

تعیین منابع احتمالی و درجه آلودگی برخی فلزات سنگین غبار ریزشی اطراف صنایع غیر فلزی اردکان در فصل پاییز

سعید شجاعی برجوئی^۱، حمیدرضا عظیمزاده^۲، اصغر مصلح آرانی^۲

چکیده

مقدمه: فلزات سنگین غبار ریزشی از عوامل شناخته شده بیماری‌زای انسانی هستند. این مطالعه با هدف شناسایی منابع احتمالی، ارزیابی دسترس‌پذیری و درجه آلودگی فلزات سنگین غبار ریزشی با استفاده از شاخص‌های ER، CF، SDM و PERI انجام شد.

روش‌ها: پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی، تحلیلی و مقطعی بود که در فصل پاییز با نصب ۳۵ نمونه‌بردار از نوع چمن مصنوعی برای جمع‌آوری غبار ریزشی در پیرامون صنایع خاک چینی، کاشی‌سرامیک، شن ماسه و شیشه اردکان اجرا شد. غلظت فلزات سنگین در غبار با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. کلیه آنالیزهای آماری و محاسبه شاخص‌ها در نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۲ و Excel نسخه ۲۰۱۶ صورت گرفت.

نتایج: ترتیب میانگین غلظت عناصر در غبار به صورت منگنز < وانادیوم < کروم < نیکل < مس < آرسنیک < کبالت بود. مقایسه غلظت عناصر غبار با غلظت زمینه و نتایج آزمون‌های تحلیل مؤلفه اصلی و همبستگی نشان داد، غلظت کلیه فلزات غبار احتمالاً تحت تأثیر دو منبع انسان ساخت در منطقه است. بیشترین و کمترین شاخص درجه اشباع به ترتیب برای منگنز و کبالت به دست آمد. بر اساس شاخص CF فلزات منگنز، کبالت و وانادیوم به ترتیب در طبقات کم، متوسط و زیاد آلودگی بودند. همچنین آرسنیک، کروم و نیکل در کلاس‌های متوسط تا زیاد و مس در کلاس‌های کم تا زیاد دسته‌بندی شدند. بر اساس شاخص‌های ERP و PERI فلزات سنگین در کلاس کم آلودگی قرار گرفتند.

بحث و نتیجه‌گیری: صنایع مورد بررسی در این تحقیق نقش مؤثری در افزایش غلظت و تحرک فلزات سنگین غبار ریزشی دارند.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، آلودگی، غبار ریزشی، صنایع

مقدمه

اکوسیستم است (۲). منشأ چنین آلاینده‌ای ممکن است، عملیات عمرانی، احتراق سوخت‌های فسیلی در منابع خانگی و تجاری، فعالیت‌های حمل‌ونقلی و فعالیت‌های شهری باشد (۳). فلزات سنگین به عنوان یک جزء تشکیل دهنده غبار ریزشی تأثیرات زیان‌باری بر سلامتی انسان به طرق تماس پوستی بلع و استنشاقی دارند (۴). فلزات سنگین به دلیل پایداری، سمیت زیاد، تجمع‌پذیری و عدم

غبار ریزشی به عنوان یکی از آلاینده‌های اولیه هوا به آئروسول‌های با قطر آئرو‌دینامیکی بیشتر از ۱۰ میکرون گفته می‌شود که به واسطه نیروی جاذبه زمین قابلیت ترسیب پس از تعلیق موقت در هوا دارا هستند (۱). خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مورفولوژی غبار ریزشی از عوامل شناخته شده بیماری‌زا انسانی و مختل‌کننده تعادل طبیعی یک

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

نویسنده‌ی مسئول: سعید شجاعی برجوئی

Email: said.shojaee71@gmail.com

آدرس: یزد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی | تلفن: ۰۹۱۳۸۳۶۸۴۳۶ | فاکس: ۰۳۵- ۱۸۲۱۰۳۱۲

تجزیه پذیری زیستی آن‌ها در بدن موجودات زنده و سرطان‌زا و جهش‌زا بودن به یک معضل جهانی تبدیل شده است؛ به طوری که امروزه این آلاینده‌ها در تمامی عرصه‌های آبی، خاکی و سطوح مختلف زنجیره غذایی انسانی و حیوانی یافت می‌شوند (۵).

مواجهه از طریق استنشاق با شبه فلز آرسنیک سبب سرطان ریه می‌شود و بلع آن از طریق دارو، آب و غذا عاملی برای ایجاد بیماری‌های دیابت و قلبی-عروقی است (۶). عنصر مس به دلیل نقش کلیدی در ساخت آنزیم تنفسی سیتوکروم اکسیداز، یک ماده معدنی ضروری برای بدن است؛ اما دریافت بیش از اندازه آن می‌تواند سبب کمبود روی در بدن شود (۷). کروم از فلزات سنگین پرکاربرد در صنایع فولاد، ضدزنگ، دباغی، آبکاری و سرامیک فلزی است که در طبیعت به دو فرم Cr^{+3} و Cr^{+6} یافت می‌شود. فرم Cr^{+3} عنصری ضروری برای مقاومت سلول‌های بدن در برابر غلظت بالای گلوکز است در حالی که Cr^{+6} عنصری انسان‌زاد بوده که مواجهه با آن باعث جهش‌زایی، درماتیت پوستی، ناراحتی‌های گوارشی و تنفسی، اختلال در سیستم ایمنی بدن، سرطان ریه و در نهایت باعث مرگ می‌شود (۸). کبالت یکی از عناصر مهم در تولید سیانوکوبالامین بوده که در رشد و عملکرد طبیعی سلول‌های بدن به ویژه سلول‌های مغز استخوان و سیستم عصبی ضروری است؛ اما مقادیر بالای آن موجب ایجاد تغییرات ژنتیکی، سرطان، نکروز سلول‌های کلیه، اختلالات تنفسی و قلبی، کاهش وزن و بی‌اشتهایی در انسان می‌شود (۹). مواجهه با غلظت بالای منگنز باعث ایجاد بیماری‌های ریوی، فانژیت و پنومونی گاهی کشنده می‌شود. مسمومیت با این فلز به شکل بی‌حسی، بی‌اشتهایی و لاغری، اختلالات روانی، پرش‌های عضلانی،

