < مس است. برای فلز روی، انحراف معیار بالایی یافت شد که نشان دهنده تغییرپذیری بالایی غلظت‌های این عنصر در نمونه‌های گرد و غبار استان است. مقادیر چولگی برای همه فلزات به‌جز برای آهن مثبت هستند که بیان‌کننده میزان بالای میانگین نسبت به میانه غلظت‌ها می‌باشد. هم‌چنین مقدار چولگی ۴/۹۸ (بیشترین مقدار در بین سایر عناصر) برای مس نشان از وجود نقاط بسیار آلوده برای این عنصر دارد. علاوه بر این، ضریب تغییرات عناصر مورد مطالعه به‌جز برای مس و روی کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده تغییرات همگن و یکنواخت این عناصر در گرد و غبار منطقه مورد مطالعه بوده و بیانگر محدود بودن عوامل دخیل در تغییرات آن‌ها است (۷). نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که غلظت آهن از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کند ولی توزیع غلظت روی، مس، نیکل، کروم و منگنز نرمال نیست. غلظت زمینه خاک‌های جهان برای عناصر سنگین مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است (۵ و ۲۰). بالا بودن غلظت حداقل فلزات روی، مس، نیکل و کروم در گرد و غبار استان کرمانشاه نسبت به خاک‌های جهان می‌تواند نشان‌دهنده منشأ احتمالی انسانی و آلوده بودن گرد و غبار به این فلزات باشد. این در

حالی است که پایین بودن غلظت آهن و منگنز نسبت به خاک‌های جهان می‌تواند نشان از منشأ طبیعی و غیر آلوده بودن این فلزات داشته باشد. در این تحقیق غلظت بالای فلزات سنگین فرونشست اتمسفری منعکس‌کننده ورود انسانی این فلزات در نتیجه رشد سریع صنعتی شدن و گسترش شهری است.

سعیدی و همکاران (۳۲)، طی تحقیقاتی در مورد آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران گزارش نمودند که غلظت فلزات روی و مس به‌طور قابل توجهی بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در پوسته زمین است که نشان از منشأ احتمالی انسانی این فلزات دارد. جعفری (۱۶)، در بررسی گرد و غبار اتمسفری کرمان بیان نمود که بالاترین میانگین غلظت فلزات سنگین در طول ۷ ماه نمونه‌برداری (اردیبهشت تا آبان) به ترتیب مربوط به فلزات منگنز < روی < مس < سرب < نیکل می‌باشد و فلزات روی، مس و سرب عمدتاً از منابع صنعتی و ترافیکی مشتق شده‌اند در حالی که منگنز و نیکل از منابع طبیعی سرچشمه گرفته‌اند. محمودی و خادمی (۲۴)، در بررسی گرد و غبار اتمسفری اصفهان طی ۵ ماه (مرداد تا آذر) گزارش کردند که بالاترین میانگین غلظت فلزات سنگین به ترتیب مربوط به فلزات منگنز < روی < سرب < نیکل < مس < کروم می‌باشد و مهم‌ترین منابع تولید فلزات روی و سرب را آلودگی حاصل از وسایل نقلیه، مس و نیکل را مرتبط با ترافیک و منگنز را مرتبط با فعالیت‌های صنایع ذوب آهن و فولاد مبارک دانستند.

جدول ۴- توصیف آماری غلظت کفلزات سنگین ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) در نمونه‌های گرد و غبار منطقه مطالعاتی استان کرمانشاه طی تابستان ۱۳۹۲ (n=۴۹)  
Table 4-Statistical description of the total concentration of heavy metals ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) in dust samples from the study area in Kermanshah province during the summer 2013 (n=49)

	روی Zn	مس Cu	نیکل Ni	کروم Cr	منگنز Mn	آهن Fe
حداقل (Minimum)	132	24	60	44	400	20,750
حداکثر (Maximum)	700	256	245	147	695	35,562
میانگین (Mean)	238	47	124	74	495	28,704
انحراف معیار (Std. deviation)	126	35	51	26	57	2956
ضریب تغییرات (%) (CV%)	53	74	41	35	11	10
چولگی (Skewness)	1.96	4.98	0.9	1.35	0.96	-0.15
کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov- Smirnov)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.2
مقادیر زمینه (5) (Background values(5))	62	14	18	42	418	47,000

