مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۱۹، اردیبهشت ۱۳۹۹، ۱۹۲-۱۷۳

ارزیابی ریسک اکولوژیکی برخی فلزات سنگین غبار انتشار یافته از صنایع غیرفلزی شهرستان اردکان یزد در تابستان سال ۱۳۹۷: یک مطالعه توصیفی

سعید شجاعی برجوئی[۱]، حمیدرضا عظیم‌زاده[۲]، اصغر مصلح آرانی[۳]

دریافت مقاله: ۹۸/۸/۱۸ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۸/۱۰/۱۴ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۸/۱۲/۳ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۲/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: اجرای برنامه‌های توسعه صنعتی بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی باعث تداوم ورود آلاینده‌ها به هوا شده است. لذا هدف از این مطالعه تعیین ریسک اکولوژیکی برخی فلزات سنگین غبار تعدادی از صنایع غیرفلزی و تعیین بهترین شاخص در ارزیابی آلودگی منطقه اردکان بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه توصیفی در فصل تابستان سال ۱۳۹۷، با نصب تله‌های غبارگیر اطراف تعدادی صنایع غیرفلزی انجام شد. پس از جمع‌آوری غبار، غلظت روی، سرب، آرسنیک، آلومنیوم، کبالت، آهن، برلیوم و مولیبدن توسط دستگاه طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القائی اندازه‌گیری شد. سپس سطح آلودگی فلزات سنگین بر اساس تعدادی از شاخص های اکولوژیک منفرد و تلفیقی ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون‌های توصیفی انجام شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت روی، سرب، آرسنیک، آلومنیوم، کبالت، آهن، برلیوم و مولیبدن در کلیه نمونه‌ها به ترتیب ۹۶۱، ۶۲/۰۸، ۱۹/۱۹، ۱۳/۳۲، ۳۶۵۲۷/۹۱، ۱/۴۲ و ۲/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. بر اساس شاخص آلودگی منفرد عناصر سرب، روی و آرسنیک در کلاس آلودگی شدید و بر اساس شاخص منفرد، فاکتور آلودگی دو عنصر روی و آلومنیوم در کلاس بسیار بالا آلودگی قرار گرفتند. کلاس آلودگی شاخص‌های تلفیقی درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده به ترتیب قابل توجه تا بسیار بالا و متوسط تا بالا متغیر بود. بر اساس شاخص تلفیقی بار آلودگی، کلیه نمونه‌ها در کلاس آلوده قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: شاخص‌های اکولوژیک منفرد بهترین شاخص‌ها در ارزیابی شدت آلودگی غبار منطقه هستند که در بین عناصر مورد بررسی، فلز روی را به عنوان فلز بحرانی معرفی می‌کنند.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، غبار صنایع، ارزیابی ریسک اکولوژیکی، اردکان یزد

۱- کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
تلفن: ۳۸۲۱۰۳۱۲-۰۳۵، دورنگار: ۳۸۲۱۰۶۹۸-۰۳۵، پست الکترونیکی: hazimzadeh@yazd.ac.ir
۳- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

مقدمه

اجرای برنامه‌های توسعه صنعتی بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی در کنار نبود ضوابط روشن و هم چنین اجرای ضعیف برخی قوانین موجود جهت حفاظت از محیط زیست، باعث تداوم ورود آلاینده‌ها به آب، خاک و هوا در مناطق مختلف کشور شده است. امروزه آلودگی‌های صنعتی به عنوان عمده‌ترین عامل تخریب محیط زیست محسوب می‌شوند [۱].

از آن جایی که محیط زیست انسانی با سه فاکتور آب، خاک و هوا شرایط ممکن را برای بقاء زیستن و رفاه انسان فراهم می کند، بنابراین هر چه این سه فاکتور درجه سلامت و پاکی بالایی داشته باشند، زندگی انسان از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود. از بین فاکتورهای مذکور، هوا به طور نسبی اهمیت بالاتری دارد چرا که با اندک تغییری در وضعیت طبیعی آن، تنفس به عنوان بدیهی‌ترین فعالیت ممکن انسان شدیداً تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۲].

امروزه افزایش انتشار گرد و غبار صنعتی، تهدید جدی برای سلامتی انسان به حساب می آید. فلزات سنگین با اتصال به ذرات گرد و غبار قادرند در مقیاس وسیعی منتشر شوند. این فلزات به علت سمیت، پایداری و تجمع زیستی یکی از آلاینده‌های جدی در محیط زیست طبیعی و انسانی هستند [۳].

مواجهه انسان با مقادیر بسیار ناچیزی از فلزات سنگین از راه تنفس، بلع و تماس پوستی منجر به بروز انواع بیماری‌های به دو شکل حاد و مزمن به صورت اسهال، استفراغ، کم خونی، ایجاد اختلال در سیستم‌های عصبی، کلیه، قلب، سیستم گردش خون، عقب‌ماندگی ذهنی و کاهش رشد مغزی در کودکان می‌شود [۴]. از سوی دیگر ممکن است سبب آلودگی منابع و مخازن سطحی آب، کاهش کیفیت منابع خاک، از بین رفتن گیاهان و جانوران شود. بنابراین، پایش غلظت و ارزیابی ریسک فلزات سنگین به منظور قضاوت فراگیر و چند جانبه، در بدو ورود به زنجیره ای غذایی و مواجهه پوستی و استنشاقی انسان با این عوامل زیان‌آور امری پر واضح است [۵].

در اکثر مطالعات صورت گرفته، با مقایسه غلظت فلزات سنگین با استانداردهای مختلف جهانی اقدام به ارزیابی آلودگی گرد و غبار و خاک به فلزات سنگین شده است. با وجود این، تنها با مقایسه مقادیر فلزات با استانداردهای موجود نمی‌توان قضاوتی همه جانبه و فراگیر در ارتباط با آلایندگی فلزات سنگین در منطقه انجام داد؛ بنابراین در مطالعات مختلف صورت گرفته به منظور تحلیل مناسب‌تر و فراگیر برای بررسی آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین، شاخص‌های متفاوتی مثل شاخص‌های انفرادی نظیر شاخص آلودگی (Pollution index ;PI) و شاخص فاکتور آلودگی (Contamination factor; CF) و شاخص‌های تلفیقی نظیر شاخص جامع آلودگی نمرو (Nemerow integrated pollution index; NIPI)، شاخص درجه آلودگی (Degree of contamination; DC)، شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (Modified degree of contamination; MDC)، بار آلودگی (Pollution load index; PLI) پیشنهاد شده است [۶-۷].

استفاده از این شاخص‌ها با هدف ارزیابی وضعیت آلودگی یک منطقه در مطالعات مختلفی منعکس شده است. Davashi و همکاران بر اساس دو شاخص PI و MDC

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

توانستند به ترتیب وضعیت آلودگی فلزات سنگین خاک اطراف صنایع پتروشیمی در کلاس‌های متوسط تا زیاد و کم تا متوسط طبقه‌بندی کنند [۸]. نتایج تحقیقات Nik ravesh و همکاران بر روی خاک‌های سطحی شهرک صنعتی سمنان نشان داد که بر اساس دو شاخص CF و PLI وضعیت آلودگی فلزات سنگین در منطقه به ترتیب از کم تا متوسط و غیرآلوده تا آلوده متغیر است [۹]. Sistani و همکاران با استفاده از شاخص‌های اکولوژیک منفرد PI و CF و تلفیقی PLI نشان دادند آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی اطراف صنایع فولاد کرمان به ترتیب در کلاس های غیرآلوده تا شدید، پایین تا بسیار بالا و غیرآلوده قرار دارند [۱۰].

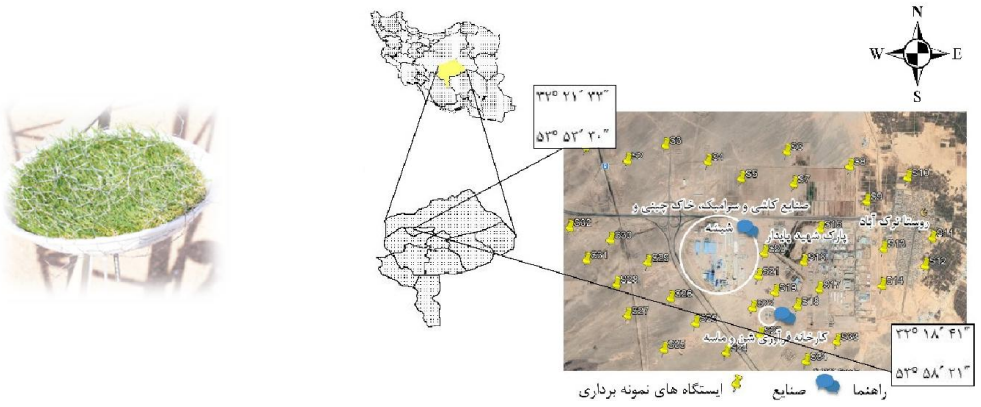
از آن جایی که تاکنون مطالعه در ارتباط با تعیین آلودگی فلزات سنگین غبار انتشاریافته از صنایع شهرستان اردکان که در ضلع شمال غربی از مرکز شهرستان واقع اند صورت نگرفته است، لذا این مطالعه با هدف تعیین ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین آهن، روی، کبالت، سرب، آرسنیک، مولیبدن، برلیوم و آلومنیوم در غبار انتشاریافته از گروه صنایع کاشی سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن ماسه بر اساس شاخص‌های منفرد نظیر شاخص PI و CF و شاخص های تلفیقی نظیر NIPI، DC، MDC و PLI انجام شده است. با توجه به نتایج این مطالعه می توان میزان آلودگی به فلزات سنگین غبار صنایع مذکور را اندازه‌گیری نمود و سازمان‌های مرتبط با برنامه‌ریزی شهری، بهداشت شهری، کارشناسان مراکز بهداشتی، شهرداری‌ها و محیط زیست، صنایع و معادن می‌توانند از نتایج چنین مطالعه‌ای استفاده نمایند.