افسردگی، لرزش و عدم تعادل ظاهر می‌شود (۱۰). اثرات بهداشتی وانادیوم وابسته به حالت اکسیداسیون است. مواجهه با غبارات اکسید وانادیوم باعث ایجاد عوارض حاد و مزمنی مانند سوزش چشم، پوست، دستگاه تنفس فوقانی و التهابات نای و نایژه، برونشیت مزمن، افزایش ضربان قلب می‌گردد (۱۱).

با تشریح اثرات نامطلوب هر یک از فلزات سنگین بر سلامت انسان، محققان زیادی متناسب با اهداف ویژه، غلظت فلزات سنگین را در اجزای مختلف محیط‌زیست مورد بررسی قرار داده‌اند. در برخی مطالعات جهت شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین موجود در رسوبات، خاک، گردوغبار و آب، اقدام به اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) کرده‌اند (۱۲). از این دسته مطالعات می‌توان به پژوهش احمدی دوآبی و همکاران (۱۳)، Tokalioğlu و Kartal (۱۴)، Han و Lu (۱۲) اشاره نمود. در برخی مطالعات دیگر شاخص‌های فاکتور آلودگی (Contamination Potential)، ریسک بالقوه اکولوژیک (CF) (Factor Potential)، شاخص ریسک بالقوه ERP (Ecological Risk Potential)، شاخص ریسک اکولوژیک (Potential Ecological Risk Index) و شاخص درجه اشباع فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به عنوان نمونه‌ای از چنین مطالعات، می‌توان به تحقیقات هرمزی‌نژاد و همکاران (۱۵)، Ogunkunle و Fatoba (۱۶)، Cai و همکاران (۱۷)، صیادی و همکاران (۱۸)، Sobhanardakani (۱۹) و Chen و همکاران (۲۰) اشاره کرد. با وجود اهمیت غبار ریزشی به عنوان یک منبع مهم ورود فلزات سنگین به اکوسیستم طبیعی و انسانی، متأسفانه اطلاعات منتشر شده‌ای درباره غبار

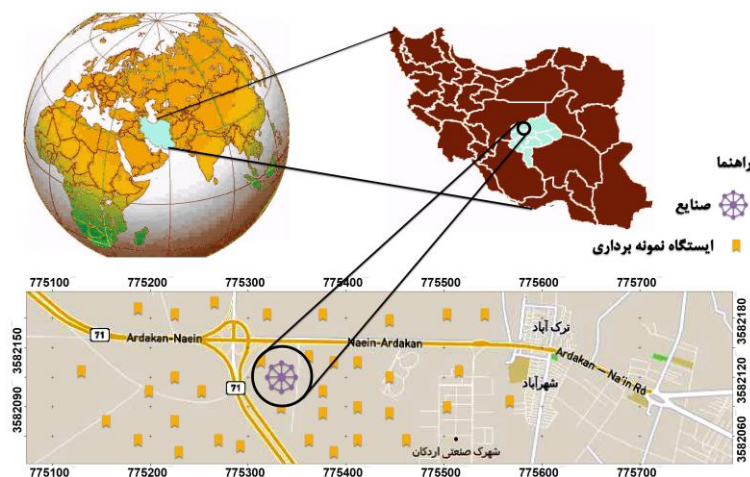
۳۲° تا " ۱۸'۴۴ ۳۲° شمالی واقع شده‌اند. صنایع فولاد در فاصله ۷ کیلومتری در نواحی غربی، صنایع فولاد آلیاژی و گندله‌سازی در فاصله ۱۲ کیلومتری در نواحی شمال غربی و شهرک صنعتی با فاصله ۲ کیلومتری از این صنایع در نواحی شرقی قرار دارند. منطقه مورد بررسی از نظر توپوگرافی مسطح بوده و اکثر اراضی اطراف صنایع از پوشش گیاهی فقیر، بیابانی و زراعی تشکیل شده است. خروج گردوغبار از دودکش‌ها و وزش بادهای شدیدی که باعث فرسایش مواد اولیه و پسماندها می‌گردد، سبب انتقال گردوغبار به نواحی دوردست به ویژه روستاهای اطراف (ترک آباد و شهرآباد) می‌شود.