غلظت در نمونه‌های گرد و غبار برون شهری بیشتر بود و نشان از منشأ طبیعی این عناصر دارد. در جدول ۵ میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه با سایر تحقیقات انجام شده در ایران و جهان مورد مقایسه قرار گرفته است. غلظت فلز نیکل در گرد و غبار اتمسفری کرمانشاه نسبت به سایر مناطق ذکر شده به‌صورت چشم‌گیری بالاتر

### مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین با سایر مطالعات

جدول ۵ نشان می‌دهد که میانگین غلظت عناصر روی، مس، نیکل و کروم در نمونه‌های گرد و غبار شهری بیشتر از نمونه‌های گرد و غبار برون شهری بود که می‌تواند نشان‌دهنده اثر فعالیت‌های انسانی بر این عناصر باشد. در حالی که برای عناصر آهن و منگنز

اسهیگا (۲)، گزارش نمودند که نیکل موجود در گرد و غبار خیابانی شهر داکا عمدتاً از منابع صنعتی سرچشمه گرفته است. وی و همکاران (۴۰) طی تحقیقی در مورد خطرات زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین در شهر ارومچی در چین، منبع اصلی نیکل را ترافیک، صنعت و انتشارات ناشی از احتراق زغال سنگ بیان کردند. هم‌چنین آن‌ها دریافتند که انتشارات ترافیکی ممکن است منبع عمده آلودگی برای روی، مس و کروم باشد، در حالی که کروم نیز ممکن است از ترکیب منابع ترافیکی و صنعتی منشأ گرفته باشد.

بوده و نشان از آلوده‌تر بودن گرد و غبار به این فلز دارد. هم‌چنین میزان غلظت کروم به‌جز برای چین بیشتر از سایر مطالعات صورت گرفته است. این نشان می‌دهد که این فلزات می‌توانند با انباشت در سطح خاک، خاک‌های کشاورزی استان را طی سال‌های آینده با مشکل جدی آلودگی همراه کنند و سبب برهم‌زدن توازن عناصر در خاک شوند. هم‌چنین با انتقال به چرخه غذایی یا جذب مستقیم این عناصر توسط انسان (با تنفس هوای آلوده)، سلامت افراد جامعه به‌ویژه کودکان و سالمندان در معرض خطر قرار می‌گیرد. احمد و

جدول ۵- مقایسه غلظت فلزات سنگین ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) در گرد و غبار کرمانشاه با نتایج مطالعات قبلی انجام‌شده در ایران و جهان  
Table 5-Heavy metals concentrations ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) in dust of Kermanshah in comparison with the results of previous studies in Iran and the world

مکان Location	روی Zn	مس Cu	نیکل Ni	کروم Cr	منگنز Mn	آهن Fe	منبع Reference
شهری Urban (n=35)	243	47	132	78	494	28,617	
کرمانشاه Kermanshah	227	45	104	64	497	28,921	مطالعه حاضر Present study
کل Total (n=49)	238	47	124	74	495	28,704	
شیراز (Shiraz)	403	136	77	67	438	20,255	(20)
کردستان (Kurdistan)	-	61	-	-	498	14,004	(21)
اراک (Arak)	9	45	28	46	-	-	(12)
تهران (Tehran)	873	225	35	33	1,214	47,936	(32)
کرمان (Kerman)	214	60	35	-	342	-	(16)
اصفهان (Isfahan)	470	71	82	24	540	-	(24)
نانجینگ (Nanjing-China)	394	123	56	126	646	34,200	(14)
باوجی (Baoji-China)	715	123	49	127	804	-	(23)
امان (Amman-Jordan)	401	250	16	18	145	5,371	(17)
اتاوا (Ottawa-Canada)	184	188	19	59	534	25,660	(29)
مادرید (Madrid-Spain)	476	188	44	61	362	19,300	(10)