مواد و روش‌ها

مطالعه‌ای توصیفی حاضر در فصل تابستان ۱۳۹۷پیرامون تعدادی از صنایع همجوار شامل صنایع کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن ماسه واقع در ضلع شمال غربی شهرستان اردکان یزد صورت گرفت. هم‌چنین این مطالعه دارای کد اخلاق از دانشگاه یزد به شماره ثبتی IR.YAZD. REC.1398.027 می‌باشد. با بررسی عکس های هوایی محدوده مورد مطالعه در نرم افزار google earth، مختصات جغرافیایی منطقه به صورت ″۳۲ ′۲۱ °۳۲ تا ″۴۱ ′۱۸ °۳۲ عرض شمالی و ″۲۱ ′۵۸ °۵۳ تا ″۳۰ ′۵۳ °۵۳ طول شرقی تعیین شد. منطقه مورد مطالعه بر اساس روش Dumbarton از نظر اقلیمی در کلاس خشک و فراسرد قرار می گیرد. این ناحیه با متوسط بارش سالیانه کم‌تر از ۶۰ میلی‌متر و پوشش گیاهی نسبتاً فقیر همراه با طوفان‌های گرد و غبار سبب کاهش کیفیت بستر زیست محیطی شده است [۱]. اما آنچه بیش‌تر از همه سبب نگرانی شده است توسعه صنایع غیرفلزی نظیر کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی، شن و ماسه، گندله سازی و فولاد بوده که فرآیندی تولید در این صنایع در مراحلی نظیر تخلیه و دپوی مواد اولیه، سنگ شکن، آسیاب و کوره پخت می‌تواند منجر به انتشار عوامل آلاینده مختلفی به هوا و خاک مناطق پیرامونی گردد. پیرامون صنایع مذکور انواعی از کاربری‌های اراضی مرتعی و کشاورزی، بیابان و مراکز جمعیتی حساس واقع شده است. به طوری که اراضی زراعی در فاصله دو کیلومتری و مراکز جمعیتی حساس در فاصله سه کیلومتری از این صنایع واقع شده‌اند (شکل ۱). بر اساس بازدیدهای صورت گرفته از کارخانجات، ظرفیت تولید سالانه سه صنعت کاشی و سرامیک، بیش از ۶ میلیون متر مربع و کارخانه شیشه،

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

ظرفیت تولید روزانه ۹۰۰ تن است. اطلاعات مؤثقی درباره ظرفیت تولید روزانه یا سالانه دو صنعت خاک چینی و کارخانه فرآوری شن ماسه در دسترس نیست.



(الف) (ب)

شکل ۱- الف: موقیت محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه برداری در نرم‌افزار google earth و ب: نمایی از تله‌های غبارگیر از نوع چمن مصنوعی

برای اجرای تحقیق حاضر ابتدا یک طرح سیستماتیک با دوره نمونه برداری ۳ ماهه در فصل تابستان با استفاده از نمونه بردارهای غیرفعال از نوع چمن مصنوعی برای به دام اندازی ذرات گرد و غبار انتشار یافته از صنایع غیرفلزی مورد بررسی با قطر کوچکتر از ۱۰ میکرون، طراحی گردید. به این منظور چمن‌های مصنوعی درون یک ظرف پلاستیکی دایره ای شکل به قطر ۲۳ سانتی‌متر و عمق ۲ سانتی‌متر همراه با خارهای فولادی ضدزنگ (خار ضدپرنده) برای جلوگیری از نشستن پرنده قرار داده شد [۱۱].

نمونه برداری از غبار به روش سیستماتیک تصادفی انجام شد. به این صورت با تقسیم شبکه‌ای به ابعاد m × ۱۰۰ m ۱۰۰ در نرم‌افزار google earth و با حذف تعدادی نقاط انتخابی در مکان‌های نامناسب، ۳۵ ایستگاه تعیین گردید. سپس اطلاعات موقعیت مکانی آن‌ها در دستگاه موقعیت‌یاب مکانی (Global Positioning System) برای نصب ایستگاه‌ها و شناسایی مجدد آنها در مرحله جمع‌آوری غبار ثبت گردید. پس از گذشت ۳ ماه از زمان نصب، تله‌های غبارگیر جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد تا با شستشو با آب مقطر غبار موجود در آن‌ها استخراج شود.

برای تجزیه شیمیایی و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها غبار از دستگاه طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القائی (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)، ELAN9000 USA، Perkin-Elmer استفاده شد. به این منظور حدود ۰/۱ گرم نمونه غبار، با حجم کافی از محلول هضم کننده مواد جامد که شامل ۴ میلی لیتر HNO_3، ۰/۱ میلی‌لیتر HCL و یک میلی‌لیتر HF بود به ظروف تفلونی افزوده و در سیستم ماکروویو هضم نمونه‌ها صورت گرفت. پس از هضم نمونه، ظروف تفلون بر روی صفحه گرمایی سرامیکی قرار داده شد تا نمونه‌ها خشک شوند. مواد باقی‌مانده نهایی در HNO3 ۰/۱۴ مولار حل

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

شدند و سپس به بطری‌های ۵۰ میلی‌لیتری PE منتقل گردیدند و در نهایت در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگه‌داری شدند. در نهایت غلظت فلزات سنگین نمونه‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری شدند [۱۲].

جهت ارزیابی درصد خطای نمونه‌برداری برای هر یک از فلزات سنگین از رابطه ۱ استفاده شد.

$$N = \frac{t^2 \times CV\%^2}{E\%^2} \quad (۱)$$

در این رابطه؛ N تعداد نمونه‌های لازم، E درصد خطا، t برابر با ۱/۹۶ که بر اساس درجه آزادی بی‌نهایت در سطح معنی‌دار ۵ درصد تعیین گردید، CV ضریب تغییرات که برابر با نسبت انحراف معیار داده‌ها به میانگین مقادیر نمونه-گیری اولیه است [۱۳].

بعد از انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار GIS نسخه ۱۰/۵ اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی هریک از فلزات سنگین بر اساس غلظت فلزات سنگین در هر ایستگاه نمونه‌برداری شد. به این منظور از روش زمین آماری کریجینگ معمولی بلوکی استفاده گردید.

در این روش از مدل‌های مختلفی نظیر Ordinary (کریجینگ معمولی)، Simple (کریجینگ ساده)، Universal (کریجینگ فراگیر یا جامع)، Indicator (کریجینگ شاخص)، Probability (کریجینگ احتمالی) و Disjunctive (کریجینگ گسسته) برای پهنه‌بندی استفاده می‌شود. هر یک از مدل‌های مذکور با دارا بودن دو شاخص دقت تخمین RMSE (ریشه میانگین مجذور خطا) و ME (میانگین خطای تخمین) می‌توانند نقشه‌های صحیحی با دقت قابل قبول ارائه دهند. نزدیک بودن مقادیر ME بیان‌گر ناریب بودن تخمین-ها و RMSE پایین بیان‌گر دقت قابل قبول مدل در پهنه-بندی منطقه به روش کریجینگ است. با استفاده از رابطه ۲ و ۳ مقادیر شاخص RMSE و ME محاسبه می‌گردد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Z_i^* - Z_i)^2} \quad (۲)$$

$$ME = E[Z_i^* - Z_i] \quad (۳)$$

در روابط بالا پارامترهای Z_i^* مقدار تخمین زده شده، Z_i مقدار مشاهده شده، E خطا و n تعداد مشاهدات است [۱۴].

ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در غبار

برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین غبار انتشاریافته از صنایع مورد بررسی از شاخص‌های اکولوژیک منفرد و تلفیقی استفاده شد. در واقع شاخص‌های انفرادی دلالت بر نقش یک فلز سنگین در ایجاد آلودگی در محیط دارد، در حالی که با استفاده از شاخص‌های تلفیقی که در برگیرنده شاخص‌های منفرد برای هریک از فلزات سنگین هستند، می‌توان نظر کلی درباره تعدادی از فلزات سنگین در ایجاد آلودگی و ایجاد مخاطرات بهداشتی به صورت یک‌جا بیان نمود [۱۵]. شاخص‌های اکولوژیک منفرد PI و CF و تلفیقی NIPI، DC، MDC و PLI از جمله شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق هستند که در ادامه به توصیف هر یک از شاخص‌ها خواهیم پرداخت.

شاخص آلودگی (Pollution Index)

شاخص آلودگی جهت ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد که فرمول آن به صورت رابطه ۴ است.

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad (۴)$$

Cn غلظت فلز سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه غبار، B_n غلظت پایه از ژنز سنگ مادری آلاینده است. این شاخص در

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

چهار گروه غیرآلوده (PI≤۱)، آلودگی کم (۱<PI≤۲)، آلودگی متوسط (۲<PI≤۳) و آلودگی شدید (PI>۳) طبقه بندی می شود [۱۶].

شاخص فاکتور آلودگی (Contamination Factor)

اصولاً مقادیر فاکتور آلودگی می‌تواند توصیفی از آلودگی مربوط به فلز سنگین مورد بررسی غبار ارائه دهد. فاکتور آلودگی از تقسیم غلظت فلز سنگین در نمونه برداشت شده به غلظت همان فلز در نمونه زمینه به دست می‌آید. فاکتور آلودگی توسط Hakanson از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$CF = \frac{M_x}{M_b} \qquad (۵)$$

در این رابطه، Mx: غلظت فلز سنگین در نمونه و Mb: غلظت همان فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است. کلاس بندی Hakanson بر مبنای فاکتور آلودگی غبار در چهار کلاس فاکتور آلودگی پایین (CF≤۱)، فاکتور آلودگی متوسط (۱≤ CF≤۳)، فاکتور آلودگی قابل توجه (۳≤ CF≤۶)، فاکتور آلودگی بسیار بالا (CF≥۶) ارائه نمود [۱۷].

شاخص جامع آلودگی نمرو (Nemerow Integrated Pollution Index)

این شاخص به صورت معادله (۶) بیان می شود.

$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{i\,max}^2 + PI_{i\,ave}^2}{2}} \qquad (۶)$$

PI_{max} ماکسیمم مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین و PI_{ave} میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز سنگین می-باشد. 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. این شاخص در پنج سطح بدون آلودگی (NIPI≤۰/۷)، خطر هشدار آلودگی (۰/۷<NIPI≤۱)، سطح آلودگی کم (۱<NIPI≤۲)، سطح آلودگی متوسط (۲<NIPI≤۳)، سطح بالای آلودگی (NIPI>۳) طبقه بندی می‌شود [۱۸].

شاخص درجه آلودگی (Degree of Contamination)

اصولاً مجموع فاکتور آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی غبار را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی Hakanson گفته می‌شود که از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$DC = \sum C_f^i \qquad (۷)$$

کلاس‌بندی Hakanson بر مبنای درجه آلودگی (کیفیت) غبار در ۴ کلاس درجه آلودگی پایین (DC≤۶)، درجه آلودگی متوسط (۶≤ DC≤۱۲)، درجه آلودگی قابل توجه (۱۲≤ DC≤۲۴)، درجه آلودگی بسیار بالا (DC≥۲۴) ارائه نمود [۱۷].

شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (Modified Degree of Contamination)

به دلیل وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی توسط Hakanson ارائه شده بود، Abrahim در سال ۲۰۰۵ رابطه اصلاح شده‌ای (رابطه ۸) را بر اساس شاخص درجه آلودگی ارائه نمود.

$$MDC = \frac{\sum C_f^i}{n} \qquad (۸)$$

در این معادله، C_f: فاکتور آلودگی و n: تعداد پارامترهای مورد بررسی می‌باشد. مطابق با رابطه ۴، این شاخص به دلیل فرآیند میانگین‌گیری که در فرمول آن اتفاق می‌افتد، تأثیرات مقادیر انباشتگی آلاینده‌ها، در نتیجه نهایی تعدیل می‌گردد. Abrahim دسته‌بندی سطح آلودگی خاک را بر اساس مقادیر کمی شاخص اصلاح شده درجه آلودگی MDC به صورت درجه بسیار پایین آلودگی (۰≤MDC≤۱/۵)، درجه پایین

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

آلودگی (۱/۵≤MDC≤۲)، درجه متوسط آلودگی (۲≤MDC≤۴)، درجه بالا آلودگی (۴≤MDC≤۸)، درجه بسیار بالا آلودگی (۸≤MDC≤۱۶)، به شدت بسیار بالا آلوده (۱۶≤MDC≤۳۲)، (MDC≥۳۲) ارائه نموده است [۱۹].

شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index)

برای بررسی میزان سمیت فلزات سنگین در غبار از شاخص بار آلودگی استفاده می‌شود. این شاخص توسط Thomilson و همکاران به صورت رابطه ۹ ارائه گردیده است.

$$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 \times CF_2 \times \dots \dots \times CF_n)} \qquad (۹)$$

در این معادله CF فاکتور آلودگی هر یک از فلزات سنگین مورد مطالعه و n تعداد فلزات سنگین اندازه‌گیری شده است. بر اساس این شاخص غبار از نظر درجه آلودگی به دو گروه غیرآلوده (PLI<۱) و آلوده (PLI>۱) تقسیم-بندی می‌شوند [۲۰].

کلیه تجزیه تحلیل‌های آماری شامل حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد، استاندارد خطا، چولگی، کشیدگی، آزمون Kolmogorov–Smirnov، درصد ضریب تغییرات با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد.

نتایج

بر اساس تجزیه و تحلیل آماری غلظت فلزات سنگین غبار جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های نمونه برداری نتایج نشان داد، بیش‌ترین میانگین غلظت فلز سنگین در غبار مربوط به فلز آلومنیوم و کم‌ترین میانگین غلظت مربوط به فلز برلیوم است. بر اساس میانگین غلظت، روند نزولی در غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده (Al> Fe> Zn> As >Pb > Co > Mo >Be) مشاهده شد.

مقایسه غلظت زمینه با غلظت میانگین فلزات نشان داد میانگین غلظت کلیه فلزات سنگین به استثناء برلیوم بالاتر از غلظت زمینه می‌باشد. برای فلزات روی، سرب، آرسنیک و مولیبدن غلظت میانگین بیش‌تر از غلظت میانگین فلزات سنگین در پوسته زمین است.

انحراف استاندارد غلظت فلزات در غبار پیرامون صنایع مورد بررسی با روند نزولی Al> Fe> Zn> Pb> As Be > Co > Mo> کاهش یافت. مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشان دهنده گستره تغییراتی وسیع غلظت‌های فلزاتی در غبار اطراف صنایع است که این موضوع برای عناصر آلومنیوم و آهن در این مطالعه مشاهده شد.

ضریب تغییرات (CV)، درجه تغییرپذیری غلظت‌های یک فلز را در غبار نشان می‌دهد. درصورتی که CV ≤ ۲۰٪ باشد، نشان دهنده تغییرپذیری اندک، ۲۰٪ ≤ CV ≤ ۵۰٪ تغییرپذیری متوسط و ۵۰٪ < CV ≤ ۱۰۰٪ تغییرپذیری بالا است. درحالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰٪ نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است [۲۱]. ضریب تغییرات کلیه فلزات سنگین به استثناء کبالت و برلیوم در محدوده تغییر پذیری متوسط قرار گرفت. در حالی که دو فلز کبالت و برلیوم تغییرپذیری اندکی را دارا بودند.

میزان چولگی چهار فلز روی، سرب، آرسنیک و برلیوم مثبت بود که نمایان‌گر این است که این فلزات چولگی مثبتی به سمت غلظت‌های پایین‌تر دارند. در حالی که برای فلزات دیگر نظیر آهن، کبالت، مولیبدن و آلومنیوم این مطلب صادق نمی‌باشد. میزان کشیدگی دو فلز آرسنیک و مولیبدن مثبت بود که نشان‌دهنده شیب بیش‌تر نمودار توزیع این عناصر نسبت به منحنی توزیع نرمال است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

نتیجه آزمون کلموگروف اسمیرنوف نشان داد کلیه فلزات سنگین مورد بررسی به استثناء روی (P=۰/۱۷) و کبالت (P=۰/۰۶) از توزیع نرمالی تبعیت نمی‌کنند (P <۰/۰۱) و در برخی نقاط پهنه مورد بررسی غلظت فلزات سنگین بسیار بالا یا بسیار پایین است. درصد خطای نمونه‌برداری برای کلیه فلزات سنگین به استثناء سرب و آرسنیک کم‌تر از ۱۰ درصد تخمین زده شد (جدول ۱).