نمونه‌برداری از غبار ریزشی به روش تصادفی با ایجاد شبکه ۱۰۰m × ۱۰۰m در نرم‌افزار Google Earth صورت گرفت. با بررسی‌های میدانی از منطقه مورد بررسی و شناسایی مکان‌های نامناسب (محل استقرار صنایع، جاده، در معرض دید مردم بودن و غیره) برای نصب ایستگاه‌های نمونه‌برداری، تعدادی از نقاط به طور انتخابی حذف شد. در نهایت ۳۵ نمونه‌بردار غیرفعال از نوع چمن مصنوعی نصب گردید (شکل ۱). پس از گذشت سه ماه از زمان نصب ایستگاه‌ها، نمونه‌های غبار جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید. جداسازی غبار به دو روش تکاندن چمن و شستشو آن با آب مقطر در محیطی کاملاً استریل و به دور از هر گونه آلودگی انجام شد. بعد از عملیات شستشو، نمونه‌های مرطوب غبار در آون به مدت سه روز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا کاملاً خشک شود. سپس وزن غبار ریزشی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرمی مدل GR-200 ساخت ژاپن قرائت گردید.

ریزشی پیرامون صنایع غیرفلزی اردکان به ویژه صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی، شن ماسه و شیشه در دسترس نمی‌باشد. با توجه به گزارش‌های پراکنده موجود در منابع مختلف، انتظار می‌رود فلزاتی که از گردوغبار صنایع غیرفلزی مذکور وارد بسترهای مختلف محیط‌زیست منطقه می‌شوند، قابل توجه باشد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کروم، مس، نیکل، کبالت، وانادیوم و منگنز غبار ریزشی پیرامون صنایع خاک چینی، کاشی سرامیک، شن ماسه و شیشه اردکان و منشأیابی آن‌ها با استفاده از ضریب همبستگی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت. همچنین با بررسی شاخص درجه اشباع و شاخص‌های آلودگی CF، ERP و PERI، کلاس آلودگی غبار ریزشی ارزیابی شد و بهترین شاخص آلودگی برای طبقه‌بندی منطقه از لحاظ آلودگی فلزات سنگین شناسایی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی، مقطعی بود که در پاییز سال ۱۳۹۷ اجرا شد. صنایع منتخب در این تحقیق شامل سه کارخانه کاشی و سرامیک، یک کارخانه خاک چینی، یک کارخانه فرآوری تولید شن و ماسه و یک کارخانه شیشه شهرستان اردکان استان یزد بود. آرایش مکانی صنایع مذکور به گونه‌ای بود که صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه در کنار یکدیگر بوده و با کارخانه فرآوری شن و ماسه حدود ۵۰۰ متر فاصله داشتند. صنایع مورد بررسی با فاصله ۸ کیلومتری در نواحی شمال غربی شهرستان اردکان در طول جغرافیایی " ۵۳° ۵۳'۲۳ تا " ۵۳° ۵۷'۰۴ شرقی و عرض جغرافیایی " ۲۰'۵۰



شکل ۱: موقعیت صنایع غیر فلزی و ایستگاه‌های نمونه برداری از غبار ریزشی در شهرستان اردکان

از میانگین غلظت فلزات سنگین در پروفیل‌های خاک در عمق ۲ الی ۳ متری منطقه مورد مطالعه (۲۱) به عنوان غلظت زمینه استفاده شد. چراکه اولاً در هر منطقه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ مادری با هم متفاوت بود و بهتر است از خاک همان منطقه که شاخص مناسبی برای غلظت زمینه است، استفاده کرد. ثانیاً در عمق‌های ۲ الی ۳ متر خاک منشأ سنگ مادری (لیتولوژی) داشت و میانگین غلظت فلزات سنگین دارای کمترین تغییر است؛ بنابراین به عنوان غلظت مرجع در محاسبات منظور شد.

برای تعیین میزان تحرک یا تثبیت عناصر غبار ریزشی در محیط از شاخص درجه اشباع فلزات (SDM (Saturation Degree of Metals) استفاده شد. در خاک و غبار ریزشی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، توانایی تثبیت قوی اجزاء عناصر را دارند که به میزان قابل توجهی تحرک یا تثبیت فلزات سنگین در خاک و غبار ریزشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو شاخص مذکور با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

بعد از جمع‌آوری نمونه‌های غبار، برای قرائت فلزات آرسنیک، کروم، مس، منگنز، وانادیوم، نیکل و کبالت در نمونه‌ها از دستگاه (ICP-MS)، ELAN9000، Perkin-Elmer, USA با حدود تشخیص ۰/۵ (آرسنیک)، ۱ (کروم، مس، وانادیوم، نیکل و کبالت)، ۵ (منگنز) میلی‌گرم بر کیلوگرم استفاده شد. به این صورت حدود ۰/۱ گرم نمونه غبار، با حجم کافی از محلول هضم کننده مواد جامد که شامل ۴ میلی‌لیتر HNO_3 ، ۰/۱ میلی‌لیتر HCL و یک میلی‌لیتر HF بود به ظروف تفلونی افزوده و در سیستم مایکروویو هضم نمونه‌ها صورت گرفت. پس از هضم نمونه، ظروف تفلون بر روی صفحه گرمایی سرامیکی قرار داده شد تا نمونه‌ها خشک شوند. مواد باقی مانده نهایی در HNO_3 ۰/۱۴ مولار حل شدند و سپس به بطری‌های ۵۰ میلی‌لیتری PE منتقل گردیدند و در نهایت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در نهایت غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کروم، مس، منگنز، وانادیوم، نیکل و کبالت در نمونه‌های محلول و شاهد قرائت گردید.