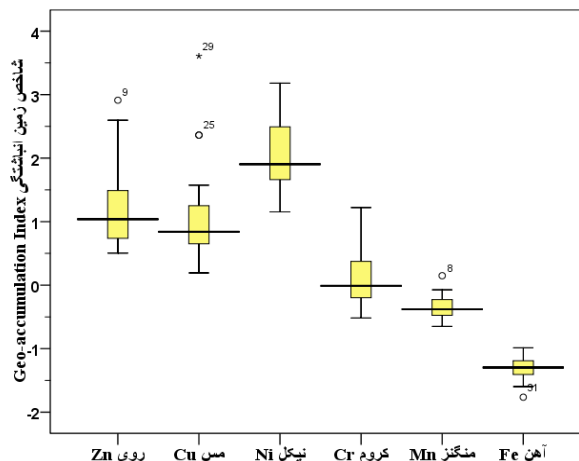
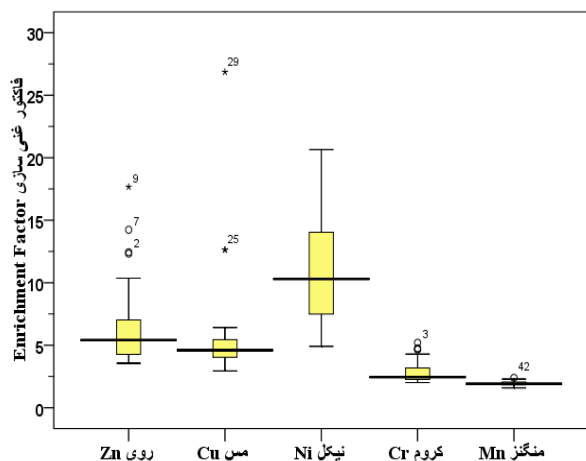
منگنز و آهن در کلاس صفر (غیر آلوده) قرار داشت. قدیمی و همکاران (۱۲)، طی بررسی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار شهر اراک، گزارش نمودند که بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی برای فلزات روی و کروم گرد و غبار عملاً غیر آلوده بوده و این فلزات احتمالاً منشأ طبیعی داشتند، حال آن‌که برای فلزات مس و نیکل، گرد و غبار مطالعه شده غیر آلوده تا کمی آلوده بوده و این فلزات منشأ انسانی داشتند. لو و همکاران (۲۳)، طی تحقیقی بر روی ارزیابی آلودگی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی در چین، بیان کردند که مقادیر میانگین شاخص زمین‌انباشتگی برای فلزات روی، مس، نیکل و منگنز به ترتیب  $۲/۶$ ،  $۱/۸$ ،  $۰/۲$  و  $-۰/۲$  می‌باشد، که نشان از بالا بودن مقدار شاخص زمین‌انباشتگی برای روی و مس و سرچشمه گرفتن این عناصر از فعالیت‌های ترافیکی و صنعتی دارد.

#### ارزیابی زیست محیطی فلزات سنگین

نتایج شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات سنگین مورد مطالعه در گرد و غبار استان کرمانشاه در شکل ۳ نشان داده شده است. محدوده شاخص زمین‌انباشتگی به ترتیب از  $۰/۵$  تا  $۲/۹$ ،  $۰/۲$  تا  $۳/۶$ ،  $۱/۱۵$  تا  $۳/۲$ ،  $۰/۵$  تا  $۱/۲$ ،  $۰/۶۵$  تا  $۰/۱۵$  و  $۱/۸$  تا  $۰/۹۹$  با میانگین  $۱/۲$ ،  $۰/۹۹$ ،  $۲/۱$ ،  $۰/۱۵$ ،  $۰/۳۵$  و  $-۱/۳$  برای روی، مس، نیکل، کروم، منگنز و آهن متغیر است. مقدار شاخص زمین‌انباشتگی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که برای فلز نیکل به ترتیب  $۵۹$ ،  $۳۷$  و  $۴$  درصد از داده‌ها در کلاس ۲، ۳ و ۴، برای فلز روی  $۵۱$ ،  $۳۷$  و  $۱۲$  درصد از داده‌ها در کلاس ۱، ۲ و ۳ و برای فلز مس  $۶۵$ ،  $۲۹$  و  $۴$  درصد در کلاس ۱، ۲، ۳ و ۴ قرار دارد، در حالی که  $۵۳$ ،  $۹۸$  و  $۱۰۰$  درصد از داده‌ها به ترتیب برای فلزات کروم،