جدول ۱ - آمار توصیفی فلزات سنگین غبار انتشار یافته از صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه اردکان در فصل تابستان ۱۳۹۷

آماره / عناصر	حداقل	حداکثر	میانگین	غلظت زمینه	میانگین پوسته زمین	انحراف استاندارد	استاندارد خطا چولگی	کشیدگی	نرمالیته	ضریب تغییرات	خطای نمونه برداری
واحد	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)									(درصد)	
آهن	۲۱۰۶۱	۴۵۳۲۴	۳۶۵۲۷/۹۱	۱۸۶۱۸	۵۶۳۰۰	۸۸۳۵/۶۷	۱۴۹۳/۵۱	-۰/۶۰	-۱/۳۱	۰/۰۰	۲۴/۱۸	۸/۱۷
روی	۳۳۶	۱۳۴۶	۹۶۱	۵۹	۷۰	۲۴۹/۵۹	۴۲/۱۸	۰/۰۳	-۰/۳۴	۰/۱۷	۲۵/۹۷	۸/۷۷
کبالت	۸	۱۶/۱۰	۱۳/۳۲	۸	-	۲/۱۲	۰/۳۵	-۰/۵۵	-۰/۴۰	۰/۰۶	۱۵/۹۱	۵/۳۷
سرب	۴۱	۱۰۰	۶۲/۰۸	۱۷	۱۴	۱۸/۵۷	۳/۱۳	۰/۸۶	-۰/۲۴	۰/۰۰	۲۹/۹۱	۱۰/۱۱
آرسنیک	۱۶	۳۵/۵۰	۱۹/۱۹	۹/۶۰	۱/۸	۴/۵۹	۰/۷۷	۲/۰۷	۴/۰۴	۰/۰۰	۲۳/۹۱	۱۷/۶۸
مولیبدن	۱/۰۳	۲/۷۰	۲/۲۲	۱/۰۱	۱/۵	۰/۴۸	۰/۰۸	-۱/۴۵	۱/۳۶	۰/۰۰	۲۱/۶۲	۷/۳۰
برلیوم	۱/۱۰	۱/۷۰	۱/۴۲	۳۰	-	۰/۲۰	۰/۰۳	۰/۰۶	-۱/۴۹	۰/۰۱	۱۴/۰۸	۴/۷۵
آلومنیوم	۳۱۵۳۱	۶۲۶۸۸	۴۹۷۱۳/۹۷	۸۴۹۸	۸۲۳۰۰	۱۱۶۴۸/۰۷	۱۹۶۸/۸۸	-۰/۴۴	-۱/۵۳	۰/۰۰	۲۳/۴۳	۷/۹۲

آزمون توصیفی برای تحلیل داده‌ها

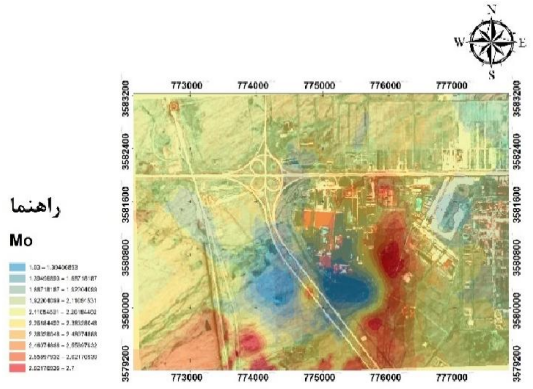
آزمون کلموگروف اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها

غلظت زمینه فلزات سنگین در خاک شهرستان اردکان یزد، اندازه گیری شده توسط سیاحتی و همکاران [۱] در عمق ۲ الی ۳ متر

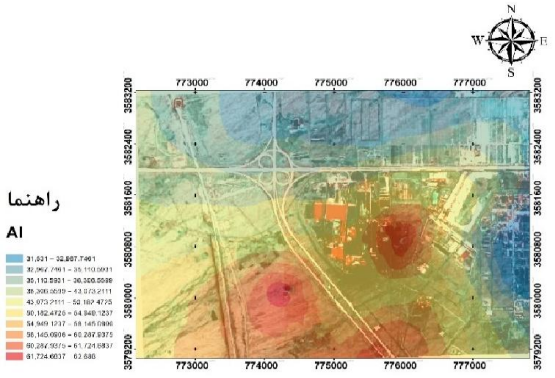
بعد از تعیین و برازش بهترین مدل با استفاده از دو شاخص RMSE و ME نتایج نشان داد بهترین مدل برای انجام پهنه‌بندی منطقه مدل جامع است. مقادیر RMSE و ME در این مدل برای فلزات آلومنیوم (به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۰۱)، روی (۰/۸۲ و ۰/۰۰)، سرب (۱/۰۸ و ۰/۰۰)، آرسنیک (۰/۷۷ و ۰/۰۰)، مولیبدن (۰/۹۶ و ۰/۰۳)، آهن (۱/۱۱ و ۰/۰۱-)، برلیوم (۱/۳۶ و ۰/۰۳) و کبالت (۰/۶۳ و ۰/۰۳-) تعیین گردید.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی غلظت هر یک از فلزات سنگین به روش زمین آمار کریجینگ با استفاده از مدل جامع در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق نتایج غلظت مولیبدن، آرسنیک، آلومنیوم و روی در نواحی نزدیک صنایع کاشی سرامیک و شن ماسه بیش‌تر از سایر نقاط می‌باشد. در حالی که غلظت سرب و برلیوم در نواحی نزدیک به صنایع فرآوری شن ماسه بیش‌تر بود. هم‌چنین نتایج نشان داد، پراکندگی کبالت و آهن در پیرامون صنایع مورد بررسی از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند.

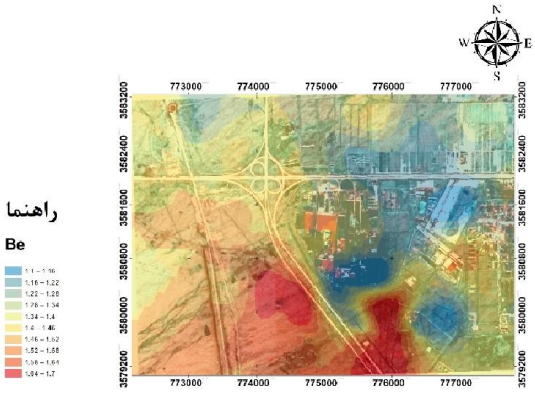
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]



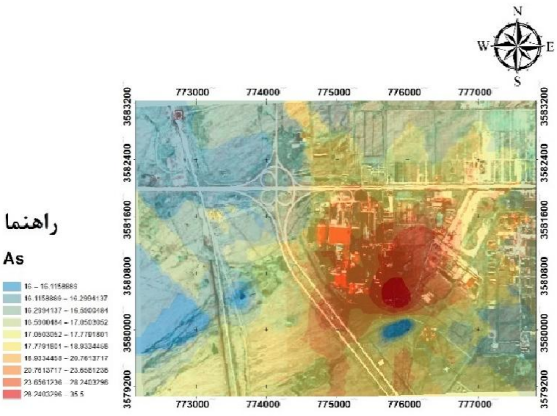
(ب)



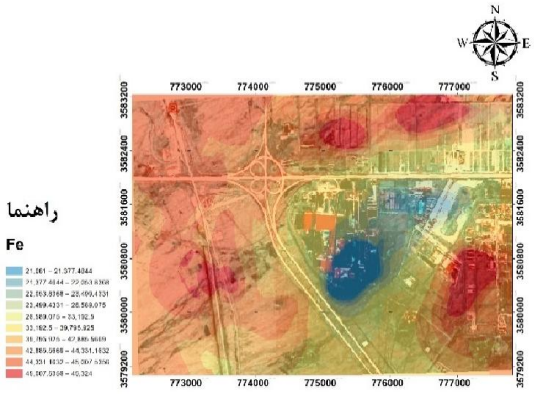
(الف)



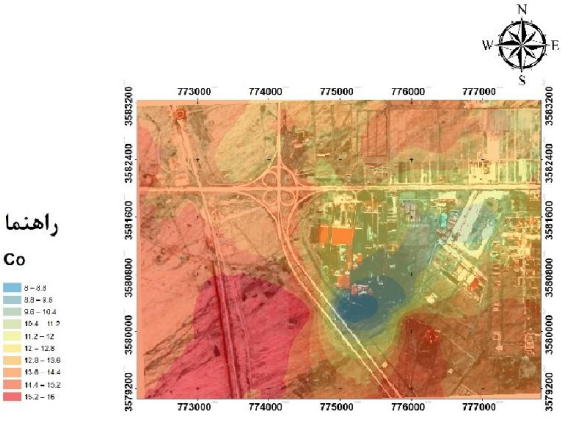
(ت)