برای مقایسه غلظت فلزات سنگین با غلظت مرجع

$$\text{Saturation Degree of Metals} = 1000 \times \sum \left(\frac{C_i}{AW_i} \right) / \sum \left(\frac{O_i}{OAW_i} \right) \quad (1)$$

پژوهش توسط سیاحتی اردکانی و همکاران با ایجاد پروفیل یا نیمرخ خاک (گودال نمونه برداری) و نمونه برداری متناوب از لایه های خاک منطقه مورد مطالعه (در بخش های از منطقه که از لحاظ وضعیت ژئومورفولوژی یکسان و آلودگی به آن جا سرایت نکرده بود) به عمق ۲ الی ۳ متر که در آن تغییرات غلظت عناصر در لایه های فوقانی و تحتانی اندک بوده، صورت گرفته است (۲۱).

بعد از تعیین فاکتور آلودگی برای هر عنصر، ریسک اکولوژیکی عناصر مطابق رابطه ای ۳ به دست آمد.

$$ERP_i = TR_i^i \times CF_i^i \quad (3)$$

که در آن ERP_i ریسک اکولوژیکی عنصر i ، TR_i^i فاکتور پاسخ سمیت عنصر i و CF_i^i فاکتور آلودگی عنصر i می باشد. فاکتور پاسخ سمیت برای کبالت، منگنز، وانادیوم، نیکل، کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، کروم و روی به ترتیب برابر با ۵، ۱، ۲، ۵، ۳۰، ۱۰، ۵، ۲ و ۱ می باشد (۲۴).

$ERP < 40$ (ریسک کم)، $40 \leq ERP < 80$ (ریسک

متوسط)، $80 \leq ERP < 160$ (ریسک قابل ملاحظه)،

$ERP \geq 320$ (ریسک زیاد)، $160 \leq ERP < 320$

(آلودگی خیلی زیاد). در نهایت با استفاده از رابطه ۴

شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی (PERI) محاسبه گردید.

$$PERI = \sum_{i=1}^n ERP_i \quad (4)$$

در این رابطه PERI مجموع شاخص ریسک بالقوه

اکولوژیکی n عنصر و ERP_i ریسک اکولوژیکی

عنصر i می باشد. کلاس بندی ریسک اکولوژیکی بر

در این رابطه C_i غلظت فلز مورد نظر در غبار ریزشی، AW_i وزن اتمی فلز مورد نظر، O_i غلظت آهن یا آلومینیوم موجود در غبار و OAW_i وزن اتمی آهن یا آلومینیوم است. به این ترتیب، شاخص درجه اشباع بیشتر، بیانگر تحرک بیشتر فلزات سنگین غبار ریزشی در چرخه بوم شناختی از طریق ورود به خاک های سطحی منطقه است. در حالی که شاخص درجه اشباع کمتر، منعکس کننده تثبیت قوی اجزاء فلزات سنگین غبار ریزشی در خاک های سطحی و در نتیجه کاهش تحرک آن ها در محیط می باشد (۲۲).

برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در غبار ریزشی از شاخص خطر بالقوه اکولوژیکی ارائه شده توسط Hakanson (۲۳) استفاده گردید. در این شاخص هم افزایی سمیت، غلظت فلزات سنگین و حساسیت اکولوژیکی به طور جامع لحاظ شده است. بدین منظور خطر بالقوه اکولوژیکی هر عنصر (ERP) و شاخص خطر بالقوه اکولوژیکی (PERI) از طریق روابط ۲ تا ۴ به دست آمد.

$$CF_i^i = \frac{C_i}{C_{Tj}} \quad (2)$$

که در آن CF_i^i فاکتور آلودگی عنصر i ، C_i غلظت عنصر i ، C_{Tj} غلظت عنصر j در مرجع می باشد.

Hakanson، ۴ کلاس آلودگی برای شاخص CF_i^i به صورت زیر مشخص کرده است:

$CF_i^i < 1$ (آلودگی کم)، $1 \leq CF_i^i < 3$ (آلودگی متوسط)،

$3 \leq CF_i^i < 6$ (آلودگی زیاد)، $CF_i^i \geq 6$ (آلودگی خیلی

زیاد). غلظت مرجع (زمینه) مورد استفاده در این

منابع و مسیرهای عبور فلزات سنگین فراهم می‌آورد (۲۷). PCA یکی از رایج‌ترین روش‌های تحلیل چند متغیره مورد استفاده در بررسی‌های زیست‌محیطی است و هدف از به‌کارگیری آن کاهش مجموعه داده‌های اولیه به دسته‌ای از مؤلفه‌های غیر هم‌بسته، ولی با ابعاد کوچک‌تر است (۲۸). مؤلفه‌های غیر هم‌بسته‌ای به دست آمده، مؤلفه‌های اصلی (PC) نامیده می‌شوند که از بردارهای ویژه‌ای ماتریس کوواریانس یا ماتریس همبستگی متغیرهای اصلی به دست می‌آیند (۲۹). در این تحقیق برای اجرای آزمون PCA، از آزمون‌های Kaiser-Mayer-Olkin به منظور تعیین کفایت حجم نمونه برای تحلیل استفاده شد. مقدار فاکتور Kaiser-Mayer-Olkin بین ۰ و ۱ متغیر است. در صورتی که این فاکتور بزرگ‌تر از ۰/۵ به دست آید، این امر نشان دهنده امکان اجرای تجزیه به مؤلفه اصلی روی متغیرهای ورودی است. آزمون Bartlett برای نشان دادن همگنی واریانس داده‌ها است و مقادیر معنی‌داری به دست آمده برای این آزمون باید کمتر از ۰/۰۵ باشد. برای داشتن یک ساختار ساده و تفسیر بهتر نتایج آنالیز، چرخش داده‌ها از نوع واریماکس (Varimax rotation) صورت گرفت. به طوری که نقاط در یک امتداد بیشترین گسترش و کشیدگی را داشته باشند. برای تهیه نقشه‌های پهنه بندی شاخص SDM از روش درون‌یابی فاصله وزنی معکوس (Inverse Distance Weighting) در محیط GIS نسخه ۱۰/۵ استفاده شد. در این روش فرض بر آن است که با افزایش فاصله، میزان تأثیر پارامترها در برآورد سطح کاهش می‌یابد. در این روش پیش‌بینی عامل وزن بر اساس فاصله نقاط از یک دیگر تعیین می‌شود و از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل، برای پیش‌بینی