کشاورزی و همکاران (۲۰)، طی بررسی سطوح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر شیراز بیان نمودند که فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات روی و مس بیشتر از ۱۰ بوده و منعکس کننده آلودگی قابل توجه زیست‌محیطی ناشی از این عناصر می‌باشد که عمدتاً از منابع ترافیکی است. همچنین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات نیکل، کروم، منگنز و آهن کمتر از ۱۰ بود به گونه‌ای که منشأ نیکل، کروم و منگنز را خاک محلی و منشأ آهن را ترکیبی از منابع طبیعی و انسانی گزارش کردند. سعیدی و همکاران (۳۲)، طی مطالعه آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران گزارش نمودند که مقادیر میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات روی و مس به ترتیب ۲۷ و ۱۰/۲ بوده است که در کلاس غنی‌شدگی زیاد قرار دارند و عمدتاً از فعالیت‌های انسانی سرچشمه گرفته‌اند. آن‌ها همچنین مقادیر میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای نیکل و کروم را به ترتیب ۱ و ۰/۸ گزارش کردند که علاوه بر فعالیت‌های انسانی احتمال دارد از منابع طبیعی نیز سرچشمه گرفته باشند. لو و همکاران (۲۳) نیز در چین، بیان کردند که مقادیر میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات روی، مس، نیکل و منگنز به ترتیب ۶/۲، ۳/۵، ۱/۲ و ۰/۹ می‌باشد و همچنین مقادیر بیشینه این فاکتور برای عناصر روی و مس بیشتر یا نزدیک به ۱۰ بود که نشان می‌دهد این عناصر عمدتاً از منابع انسانی سرچشمه گرفته‌اند.

مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای روی، مس، نیکل، کروم و منگنز به ترتیب در محدوده ۱۷/۷-۳/۶، ۲۶/۹-۲/۹، ۲۰/۶۵-۴/۹، ۲-۵/۲ و ۲/۴-۱/۶ با میانگین ۶/۲، ۵/۴، ۱۱/۲ و ۲/۸ و ۱/۹ قرار دارد (شکل ۳). میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای روی، مس و نیکل بیشتر از ۳ است، در حالی که برای کروم و منگنز کمتر و نزدیک به ۳ است. از سوی دیگر، حداکثر فاکتور غنی‌شدگی برای روی، مس و نیکل بیشتر از ۱۰ است که نشان می‌دهد روی، مس و نیکل در نمونه‌های گرد و غبار استان عمدتاً از منابع انسانی سرچشمه گرفته‌اند (۲۲ و ۴۲). بنابراین به نظر می‌رسد که فاکتور غنی‌شدگی در این مطالعه می‌تواند ابزاری مؤثر برای تفکیک منشأ طبیعی از منابع انسانی باشد (۲۳). مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در منطقه مورد مطالعه برای فلز نیکل نشان می‌دهد که ۹۴ درصد از داده‌ها در کلاس ۳ (غنی‌شدگی زیاد) قرار دارد. برای فلز روی و مس به ترتیب ۴۷ و ۵۹ درصد از داده‌ها در کلاس ۲ (غنی‌شدگی متوسط) و ۵۳ و ۳۸ درصد در کلاس ۳ (غنی‌شدگی زیاد) قرار دارد. همچنین برای فلز کروم ۹۸ درصد از داده‌ها در کلاس ۲ (غنی‌شدگی متوسط) و برای فلز منگنز ۴۱ و ۵۹ درصد از داده‌ها به ترتیب در کلاس ۱ (غنی‌شدگی کم) و ۲ (غنی‌شدگی متوسط) قرار داشت. نتایج تحلیلی فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار استان مشابه همان نتایج حاصل از شاخص زمین‌انباشتگی می‌باشد به گونه‌ای که میزان آلودگی عناصر به ترتیب  $Fe < Mn < Cr < Cu < Zn < Ni$  بود.



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای شاخص زمین‌انباشتگی ( $I_{geo}$ ) و فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار کرمانشاه

Table 3- Box-plot of Geo-accumulation Index ( $I_{geo}$ ) and Enrichment Factor (EF) for heavy metals in dust samples of Kermanshah

۰/۴ تا ۰/۸ و ۰/۹۶ تا ۱/۷ می‌باشد. متوسط شاخص آلودگی آهن و منگنز به ترتیب ۰/۶ و ۱/۲ است که در کلاس کم تا متوسط آلودگی قرار می‌گیرند. این موضوع در مورد تمام نمونه‌های گرد و غبار نیز صدق می‌کند. محدوده شاخص آلودگی کروم بین ۱/۱ تا ۳/۵ و