(پ)

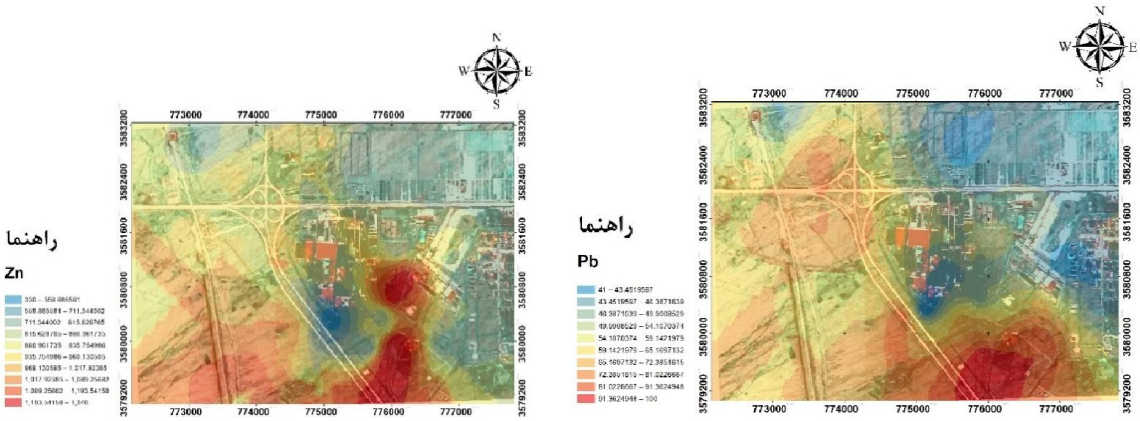


(ج)



(ث)

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]



(ح) (چ)

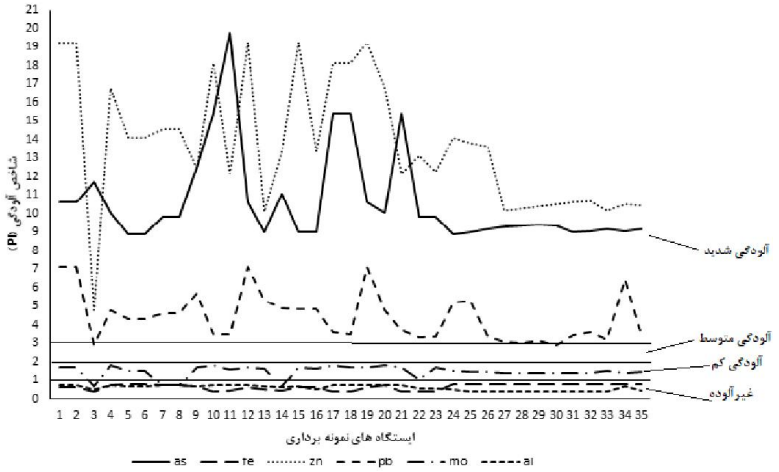
شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین به روش زمین آمار کریجینگ مدل Universal برای فلزات آلومنیوم (الف)، مولیبدن (ب)، آرسنیک (پ)، برلیوم (ت)، کبالت (ث)، آهن (ج)، سرب (چ) و روی (ح) موجود در غبار اطراف صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد در فصل تابستان ۱۳۹۷

نتایج شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین غبار انتشاریافته از صنایع مورد بررسی در ۳۵ ایستگاه نمونه برداری در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق نتایج، سرب، روی و آرسنیک در تمامی ایستگاه‌ها در محدوده شدید آلودگی این شاخص قرار دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد غلظت مولیبدن در غبار به گونه‌ای است که در محدوده غیرآلوده (۴ ایستگاه) تا کم (۳۱ ایستگاه) و دو فلز آهن و آلومنیوم در ۳۵ ایستگاه مورد بررسی در محدوده غیرآلوده قرار می‌گیرند.

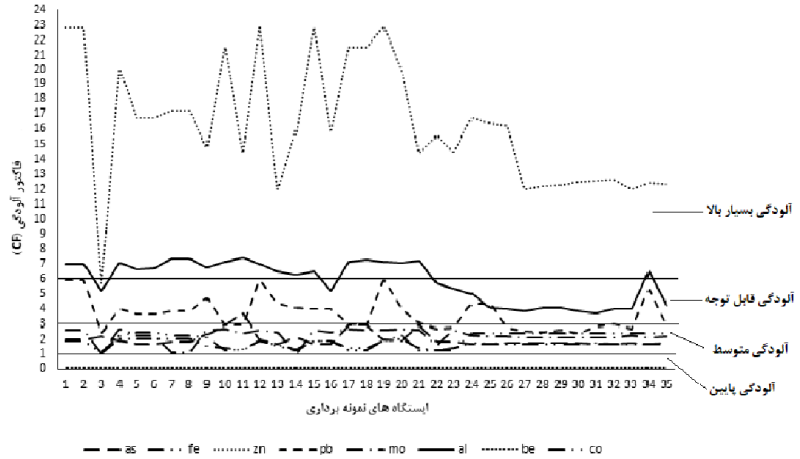
مطابق شکل ۴ تنها شاخصCF فلز روی در کلاس آلودگی بسیار بالا (۳۴ ایستگاه نمونه‌برداری) قرار دارد. این در حالی است که برلیوم در تمامی ایستگاه‌ها در کلاس آلودگی پایین قرار گرفت. برای فلز سنگین آلومنیوم کلاس فاکتور آلودگی ایستگاه‌ها از کلاس آلودگی بسیار بالا (۲۱ ایستگاه) تا قابل توجه متغیر (۱۴ ایستگاه) است.

کلاس فاکتور آلودگی فلز سنگین سرب غبار صنایع مورد بررسی از متوسط (۱۶ ایستگاه) تا قابل توجه متغیر (۱۹ ایستگاه) است. فاکتور آلودگی سایر فلزات سنگین نظیر آرسنیک، آهن، مولیبدن و کبالت در تمامی ایستگاه‌های نمونه برداری کلاس آلودگی متوسط قرار گرفت.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]



شکل۳- کلاس بندی ایستگاه‌های اطراف صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد بر اساس مقادیر شاخص آلودگی (PI) فلزات سنگین (محور افقی کد ایستگاه نمونه‌برداری و محور عمودی مقادیر شاخص PI) در فصل تابستان ۱۳۹۷



شکل ۴- کلاس‌بندی ایستگاه‌های اطراف صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد بر اساس مقادیر شاخص CF فلزات سنگین (محور افقی کد ایستگاه نمونه‌برداری و محور عمودی مقادیر شاخص CF) در فصل تابستان ۱۳۹۷

شاخص NIPI از ابعاد مختلفی قابل محاسبه است. بر اساس محاسبات مربوط به شاخص جامع آلودگی نمرو برای هر فلزات سنگین در کلیه نمونه‌های مورد بررسی، بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر این شاخص مربوط به فلزات روی و آلومنیوم است. میانگین این شاخص برای کلیه فلزات سنگین در نمونه‌ها برابر با ۶/۹۱ محاسبه گردید که در کلاس بالای آلودگی قرار داشت. سه فلز سنگین آرسنیک، سرب و روی به ترتیب با مقادیر ۱۵/۸۵، ۵/۹۴ و ۱۶/۶۹ سطح بالای از آلودگی را در غبار دارا هستند. بر عکس فلز آلومنیوم با مقادیر ۰/۶۷ بر اساس شاخص فوق در کلاس بدون آلودگی قرار می‌گیرد. فلزات سنگین دیگر نظیر آهن (با مقدار ۰/۷۲) در کلاس خطر هشدار آلودگی و فلز مولیبدن (با مقدار

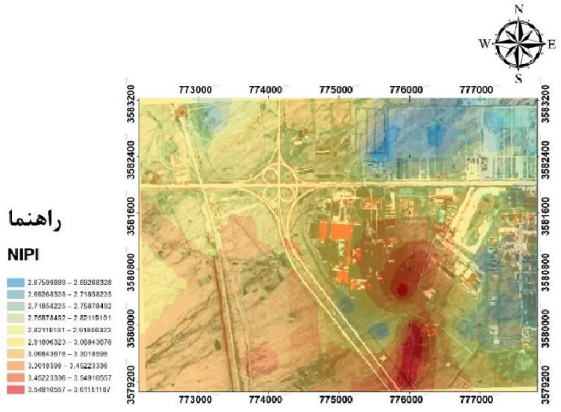
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

۱/۶۴) در کلاس آلودگی کم قرار می‌گیرند. با محاسبه شاخص NIPI برای کلیه فلزات سنگین در هر نمونه غبار، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب ۳/۶۱ و ۲/۶۷ بود. میانگین این شاخص برای کلیه نمونه‌ها برابر با ۳/۱۰ محاسبه گردید. حدود ۱۰ نمونه در کلاس متوسط آلودگی و ۲۵ نمونه غبار در کلاس آلودگی بالا قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- کلاس قرارگیری فلزات سنگین غبار صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد بر اساس شاخص NIPI در فصل تابستان ۱۳۹۷