اساس PERI حاصل از عناصر با توجه به ۴ کلاس ریسک مشخص شده توسط Hakanson به صورت: $PERI < 150$ (ریسک کم)، $150 \leq PERI < 300$ (ریسک متوسط)، $300 \leq PERI < 600$ (ریسک زیاد) و $PERI \geq 600$ (ریسک خیلی زیاد) مشخص شده است (۲۵).

بعد از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و محاسبه شاخص‌های آلودگی در نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶، داده‌های به دست آمده به کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ تجزیه و تحلیل گردید. ابتدا با استفاده از رابطه حد کفایت نمونه (رابطه ۵)، درصد خطای نمونه‌برداری برای هر یک از فلزات سنگین مورد بررسی مشخص گردید (۲۶).

$$N = \frac{t^2 \times CV\%^2}{E\%^2} \quad (5)$$

در این رابطه؛ N: تعداد نمونه‌های لازم، E: درصد خطا، t: از جدول مربوطه بر اساس درجه آزادی در سطح معنی‌دار مورد نظر و CV: ضریب تغییرات است که برابر است با نسبت انحراف معیار داده‌ها به میانگین مقادیر نمونه‌گیری اولیه. در این مطالعه برای t^2 مقدار t در سطح معنی‌دار ۵ درصد برابر با ۱/۹۶ با در نظر گرفتن درجه آزادی بی‌نهایت تعیین گردید.

سپس با استفاده از آزمون نرمالیتی Kolmogorov-Smirnov نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. آماره‌هایی نظیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و خطای استاندارد، چولگی و کشیدگی برای هر یک از فلزات سنگین توصیف شد. برای بررسی منابع احتمالی انتشار فلزات سنگین از ضریب همبستگی Spearman و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. در واقع روابط درون عنصری اطلاعات جالبی را از

$CV \leq 50\%$ تغییرپذیری متوسط و $CV \leq 100\%$ تغییرپذیری بالا است. درحالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰ درصد نشان دهنده تغییرپذیری بی نهایت بالا است (۳۱).

ضرایب تغییرات غلظت فلزات در غبار ریزشی پیرامون صنایع مورد بررسی به صورت مس (۴۷/۷۵) < منگنز (۲۰/۵۰) < کروم (۱۸/۴۱) < نیکل (۱۷/۵۹) < آرسنیک (۱۲/۷۶) < وانادیوم (۱۲/۵۲) < کبالت (۱۲/۰۵) کاهش یافت. مقادیر ضریب تغییرات متوسط برای فلز مس نمایانگر این است که غلظت این فلز به طور متوسط در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت است که این مطلب نشان دهنده توزیع نسبتاً غیرهمگن این عنصر در غبار ریزشی ناحیه مورد بررسی است. برای سایر فلزات به دلیل تغییرپذیری اندک، توزیع به صورت همگن است. در واقع برای یک توزیع کاملاً متقارن چولگی صفر و برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر، چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچک‌تر، مقدار چولگی منفی است. در این مطالعه میزان چولگی کلیه فلزات سنگین به استثناء کبالت و منگنز مثبت بود که نمایانگر این است که این فلزات فراوانی بالاتری در غلظت‌های پایین دارند. میزان کشیدگی کلیه فلزات به جزء کروم و آرسنیک منفی بود که نشان دهنده شیب بازتر نمودار توزیع این عناصر نسبت به منحنی توزیع نرمال است. نتایج درصد خطای نمونه‌برداری نشان داد، از ۳۵ نمونه غبار گرفته شده برای اندازه‌گیری هر یک از فلزات سنگین، تنها درصد خطای نمونه‌برداری برای عنصر مس بیشتر از ۱۰ درصد می‌باشد و بقیه عناصر درصد خطای نمونه‌برداری کمتر از ۱۰ درصد دارند.

مکان‌های فاقد داده استفاده می‌شود؛ به عبارت دیگر به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیشتری و به نقاط دورتر وزن کمتر تعلق می‌گیرد. این روش در شرایطی نتایج مطلوب ارائه می‌دهد که با افزایش فاصله از نقاط نمونه‌برداری، وزن سلول‌ها کاهش یابد (۳۰).

نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کروم، مس، نیکل، کبالت، وانادیوم و منگنز در ۳۵ نمونه غبار ریزشی در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق نتایج، بیشترین و کمترین میانگین غلظت فلزات سنگین در غبار ریزشی مربوط به فلزات منگنز (۴۳۳/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کبالت (۱۲/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. ترتیب میانگین غلظت سایر عناصر به صورت منگنز < وانادیوم < کروم < نیکل < مس < آرسنیک < کبالت است. همچنین نتایج نشان داد میانگین غلظت کلیه فلزات سنگین مورد بررسی به استثناء منگنز بیشتر از غلظت زمینه است.

با توجه به آزمون Kolmogorov-Smirnov مشخص گردید فلزات سنگین مورد بررسی از توزیع نرمالی برخوردار نمی‌باشند ($P < 0/05$)؛ بنابراین توزیع غیرنرمال آن‌ها احتمالاً نشانگر منشأ انسان ساخت آن‌ها است (۲۱). انحراف معیار غلظت فلزات سنگین در غبار ریزشی با روند نزولی کبالت < آرسنیک < نیکل < کروم < وانادیوم < مس < منگنز کاهش یافت. مقادیر زیاد انحراف معیار نشان دهنده گستره تغییرات وسیع غلظت‌های فلزی در غبار ریزشی اطراف صنایع مورد بررسی است که این موضوع برای فلز منگنز مشاهده شد. ضریب تغییرات (CV)، درجه تغییرپذیری غلظت‌های یک فلز را در غبار ریزشی نشان می‌دهد. در صورتی که $CV \leq 20\%$ باشد، نشان دهنده تغییرپذیری اندک،

جدول ۱: آماره‌های توصیفی فلزات سنگین در غبار ریزشی فصل پاییز

آماره عناصر واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	*غلظت زمبیه (mg/kg)	انحراف معیار	استاندارد خطا	چولگی	کشیدگی	Kolmogoro Smirnov P-value	ضریب تغییرات (درصد)	درصد خطای نمونه برداری
آرسنیک	۲۲/۸۰	۳۶/۶۰	۲۷/۳۳	۲۶/۸	۹/۶	۳/۵۴	۰/۵۹	۱/۱۲	۱/۵۲	۰/۰۰	۱۲/۷۶	۴/۳۱
کروم	۴۶	۸۲	۵۷/۸۴	۵۴/۱	۲۰	۱۰/۶۵	۱/۸۰	۱/۴۰	۰/۶۹	۰/۰۰	۱۸/۴۱	۶/۰۹
مس	۲۱	۷۶	۴۲/۵۷	۳۵	۲۳	۲۰/۳۳	۳/۴۳	۰/۴۶	-۱/۳۷	۰/۰۰	۴۷/۷۵	۱۶/۱۴
نیکل	۴۰	۷۰	۵۶/۱۱	۵۲	۲۳	۹/۸۷	۱/۶۶	۰/۱۹	-۱/۳۳	۰/۰۰	۱۷/۵۹	۵/۹۴
کبالت	۱۰	۱۵/۲۰	۱۲/۸۶	۱۲/۴۳	۸	۱/۵۵	۰/۲۶	-۰/۰۹	-۰/۹۱	۰/۰۱	۱۲/۰۵	۴/۰۷
وانادیوم	۸۷	۱۲۶	۱۰۵/۸۰	۹۷	۲۴	۱۳/۲۵	۲/۲۴	۰/۳۱	-۱/۵۶	۰/۰۰	۱۲/۵۲	۴/۲۳
منگنز	۳۰۹	۵۵۷	۴۳۳/۲۷	۴۴۷	۵۵۲	۸۸/۸۸	۱۵/۰۲	-۰/۱۰	-۱/۴۳	۰/۰۰	۲۰/۵۰	۶/۹۲

* اندازه گیری شده توسط سیاحتی و همکاران در عمق ۲ الی ۳ متری خاک منطقه مورد بررسی (۲۱)

نتایج بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین غبار ریزشی با استفاده از ضریب همبستگی Spearman در جدول ۲ ارائه شد. مطابق نتایج همبستگی بین عنصر مس با نیکل، وانادیوم و منگنز، عنصر کبالت با وانادیوم و منگنز، عنصر وانادیوم با منگنز در سطح ۱ درصد معنی دار و مثبت بود که حاکی از منشأ یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم است. دو عنصر آرسنیک و کروم همبستگی معنی داری با سایر عناصر نداشتند؛ اما نسبت به یکدیگر دارای همبستگی معنی دار و منفی در سطح ۵ درصد هستند. همچنین نتایج نشان داد، همبستگی مثبت بین غلظت نیکل در سطح ۱ درصد و کبالت در سطح ۵ درصد با فاصله از صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه وجود دارد؛ اما همبستگی بین غلظت کروم در سطح ۵ درصد و مس در سطح ۱ درصد با فاصله از کارخانه فرآوری شن و ماسه معنی دار و منفی بود.