در این پژوهش، شاخص آلودگی هر فلز با توجه به غلظت فلزات سنگین در خاک‌های جهان به‌عنوان غلظت زمینه محاسبه گردید که در جدول ۶ آورده شده است. آهن و منگنز دارای کمترین میزان آلودگی بوده و محدوده شاخص آلودگی برای این دو عنصر به ترتیب



شدید قرار می‌گیرند و نشان از آلودگی مجموع فلزات سنگین مورد مطالعه در همه نمونه‌های گرد و غبار دارد. لو و همکاران (۲۳)، گزارش کردند که با توجه به شاخص آلودگی، بخش قابل توجهی از آلودگی گرد و غبار مربوط به فلزات روی و مس با متوسط ۹/۶ و ۵/۴ بود. در تحقیق ایشان، هم‌چنین شاخص جامع آلودگی، آلودگی شدید گرد و غبار با متوسط ۶/۸ را نشان داد. نتایج مطالعه جعفری (۱۶)، نشان داد که شاخص آلودگی برای عناصر نیکل، کروم و منگنز به ترتیب با متوسط ۱/۷، ۲/۳ و ۱/۲ در کلاس متوسط آلودگی قرار داشتند. حال آن‌که روی و مس با متوسط ۵/۸ و ۳/۸ در کلاس آلودگی شدید واقع شدند به‌گونه‌ای که ۱۰۰ درصد داده‌های روی و ۹۴ درصد داده‌های مس در کلاس آلودگی شدید قرار داشتند. ایشان هم‌چنین متوسط شاخص جامع آلودگی در نمونه‌های گرد و غبار را ۲/۹۸ گزارش کرد به‌طوری که ۶۶ درصد نمونه‌ها در کلاس آلودگی متوسط و ۳۴ درصد آن‌ها در کلاس آلودگی شدید قرار داشت.

متوسط آن ۱/۷ می‌باشد. برای کروم ۹۰ درصد داده‌ها در کلاس متوسط آلودگی قرار می‌گیرند. شاخص آلودگی روی، مس و نیکل نیز به ترتیب دارای محدوده ۲/۱-۱۱/۳، ۱/۷-۱۸/۳ و ۱/۳-۳/۳ با متوسط ۳/۸، ۳/۳ و ۶/۹ می‌باشند. برای روی، مس و نیکل ۵۱، ۳۷ و ۱۰۰ درصد از داده‌های این عناصر در کلاس آلودگی زیاد قرار می‌گیرند که نشان از آلودگی جدی این عناصر در گرد و غبار استان دارند. هم‌چنین ۴۹ و ۶۳ درصد از داده‌های عناصر روی و مس در کلاس آلودگی متوسط قرار دارند. بنابراین نتایج به دست آمده بیانگر این موضوع می‌باشد که نمونه‌های گرد و غبار نسبت به خاک‌های جهان دارای آلودگی بیشتری می‌باشند.

خصوصیات آماری شاخص جامع آلودگی نیز در جدول ۶ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که محدوده شاخص جامع آلودگی نمونه‌های گرد و غبار بین ۱/۹ تا ۶/۲ و متوسط آن ۲/۹ می‌باشد که ۸ درصد آن در کلاس متوسط آلودگی و ۹۲ درصد آن در کلاس آلودگی

جدول ۶- توصیف آماری شاخص آلودگی (PI) و شاخص جامع آلودگی (IPI) فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار

Table 6- Statistical description of the Pollution Index (PI) and Integrated Pollution Index (IPI) of heavy metals in dust samples

	شاخص آلودگی (PI)					شاخص جامع آلودگی (IPI)	
	روی Zn	مس Cu	نیکل Ni	کروم Cr	منگنز Mn	آهن Fe	Integrated Pollution Index (IPI)
حداقل (Minimum)	2.1	1.7	3.3	1.1	0.96	0.4	1.9
حداکثر (Maximum)	11.3	18.3	13.6	3.5	1.7	0.8	6.2
میانگین (Mean)	3.8	3.3	6.9	1.7	1.2	0.6	2.9
چولگی (Skewness)	1.96	4.98	0.9	1.3	0.96	-0.1	1.2
کشدگی (Kurtosis)	3.7	28.7	-0.5	0.9	1.7	0.2	0.8