فلزات سنگین	As	Fe	Zn	Pb	Mo	Al	نمونه (n=۳۵)
NIPI	۱۵/۸۵	۰/۷۲	۱۶/۶۹	۵/۹۴	۱/۶۴	۰/۶۷	**NIPI**
بدون آلودگی						×	-
خطر هشدار آلودگی		×					-
آلودگی کم					×		-
آلودگی متوسط							۱۰
سطح بالای آلودگی	×		×	×			۲۵

نقشه پهنه‌بندی شاخص جامع آلودگی نمرو برای ایستگاه های نمونه‌برداری در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس این شاخص با توجه به جهت باد غالب منطقه (که از سمت شمال به سمت جنوب می‌باشد) شدت آلودگی در اطراف صنایع کاشی سرامیک و شن ماسه و در پایین دست صنایع بیش‌تر می‌باشد.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شاخص جامع آلودگی نمرو در ایستگاه‌های مختلف اطراف صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد در فصل تابستان ۱۳۹۷

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های DC، MDC و PLI فلزات سنگین غبار صنایع در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس میانگین شاخص DC، MDC و PLI محاسبه شده، سطح آلودگی غبار انتشار یافته برای ۸ فلز مورد بررسی به ترتیب در کلاس آلودگی بسیار بالا (DC≥۲۴)، درجه بالا آلودگی (۴≤MDC≤۸) و آلوده (PLI>۱) قرار گرفت. ضمن اینکه از ۳۵ نمونه غبار تهیه شده، بر اساس شاخص DC، ۳۴ نمونه در کلاس بسیار بالا (۹۷/۱۴ درصد) و یک نمونه (۲/۸۵ درصد) در کلاس آلودگی قابل توجه قرار گرفت. بر اساس شاخص MDC، توزیع نمونه‌ها در کلاس‌های آلودگی به صورت، ۱۴ نمونه (۴۰ درصد) در کلاس آلودگی متوسط و ۲۱ نمونه (۶۰ درصد) در کلاس آلودگی بالا بود. هم‌چنین نتایج محاسبات مربوط به شاخص PLI باعث قرارگیری کلیه نمونه‌ها (۱۰۰ درصد) در کلاس آلوده گردید.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

جدول ۳- آماره‌های توصیفی شاخص‌های DC، MDC و PLI فلزات سنگین در غبار اطراف صنایع کاشی و سرامیک، شن و ماسه، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد در فصل تابستان ۱۳۹۷

آماره / شاخص های آلودگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
درجه آلودگی	۱۸/۷۰	۴۴/۱۸	۳۳/۶۷	۶/۲۰
درجه آلودگی اصلاح شده	۲/۳۳	۵/۵۲	۴/۲۰	۰/۷۷
بار آلودگی	۱/۲۸	۲/۳۶	۱/۹۴	۰/۲۴

آزمون توصیفی برای تحلیل داده‌ها

بحث

برای ارزیابی اثرات محیط زیستی فلزات سنگین غبارهای صنعتی، بایستی میزان غلظت فلز در غبار با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین حالت مقایسه با میانگین غلظت زمینه موجود برای همان منطقه و پوسته زمین است چراکه شرایط زمین شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را ایجاد می‌کند. نتایج این تحقیق نشان داد احتمالاً صنایع مورد بررسی غلظت فلزات سنگین در غبار را تحت تأثیر قرار داده‌اند، به طوری که میانگین غلظت چهار فلز روی، سرب، آرسنیک و مولیبدن در غبار بالاتر از میانگین غلظت آن‌ها در پوسته زمین و میانگین غلظت کلیه فلزات سنگین مورد بررسی به استثناء برلیوم بالاتر از غلظت زمینه بود که با نتایج تحقیقات Sistani و همکاران [۲۲]، Siyahati و Ardakani و همکاران [۲۳]، Sayadi و همکاران [۲۴]، Mazloomi و همکاران [۲۵] هم‌خوانی دارد.

نتایج پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در پیرامون صنایع مورد بررسی نشان داد، غلظت مولیبدن، آرسنیک، آلومنیوم و روی در نواحی نزدیک صنایع کاشی سرامیک و شن ماسه بیشتر از سایر نقاط می‌باشد که احتمالا به علت کاربرد فلزات مذکور در فرآیند تولید کاشی سرامیک در مراحل ایجاد پوشش فلزی بر روی کاشی و سرامیک (مولیبدن)، ایجاد عایق الکتریکی (اکسید آلومنیوم)، کاهش ویسکوزیته و تنش سطحی مذاب لعاب (اکسید روی) است. نتایج دیگر نشان داد که پراکندگی کبالت و آهن در پهنه مورد بررسی تقریباً یکنواخت است که احتمالاً صنایع فولاد پایین دست منطقه مورد مطالعه در افزایش غلظت این دو عنصر در محیط نقش داشته است [۳۴].

بر اساس شاخص انفرادی PI، سه فلز روی، سرب و آرسنیک در تمامی ایستگاه‌های غبارگیر دارای بالاترین سطح آلودگی (شدیداً آلوده) بودند و در بین سه عنصر روی دارای بیش‌ترین مقادیر شاخص PI بود. در حالی که از نظر شاخص انفرادی CF دو عنصر آلومنیوم و روی بالاترین میزان آلودگی دارا بودند و فلز سرب در کلاس آلودگی قابل توجه و آرسنیک در کلاس آلودگی متوسط قرار داشت. مطابق شاخص CF عنصر روی در ۹۷/۱۴ درصد نمونه‌ها و عنصر آلومنیوم در ۶۰ درصد نمونه‌ها در کلاس آلودگی بسیار بالا قرار داشتند. استفاده گسترده دو عنصر روی و آلومنیوم به

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

فرم اکسید (در کانی‌های معدنی کائولن و فلدسپات) در فرآیند لعاب‌زنی کاشی سرامیک (جلوگیری از هوازدگی و افزایش درخشش و مقاومت شیمیایی کاشی و سرامیک) و تولید شیشه احتمالاً دلیلی بر افزایش غلظت و آلودگی بالا این دو عنصر در محیط اطراف صنایع است. از آن جایی که فلزات سنگین صنایع از طریق گرد و غبار وارد خاک‌های سطحی می‌شوند؛ بنابراین غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی تقریباً برابر با غلظت فلزات سنگین در غبار است. از این رو مقایسه نتایج حاضر با نتایج محققینی که بر روی خاک‌های سطحی پیرامون صنایع مطالعه داشته اند، سودمند می‌باشد. در مطالعه Siyahati Ardakani و همکاران [۲۳] بر روی آلودگی خاک‌های سطحی اطراف صنایع گندله‌سازی و فولاد اردکان بیش‌ترین مقادیر این شاخص برای دو عنصر سرب و روی ارزیابی نمودند و در بین این دو عنصر روی بالاترین مقدار شاخص PI دارا بود. در مطالعه Javidaneh و همکاران [۲۶] بر روی آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار خیابان‌های شهر مسجد سلیمان در استان خوزستان نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار شاخص PI برای دو عنصر روی و سرب است که در کلاس آلودگی شدید بودند. نتایج آنها حاکی از آن بود که فعالیت‌های صنعتی مهم‌ترین عامل در افزایش غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار می‌باشد. Mohammad و همکاران [۱۸] در بررسی سطح آلودگی فلزات سنگین در خاک شهر صنعتی ماهشهر، کلاس آلودگی شاخص PI برای سرب بدون آلودگی تا آلودگی کم و برای روی بدون آلودگی تا آلودگی متوسط اندازه‌گیری نمودند. در مطالعات Raj و همکاران [۲۷]، بر روی شدت آلودگی فلزات سنگین در نواحی مختلف خاک کنار جاده، خاک نواحی مرکزی و زغال سنگ‌های اصلاح شده در باطله‌های معدنی، معدن زغال سنگ جهاریا هند، CF برای دو عنصر آرسنیک و روی در کلاس آلودگی قابل توجه و برای کبالت متوسط قرار دادند. Safari و همکاران [۲۸] بر اساس شاخص CF وضعیت آلودگی دو فلز سنگین سرب و روی در شهرک صنعتی روی زنجان، در اغلب نقاط در کلاس خیلی زیاد (به ترتیب ۶۸/۲ و ۶۵/۹ درصد) قرار دارند. Egbe و همکاران [۲۹] شاخص CF خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان در شمال نیجریه برای آهن و سرب در کلاس پایین و برای آرسنیک در کلاس متوسط اندازه‌گیری نمودند.