با اجرای PCA نتیجه آزمون Kaiser-Mayer-Olkin برابر با ۰/۷۱ به دست آمد؛ بنابراین حجم نمونه و همبستگی‌های موجود برای تحلیل عاملی بسیار مناسب و قابل قبول بود. نتیجه تأیید کننده این مطلب آزمون کرویت Bartlett بود که معنی دار بود ($P < ۰/۰۰۱$) و بیانگر پیروی نمودن داده‌ها از توزیع نرمال چند متغیره و عدم مستقل بودن توزیع فلزات از یکدیگر بود. از جدول بارگذاری متغیرهای مؤلفه اصلی جدول ۳ و شکل ۲ که موقعیت متغیرها را در مؤلفه‌های استخراج شده در حالت دو بعدی و به صورت نمودار نشان می‌دهد، می‌توان این‌گونه بیان نمود که آنالیزها، ۷ مؤلفه را معرفی می‌کنند که دو مؤلفه اول ۷۲/۱۹ درصد از واریانس کل را شامل شد. مؤلفه اول، با ۵۱/۷۴ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت و همبستگی بالایی برای فلزات کبالت، وانادیوم، منگنز، نیکل، کروم و مس دارد و نشان دهنده منشأ یکسان عناصر مذکور در منطقه بود. مؤلفه دوم با ۲۰/۴۵ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت تنها مربوط به آرسنیک است. عناصری که بیشترین بار هریک از مؤلفه‌ها را تشکیل داد، از نظر فضایی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و به این طریق این فلزات به احتمال زیاد از لحاظ منابع کنترل کننده یکسان بودند. به‌طور کلی، قرارگیری

نتایج بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین غبار ریزشی با استفاده از ضریب همبستگی Spearman در جدول ۲ ارائه شد. مطابق نتایج همبستگی بین عنصر مس با نیکل، وانادیوم و منگنز، عنصر کبالت با وانادیوم و منگنز، عنصر وانادیوم با منگنز در سطح ۱ درصد معنی دار و مثبت بود که حاکی از منشأ یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم است. دو عنصر آرسنیک و کروم همبستگی معنی داری با سایر عناصر نداشتند؛ اما نسبت به یکدیگر دارای همبستگی معنی دار و منفی در سطح ۵ درصد هستند. همچنین نتایج نشان داد، همبستگی مثبت بین غلظت نیکل در سطح ۱ درصد و کبالت در سطح ۵ درصد با فاصله از صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه وجود دارد؛ اما همبستگی بین غلظت کروم در سطح ۵ درصد و مس در سطح ۱ درصد با فاصله از کارخانه فرآوری شن و ماسه معنی دار و منفی بود.

با اجرای PCA نتیجه آزمون Kaiser-Mayer-Olkin برابر با ۰/۷۱ به دست آمد؛ بنابراین حجم نمونه و همبستگی‌های موجود برای تحلیل عاملی

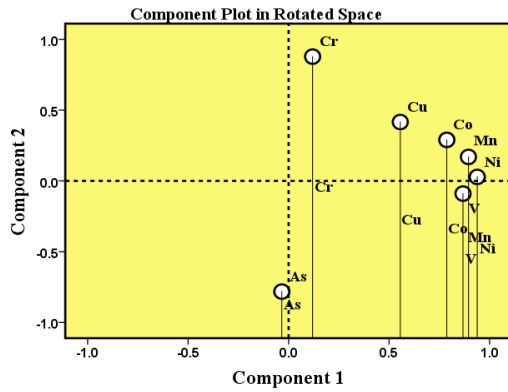
آرسنیک در یک مؤلفه جداگانه، غیرنرمال بودن توزیع آن در سراسر ایستگاه‌های پهنه مورد بررسی و همچنین به دلیل بیشتر بودن میانگین غلظت آن نسبت به غلظت زمینه، منشأ احتمالی فعالیت‌های صنعتی انسان زاد در انتشار آرسنیک به محیط را نشان می‌دهد.

جدول ۲: ضریب همبستگی Spearman بین فلزات سنگین غبار ریزشی و فاصله از صنایع غیرفلزی

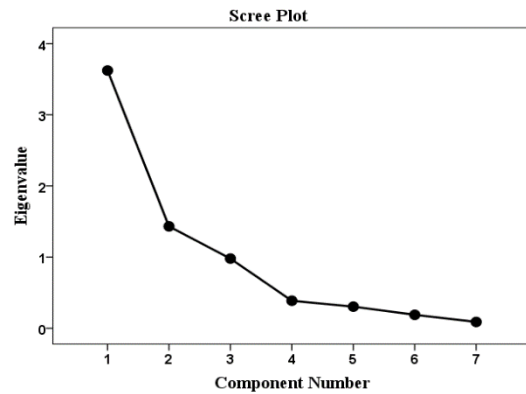
آماره عناصر	آرسنیک	کروم	مس	نیکل	کبالت	وانادیوم	منگنز
آرسنیک	۱						
کروم	-۰/۴۰ P=۰/۰۱	۱					
مس	۰/۰۸ P=۰/۶۱	۰/۲۳ P=۰/۱۸	۱				
نیکل	۰/۰۹ P=۰/۵۹	۰/۰۰۵ P=۰/۹۷	۰/۴۹ P<۰/۰۱	۱			
کبالت	-۰/۱۱ P=۰/۵۲	۰/۱۶ P=۰/۳۴	۰/۲۳ P=۰/۱۷	۰/۶۶ P<۰/۰۱	۱		
وانادیوم	۰/۰۰۴ P=۰/۹۸	-۰/۱۴ P=۰/۴۲	۰/۴۷ P<۰/۰۱	۰/۵۵ P<۰/۰۱	۰/۵۶ P<۰/۰۱	۱	
منگنز	۰/۰۰۳ P=۰/۹۸	۰/۰۴ P=۰/۸۹	۰/۵۶ P<۰/۰۱	۰/۸۰ P<۰/۰۱	۰/۵۸ P<۰/۰۱	۰/۵۹ P<۰/۰۱	۱
فاصله از کارخانه شیشه، کاشی، خاک چینی	-۰/۲۹ P=۰/۰۸	-۰/۰۳ P=۰/۸۵	-۰/۲۱ P=۰/۲۰	۰/۴۵ P<۰/۰۱	۰/۴۲ P=۰/۰۱	۰/۲۷ P=۰/۱۱	۰/۱۸ P=۰/۲۸
فاصله از کارخانه شن و ماسه	۰/۱۶ P=۰/۳۵	-۰/۴۰ P=۰/۰۱	-۰/۴۵ P<۰/۰۱	۰/۲۴ P=۰/۲۴	۰/۱۵ P=۰/۳۸	۰/۱۷ P=۰/۳۰	۰/۲۰ P=۰/۳۳