صورت  $Fe < Mn < Cr < Cu < Zn < Ni$  برای عناصر مورد مطالعه بودند. شاخص زمین‌انباشتی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی بالا در گرد و غبار برای فلزات نیکل، روی و مس (به‌ویژه نیکل) و به میزان کمتری کروم، نشان از آلودگی قابل توجه این فلزات داشت که احتمالاً می‌تواند ناشی از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی باشد. هم‌چنین میزان پایین این شاخص‌های ارزیابی آلودگی برای منگنز و آهن، نشان از عدم آلودگی این عناصر در گرد و غبار داشت. نتایج ارزیابی شاخص جامع آلودگی، آلودگی شدید گرد و غبار توسط مجموع فلزات سنگین را نشان داد. این نتایج لزوم توجه ویژه به شناسایی و کنترل منابع فلزات سنگین (به‌ویژه نیکل) در گرد و غبار کرمانشاه را نشان داد.

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش غلظت فلزات روی، مس، نیکل، کروم، منگنز و آهن و سطوح آلودگی این فلزات در گرد و غبار جمع‌آوری شده در استان کرمانشاه بررسی شد. بالا بودن میانگین غلظت فلزات روی، مس، نیکل و کروم در نمونه‌های گرد و غبار شهری و هم‌چنین آهن و منگنز در نمونه‌های گرد و غبار برون شهری به ترتیب نشان از اثر فعالیت‌های انسانی و طبیعی بر این عناصر داشت. غلظت فلزات سنگین در این مطالعه با سایر مطالعات انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا و هم‌چنین غلظت زمینه خاک‌های جهان مقایسه شد. نتایج نشان داد که غلظت همه فلزات سنگین به‌جز آهن و منگنز بالاتر از غلظت خاک‌های جهان است. میانگین غلظت نیکل در منطقه مورد مطالعه به‌طور چشم‌گیری بیشتر از سایر نقاط مورد بررسی در ایران و جهان بود. بنابراین می‌توان گفت که گرد و غبار منطقه از نظر فلز نیکل آلوده می‌باشد. نتایج محاسبه شده از شاخص زمین‌انباشتی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی به‌طور مشابه دارای ترتیبی به