نتایج دیگر این تحقیق نشان داد بر اساس شاخص‌های تلفیقی DC و MDC، آلودگی فلزات سنگین به ترتیب در دامنه متوسط تا بالا و قابل توجه تا بسیار بالا قرار دارد. هم چنین بر اساس شاخص PLI فلزات سنگین در کلیه نمونه ها در طبقه آلوده قرار گرفتند. با مقایسه این شاخص با مناطقی که تحت تأثیر نبوده می‌توان بیان نمود که با ادامه روند کنونی در انتشار آلاینده‌ها از صنایع غیرفلزی شیشه، کاشی سرامیک، خاک چینی و شن ماسه در سال‌های آینده وضعیت آلودگی شدیدی در منطقه به خصوص در رابطه با آلودگی خاک رخ خواهد داد. Sistani و همکاران [۲۲] با استفاده از دو شاخص DC و MDC درجه آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان در کلاس پایین آلودگی قرار دارند. نتایج Hormozi و همکاران [۳۰]

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

نشان داد خاک‌های اطراف مجتمع صنایع فولاد خوزستان بر اساس شاخص DC در طبقه متوسط تا قابل توجه متغیر است. Nouroozi و همکاران [۳۱] با استفاده از شاخص MDC نشان دادند آلودگی خاک‌های سطحی به فلزات سنگین در اطراف کارخانه سیمان ایلام از کلاس غیرآلوده تا بسیار اندک متغیر است. Naeini و همکاران [۳۲] با استفاده از شاخص MDC غبار انتشار یافته از کارخانه سیمان نائین را در طبقه آلودگی با درجه مافوق زیاد طبقه‌بندی نمودند. Ghassemi Dehnavi و همکاران [۳۳] با استفاده از شاخص PLI خاک‌های سطحی اطراف تصفیه خانه کرمانشاه در سطح کیفیت نامناسب (آلوده) طبقه‌بندی نمودند.

بررسی سطح آلوگی منطقه بر اساس شاخص جامع آلودگی نمرو می‌توان از جهات مختلفی به صورت شاخص منفرد و شاخص تلفیقی بررسی نمود. بر اساس شاخص NIPI به صورت منفرد، عنصر آلومنیوم فاقد آلودگی، آهن در طبقه خطر هشدار آلودگی، مولیبدن در طبقه آلودگی کم و سه عنصر سرب، روی و آرسنیک در طبقه سطح بالای آلودگی قرار دارند. کلاس آلودگی نمونه‌های غبار از متوسط تا زیاد متغیر بود. با در نظر گرفتن شاخص PI به عنوان پایه محاسبات این شاخص، می‌توان این گونه بیان نمود که عدم وجود آلودگی تا آلودگی کم غبار نسبت به آهن، آلومنیوم و مولیبدن، نشان دهنده و تاکیدی بر آلودگی بسیار بالای فلزات سرب، روی و آرسنیک در منطقه مورد مطالعه است. در صورتی که شاخص فوق به صورت تلفیقی بررسی گردد، می‌توان سطح آلودگی کلیه فلزات سنگین غبار را در کلاس-های متوسط تا بالا کلاس بندی نمود. به طوری که مشخص گردید ۱۰ ایستگاه (نمونه غبار) در کلاس آلودگی متوسط و ۲۵ ایستگاه (نمونه غبار) در کلاس آلودگی بالا قرار دارد. Mohammad و همکاران [۱۸] با بررسی سطح آلودگی شهر صنعتی ماهشهر توانستند با استفاده از شاخص جامع آلودگی نمرو نشان دهند که کلیه نقاط نمونه برداری شده در سراسر شهر در سطح بالا آلودگی قرار دارند.

در بین شاخص‌های مذکور، اگر هدف بهترین شاخص در ارزیابی منطقه به لحاظ خطر فلزات سنگین باشد، باید به قدرت شاخص در شناسایی فلز بحرانی در هر ایستگاه، توانایی در تفکیک تعداد طبقات یا رده‌های آلودگی منطقه و نیز انعطاف پذیری شاخص در توزیع مناسب ایستگاه‌ها در طبقات مختلف، توجه نمود [۸]. به طور کلی می‌توان اذعان کرد شاخص‌های فردی PI و CF در مقایسه با شاخص‌های تلفیقی DC، MDC، PLI و NIPI این توانایی را دارند که علاوه بر طبقه‌بندی ایستگاه‌های منطقه به لحاظ خطر آلودگی، فلز بحرانی را از میان سایر فلزها مشخص نمایند. در این تحقیق دو شاخص PI و CF ایستگاه‌های نمونه‌برداری را در چهار کلاس آلودگی تفکیک نمودند. این امر نشان دهنده قابلیت بالاتر شاخص‌های PI و CF در طبقه بندی سطح آلودگی فلزات سنگین در منطقه است. شاخص‌های DC، MDC، PLI و NIPI نیز به ترتیب سطح آلودگی فلزات سنگین غبار را در ۲، ۲، ۱ و ۱ کلاس طبقه بندی کرده‌اند و می‌توان اذعان نمود شاخص NIPI با حساسیت و سخت-گیری کم‌تری به تفکیک سطح آلودگی منطقه پرداخته است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

بر اساس شاخص‌های PI و CF بحرانی‌ترین فلز سنگین در افزایش سطح آلودگی غبار، فلز روی است.

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به تخریب برخی از تله‌های چمنی توسط عوامل انسانی و هزینه‌های اجرایی این تحقیق در مرحله نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی اشاره کرد. اما ذکر این نکته، با وجود مدت زمان اندک از سال تاسیس صنایع، متاسفانه ناحیه صنعتی مورد بررسی نسبت به برخی فلزات سنگین به ویژه سرب، روی و آرسنیک در مقطع زمانی مطالعه سه ماهه فصل تابستان آلوده شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی سطح آلودگی فلزات سنگین غبار در فصول پاییز، زمستان و بهار با استفاده از شاخص‌های اکولوژیک مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های کلی این پژوهش نشان می‌دهد بر اساس شاخص اکولوژیک منفرد PI، سه عنصر روی، سرب و آرسنیک و بر اساس شاخص منفرد CF، دو عنصر آلومنیوم و روی احتمالاً در بالاترین سطح آلودگی قرار دارند. هم‌چنین نتایج حاصل از شاخص‌های اکولوژیک تلفیقی موید سطح بالای آلودگی فلزات سنگین غبار در منطقه است. نتایج دیگر نشان داد شاخص‌های اکولوژیک منفرد نسبت به شاخص‌های تلفیقی قابلیت بالاتری در تفکیک سطح آلودگی فلزات سنگین و شناسایی فلز بحرانی در میان عناصر دارند. بر اساس شاخص‌های منفرد احتمالاً فلز روی به عنوان فلز بحرانی در منطقه است.

ذکر این نکته، با پیشرفت روند فعالیت صنعتی در منطقه، احتمالا سطح آلودگی فلزات سنگین به تدریج افزایش خواهد یافت و به دنبال آن کیفیت محیط زیست و بهداشت ساکنین اطراف آن کاهش می‌یابد. بنابراین توصیه می‌شود علاوه بر شاخص‌های اکولوژیک مورد بررسی در این تحقیق، ریسک های سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی فلزات سنگین غبار هم در فصول مختلف طی یک بازده زمانی طولانی مورد بررسی قرار گیرد و با گزارش نتایج به مسئولین صنایع، اقدامات کنترلی جدی در راستای کاهش انتشار آلاینده‌ها (با به کار-گیری تکنولوژی‌های پیشرفته کنترل آلاینده‌ها) به منظور بهبود وضعیت بهداشتی ساکنین انجام دهند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه در مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۷ اجرا شده است. نویسندگان از کلیه افرادی که در جمع‌آوری نمونه‌های غبار و آنالیز فلزات سنگین یاری نمودند، نهایت سپاس و قدردانی ابراز می‌دارند.

References

[1] Siyahati Ardakani G, Mirsanjari M, Azimzadeh H, Solgi E. Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil around Major Industries of Ardakan City. *Tolooebehdasht* 2019; 7(6): 95-110. [Farsi]

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

[2] Salman SA, Zeid SA, Seleem E-MM, Abdel-Hafiz MA. Soil characterization and heavy metal pollution assessment in Orabi farms, El Obour, Egypt. *BNRC* 2019; 43(1): 42-55.

[3] Kolawole TO, Olatunji AS, Jimoh MT, Fajemila OT. Heavy metal contamination and ecological risk assessment in soils and sediments of an industrial area in Southwestern Nigeria. *JHP* 2018; 8(19): 180906.

[4] Moradi Q, Mirzaei R. Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. *IJHE* 2017; 9(4): 56-443. [Farsi]

[5] Ghanavati N. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *IJHE* 2018; 11(1): 63-74. [Farsi]

[6] Abyareh M, NejadKoorki F, Ekhtesasi M, Akhavan Ghalibaf M. Evaluation of Heavy Metals Contamination in Surface Soil Caused by Steel Industry. *JREH* 2019; 4(4): 10-303. [Farsi]

[7] Jorfi S, Maleki R, Jaafarzadeh N, Ahmadi M. Pollution load index for heavy metals in Mian-Ab plain soil, Khuzestan, Iran. *Data in Brief* 2017; 15: 584-590.