## منابع

- 1- Ahmadi Doabi.S., Karami M. and Afyuni M. 2016. Regional-scale fluxes of zinc, copper and nickel into and out of the agricultural soils of the Kermanshah province in western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. (in press)
- 2- Ahmed F., and Ishiga H. 2006. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*, 40(21):3835-3844.
- 3- Al Bakain R.Z., Jaradat Q.M. and Momani K.A.2012. Indoor and outdoor heavy metals evaluation in kindergartens in amman, Jordan. *Jordan Journal of Physics*, 5(1):43-52.
- 4- Al-Khashman O.A. 2004. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric environment*, 38(39):6803-6812.
- 5- Alloway B. 2010. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, third ed. Springer Publications, p. 614.
- 6- Anagnostou C., Kaberi H. and Karageorgis A. 1997. Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf of Thessaloniki (Greece) according to the geoaccumulation index classification. In *International conference on water pollution*, pp. 269-275.
- 7- Azimzadeh B., and Khademi H. 2013. Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran. *Journal of Water and Soil*. 27(3):548-559. (in Persian with English abstract).
- 8- Barzin M., Kheirabadi H. and Afyuni M. 2015. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan province using pollution index. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 19(72):69-79. (in Persian with English abstract)
- 9- Chen T.B., Zheng Y.M., Lei M., Huang Z.C., Wu H.T., Chen H. and Tian Q.Z. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60(4):542-551.
- 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*, 3(17):2733-2740.
- 11- Faiz Y., Tufail M., Javed M.T. and Chaudhry M.M. 2009. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*, 92(2):186-192.
- 12- Ghadimi F., Ghomi M., Ranjbar M. and Hajati A. 2013. Statistical Analysis of Heavy Metal Contamination in Urban Dusts of Arak, Iran. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 4(4):406-418.
- 13- Gonzalez-Macias C., Schifter I., Lluch-Cota D.B., Mendez-Rodriguez L. and Hernandez-Vazquez S. 2006. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118(1-3):211-230.
- 14- Hu X., Zhang Y., Luo J., Wang T., Lian H. and Ding Z. 2011. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China. *Environmental Pollution*, 159(5):1215-1221.
- 15- Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). 2013. Available at <http://www.irimo.ir>. (in Persian and English)
- 16- Jafari F. 2013. Deposition rate and selected physical, chemical and clay mineralogical characteristics of atmospheric dust in Kerman city. M.Sc. thesis soil science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract)
- 17- Jiries A. 2003. Vehicular contamination of dust in Amman, Jordan. *Environmentalist*, 23(3):205-210.
- 18- Karimi N., Ghaderian S.M., Maroofi H. and Schat H. 2009. Analysis of arsenic in soil and vegetation of a contaminated area in Zarshuran, Iran. *International journal of phytoremediation*, 12(2):159-173.
- 19- Kartal Ş., Aydın Z. and Tokaloğlu Ş. 2006. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*, 132(1):80-89.
- 20- 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.
- 21- Khuzestani R.B., and Sourì B. 2013. Evaluation of heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan Province, western Iran. *Journal of Environmental Sciences*, 25(7):1346-1354.
- 22- Liu Q.T., Diamond M.L., Gingrich S.E., Ondov J.M., Maciejczyk P. and Stern G.A. 2003. Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. *Environmental Pollution*, 122(1):51-61.
- 23- Lu X., Wang L., Lei K., Huang J. and Zhai Y. 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.
- 24- Mahmoodi Z., and Khademi H. 2014. Concentration of selected heavy metals in atmospheric dust of Isfahan and neighboring metropolitan areas. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 18(67):243-255. (in Persian with English abstract)
- 25- Müller G. 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2:108-118.
- 26- Nicholson F.A., Smith S.R., Alloway B.J., Carlton-Smith C. and Chambers B.J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the total environment*, 311(1):205-219.
- 27- Nriagu J.O. 1988. A silent epidemic of environmental metal poisoning? *Environmental pollution*, 50(1):139-161.
- 28- Rashki A., Eriksson P.G., Rautenbach C.D.W., Kaskaoutis D.G., Grote W. and Dykstra J. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, 90(2):227-236.
- 29- Rasmussen P.E., Subramanian K.S. and Jessiman B.J. 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(1):125-140.
- 30- Reimann C., and De Caritat P. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 337(1):91-107.
- 31- Romić M., Hengl T., Romić D. and Husnjak S. 2007. Representing soil pollution by heavy metals using continuous limitation scores. *Computers and Geosciences*, 33(10):1316-1326.
- 32- 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.
- 33- Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A. and Sumner M.E. 1996. *Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods*. Soil Science Society of America Inc.
- 34- Standard A.S.T.M. D1739-70. 1970. Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter). ASTM International: West Conshohocken, PA.
- 35- Statistical Center of Iran (SCI), 2011. <http://www.amar.org.ir>. (in Persian and English)
- 36- Ta W., Xiao H., Qu J., Xiao Z., Yang G., Wang T. and Zhang X. 2004. Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986-2000. *Geomorphology*, 57(1):41-51.
- 37- Tong S.T., and Lam K.C. 2000. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 256(2):115-123.
- 38- Varrica D., Dongarra G., Sabatino G. and Monna F. 2003. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. *Environmental Geology*, 44(2):222-230.
- 39- Wei B., Jiang F., Li X. and Mu S. 2009. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchemical Journal*, 93(2):147-152.
- 40- Wei B., Jiang F., Li X. and Mu S. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental monitoring and assessment*, 160(1-4):33-45.
- 41- Yaroshevsky A.A. 2006. Abundances of chemical elements in the Earth's crust. *Geochemistry International*, 44(1):48-55.
- 42- Yongming H., Peixuan D., Junji C. and Posmentier E.S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, 355(1):176-186.
- 43- Zarasvandi A., Carranza E.J.M., Moore F. and Rastmanesh F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of geochemical exploration*, 111(3):138-151.

## Assessment of Kermanshah Province Atmospheric Dust Contamination with Selected Heavy Metals Using Pollution Indexes During the Summer 2013

S. Ahmadi Doabi<sup>1\*</sup> - M. Afyuni<sup>2</sup> - M. Karami<sup>3</sup>

Received: 05-04-2016

Accepted: 19-12-2016

**Introduction:** Atmospheric dust is an important source of heavy metals, particularly in urban environments. Heavy metals can easily attach to dust particles and be distributed in large areas. Therefore, assessing the extent of heavy metals pollution present in nuisance dust is important for establishing pollution control strategies and evaluating the results of previous measurements. Heavy metals contamination in atmospheric dust of Kermanshah province has not been previously investigated. The main objective of this initial study was to determine the concentrations of heavy metals in atmospheric dust samples that were collected from Kermanshah province and to assess their contamination level. The results can provide a baseline for use in future environmental impact assessments and to guide pollution mitigation targets.

**Materials and Methods:** Dust samples were collected from 49 sites across the province, during the summer 2013. Dust sampling sites were selected in different urban (35 site) and suburban (14 site) locations in Kermanshah, Songhor, Gilangharb, Ghasre-Shirin, Sahneh, Sarpolzahab, Kangavar, Paveh and Javanrood cities. Dust collectors were installed on the roof of buildings about 3–4 m above the ground level. Each collection tray consisted of a circular plastic surface (320 mm in diameter, 120 mm depth) that was fixed on holders with 33 cm height and covered with a 2 mm PVC mesh on top to form a rough area for trapping saltant particles. The dust samples were analyzed for their Zn, Cu, Ni, Cr, Mn and Fe concentrations using an Atomic Absorption Spectrophotometer. In the present study, geo-accumulation index ( $I_{geo}$ ), enrichment factor (EF), pollution index (PI) and integrated pollution index (IPI) were calculated to assess the heavy metal contamination level in the atmospheric dust.

**Results and Discussion:** The results showed that except for Fe and Mn, all heavy metal concentrations of atmospheric dust in Kermanshah province were higher than in the background soils of world, showing that these heavy metals are likely from anthropogenic sources. The order of mean  $I_{geo}$  values was Ni > Zn > Cu > Cr > Mn > Fe, similar to the order of their EFs and PIs, which can also be seen as the decreasing order of their overall contamination degrees in atmospheric dust of Kermanshah province. The mean  $I_{geo}$  for Ni points to moderately to strongly pollution. 59% of calculated  $I_{geo}$  for Ni falls into class 2 (moderately polluted) and 37% into class 3 (moderately to strongly polluted), while according to the  $I_{geo}$  values for Mn (98%) and Fe (100%), they were practically unpolluted (class 0). The maximum EFs of Zn, Cu and Ni were higher than 10, which show that Zn, Cu and Ni in atmospheric dusts mainly originate from anthropogenic sources. It seems that EFs can also be an effective tool to differentiate the natural origins from anthropogenic sources. The mean EF (11.2) and 94% of Ni EFs were in the range of 5–20 indicating that Ni was a main contaminant in studied samples. Mn had 41% EFs less than 2 and 59% EFs in the range of 2–5, with mean EF less than 2, indicating minimal enrichment. The analytical results of heavy metals  $I_{geo}$  are same as the analytical results of EFs. The PIs of Zn, Cu and Ni were in the ranges of 2.1 to 11.3, 1.7 to 18.3 and 3.3 to 13.6, with an average of 3.8, 3.3 and 6.9, respectively. These data indicate that Zn, Cu and Ni may cause serious pollution in atmospheric dust of Kermanshah. The IPIs of atmospheric dust samples vary from 1.9 to 6.2 with mean value of 2.9, indicating that all studied samples were polluted by heavy metals.

**Conclusion:** The concentrations of heavy metals that were investigated in this study were compared with the reported data of other cities and with the background values of elements in the world soils. The concentrations of Zn, Cu, Ni and Cr in urban dust samples, and Fe and Mn in suburban dust samples were higher than their respective values in the world soils. The results indicate that atmospheric dusts in Kermanshah province have elevated metal concentrations in general. The calculated values of  $I_{geo}$  and EF of heavy metals revealed the order

1 and 2- Former M.Sc. Student and Professor of Soil Science Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

(\*-Corresponding Author Email: sahmadi96@yahoo.com)

3-Assistant Professor, Department of Soil Science, Agricultural Engineering Campus, Razi University, Kermanshah

of  $I_{geo}$  and EF as Ni > Zn > Cu > Cr > Mn > Fe. The high  $I_{geo}$  and EF for Ni, Zn and Cu in atmospheric dusts indicated that there was a considerable Ni, Zn and Cu pollution (Especially nickel), which possibly originate from traffic and industrial activities. The  $I_{geo}$  and EF of Mn and Fe were low. The results of PI also supported Zn, Cu and Ni serious pollution in atmospheric dust. Similarly, IPI results confirmed atmospheric dust samples pollution by heavy metals. These findings indicated that more attention should be paid to heavy metal contamination of atmospheric dusts in Kermanshah, especially in case of Ni.

**Keywords:** Atmospheric dust, Contamination assessment, Heavy metals, Kermanshah