[8] Davashi L, Azimzadeh HR. investigation on soil heavy metals pollution rate around Isfahan petroleum and refinery Industries near Ghameshlou wildlife refuge. *JNE* 2015; 67(4): 403-414. [Farsi]

[9] Nik ravesh M, Karimi A, Esfandyarpur E, Fotovat A. Assessment of surface soil pollution with selected heavy metals in Semnan industrial complex and surrounding areas. *JNE* 2017; 70(1): 211-226. [Farsi]

[10] Sistani N, Moeinaddini M, Ali-Taleshi MS, Khorasani N, Hamidian AH, Yancheshmeh R. Source identification of heavy metal pollution nearby Kerman steel industries. *JNE* 2018; 70(4): 627-641. [Farsi]

[11] Kwata MG. Comparison of methods for measurement of dust deposition in South African mining sectors (Doctoral dissertation, University of Pretoria). [Thesis]. Publisher: *department of Chemical Engineering and University of Pretoria* 2014.

[12] Wysocka I, Vassileva E. Determination of cadmium, copper, mercury, lead and zinc mass fractions in marine sediment by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry applied as a reference method. *Microchemical Journal* 2016; 128: 198-207.

[13] Zare Chahooki M, Bihamta M. Principal of statistics for the natural resources science. Tehran. *Tehran University Publication* 2011; 1-322. [Farsi]

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

[14] Saedpanah M, Ghorbani F, Amanoallahi J. Source Determination, Contamination Level and Predicting of Some Inorganic Contaminants Concentration in the Top Soils of Sanandaj City. *JEHE* 2018; 5(3): 50-233. [Farsi]

[15] Weissmannová HD, Pavlovský J. Indices of soil contamination by heavy metals–methodology of calculation for pollution assessment (mini review). *EMA* 2017; 189(12): 616.

[16] Miri M, Ghaneian MT, Gholizadeh A, YazdaniAvval M, Nikoonahad A. Assessment of Spatial Analysis Methods in Mapping of Air Pollution in Mashhad. *JEHE* 2016; 3(2): 54-143. [Farsi]

[17] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research* 1980; 14(8): 975-1001.

[18] Mohammad AF, Panahpour E, Nazarpour A. The Study on the Level of Pollution and Spatial Distribution of Concentrations of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Pb and Zn) in the Industrial City of Mah-Shahr. *JNE* 2018; 71(3): 399-412. [Farsi]

[19] Abrahim G. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. [Thesis]. Publisher: *University of Auckland*; 2005.

[20] Thomilson DC, Wilson DJ, Harris CR, Jeffrey DW. Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. *H.W.M* 1980; 33(1-4): 75-566.

[21] Nezhad MTK, Tabatabaii SM, Gholami A. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *JGE* 2015; 152: 91-109. [Farsi]

[22] Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian AH, Ali-Taleshi MS, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *IJHE* 2017; 10(1): 75-86. [Farsi]

[23] Siyahati Ardakani GhR, Mirsanjari M, Azimzadeh HR, Solgi E. The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. *IJHE* 2018; 11(3): 49-464. [Farsi]

[24] Sayadi MH, Shabani M, Ahmadpour N. Pollution Index and Ecological Risk of Heavy Metals in the Surface Soils of Amir-Abad Area in Birjand City, Iran. *Health Scope* 2015; 4(1): 1-5.

[25] Mazloomi S, Esmaeili-Sari A, Bahramifar N, Moeinaddini M. Assessment of the metals and

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. *IJHE* 2017; 10(2): 92-281. [Farsi]

[26] Javidaneh Z, Zarsevandi A, Rast Manesh F. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman City, Khouzestan Province. *IJHE* 2016; 9(2): 155-70. [Farsi]

[27] Raj D, Chowdhury A, Maiti SK. Ecological risk assessment of mercury and other heavy metals in soils of coal mining area: a case study from the eastern part of a Jharia coal field, India. *HERAIJ* 2017; 23(4): 767-87.

[28] Safari Y DM, Esfandiarpour Borujeni I, Salehi MH, Owliaie HR,. Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan Zinc Industrial Town area. *JSMSP* 2016; 6(2): 119-33. [Farsi]

[29] Egbe ER, Nsonwu-Anyanwu AC, Offor SJ, Opara Usoro CA, Etukudo MH. Heavy metal content of the soil in the vicinity of the united cement factory in Southern Nigeria. *JAEHR* 2019; 7(2): 122-30.

[30] Hormozi N, Rastmanesh F, Zarasvandi A. Contamination assessment of heavy metals in the soils around Khouzestan Steel Company (Ni, Mn, Pb, Fe, Zn, Cr). *JEG* 2016; 8(2): 415-29. [Farsi]

[31] Nouroozi B, Rostami N, Tavakoli M, Rostami nia M,. Evaluation of polluting industries effects on soil heavy metals (Case Study: Ilam Cement Factory). *J Geo Environ Studies* 2016; 5(19): 89-100. [Farsi]

[32] Naeini FY, Azimzadeh H, Arani AM, Sotoudeh A, Kiani B. Ecological risk assessment of heavy metals from cement factory dust. *EHEMJ* 2019; 6(2): 1-9.

[33] Ghassemi Dehnavi A, Moradpour A, Amiri M. Distribution and source identification of heavy metals in the soil surrounding Kermanshah Refinery, Iran. *JAEHR* 2019; 7(3): 169-77.

[34] Simsek G, Arli BD, Kaya S, Colomban P. On-site pXRF analysis of body, glaze and colouring agents of the tiles at the excavation site of Iznik kilns. *JECS* 2019; 39(6): 209-2199.

.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]

Ecological Risk Assessment of Some Heavy Metals in the Dust Emitted from Non-Metallic Industries of Ardakan County of Yazd in Summer 2018: A Descriptive Study

S. Shojaee Barjoee[1], H. R. Azimzadeh[2], A. Mosleh Arani[3]

Received: 09/11/2019 Sent for Revision: 04/01/2020 Received Revised Manuscript: 22/02/2020 Accepted: 29/02/2020

Background and Objectives: Implementation of industrial development programs, without considering environmental considerations has caused continuous entrance of pollutants to air. Therefore, the purpose of this study was assessing the ecological risk of some heavy metals in the dust of a number of non-metallic industries and determining the best indices in pollution assessment of Ardakan area.

Materials and Methods: This descriptive study was conducted in the summer season of 2018 by installing dust traps around a number of non-metallic industries. After collecting dust, concentrations of zinc, lead, arsenic, aluminum, cobalt, iron, beryllium and molybdenum were measured by inductively coupled plasma mass spectrometry apparatus. Then, heavy metals pollution level was evaluated based on the number of single and integrated ecological indices. Data were analyzed using descriptive tests.

Results: The mean concentrations of zinc, lead, arsenic, aluminum, cobalt, iron, beryllium and molybdenum in all samples were measured 961, 62.08, 19.19, 13.32, 36527.91, 1.42 and 2.22 mg/kg, respectively. Based on the single pollution index, lead, zinc and arsenic elements in the class of severe pollution and based on the single index of contamination factor, two zinc and aluminum elements were in the very high pollution class. The pollution class of the integrated indices of contamination degree and modified degree of contamination varied from significant to very high and medium to high, respectively. Based on the integrated index of pollution load, all samples were in the contaminated class.

Conclusion: The single ecological indices are the best indices in assessing the severity of dust pollution of the area and among the studied elements, zinc metal was introduced as a critical metal.

Key words: Heavy metals, Industrial dust, Ecological risk assessment, Ardakan of Yazd

Funding: The Ethics Committee of Yazd University approved the study (IR.YAZD. REC.1398.027).

Conflict of interest: All of the authors declared no conflict of interest.

Ethical approval: None declared.

How to cite this article: Shojaee Barjoee S, Azimzadeh H R, Mosleh Arani A. Ecological Risk Assessment of Some Heavy Metals in the Dust Emitted from Non-Metallic Industries of Ardakan County of Yazd in Summer 2018: A Descriptive Study. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2020; 19 (2): 173-92. [Farsi]

1- MSc, Dept. of Environment, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran, ORCID: 0000-0001-7560-3154
2- Associate Prof., Dept. of Environment, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran ORCID: 0000-0001-7865-9540
(Corresponding Author) Tel: (035) 38210312, Fax:(035) 38210698, E-mail: hazimzadeh@yazd.ac.ir
3- Associate Prof., Dept. of Environment, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran ORCID: 0000-0003-3187-1100

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1399.19.2.6.1]
[DOI: 10.29252/jrums.19.2.173]