جدول ۳: تحلیل عاملی چرخش یافته فلزات سنگین غبار ریزشی پیرامون صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی، شیشه و شن ماسه

تجزیه و تحلیل عاملی در فلزات سنگین در غبار ریزشی اجزاء		فلزات سنگین
اجزاء	مؤلفه اول	مؤلفه دوم
As	-۰/۲۹	۰/۷۲
Cr	۰/۴۰	-۰/۷۸
Cu	۰/۶۶	-۰/۲۰
Ni	۰/۸۹	۰/۲۸
Co	۰/۸۳	-۰/۰۱
V	۰/۷۸	۰/۳۷
Mn	۰/۹۰	۰/۱۴



(b)

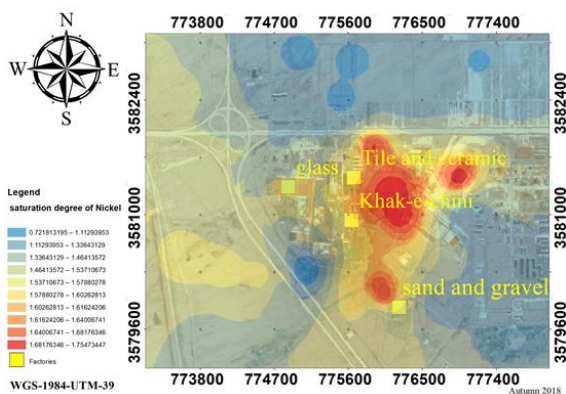


(a)

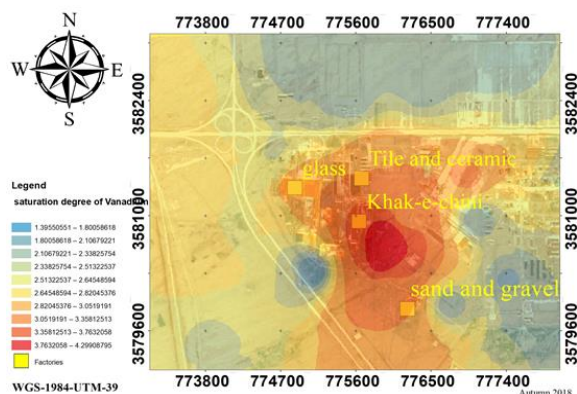
شکل ۲: نمودار شیب مربوط به مقادیر ویژه فلزات سنگین (a) و نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای فلزات سنگین مورد بررسی (b)

۷/۱۴-۳/۹۹، ۰/۱-۴۶/۶۸، ۰/۰-۲۲/۴۳، ۰/۲-۳۳/۰۸ و ۰/۸۶-۲/۳۸ بود. همچنین نتایج نشان داد در محدوده‌های نزدیک صنایع مورد بررسی، تحرک فلزات به علت بالا بودن شاخص درجه اشباع زیاد است و با فاصله گرفتن از محل استقرار صنایع شاخص درجه اشباع فلزات کاهش می‌یابد. در این حالت، از تحرک فلزات کاسته می‌شود و غبار ریزشی در فواصل دورتر بیشتر در حالت تثبیت شده است.

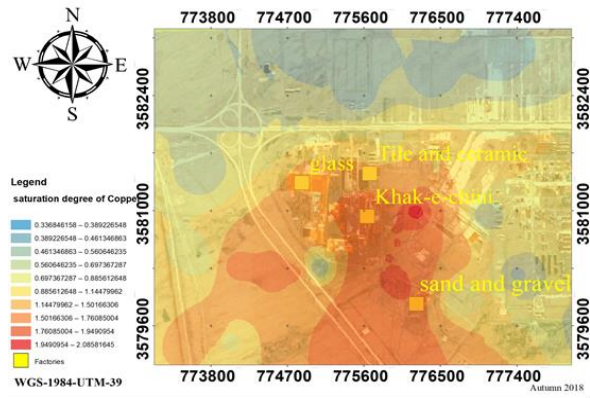
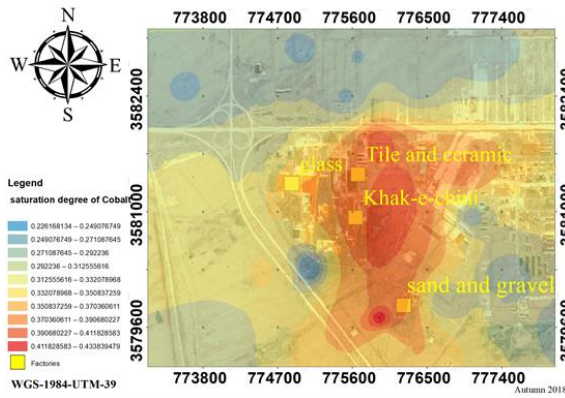
نتایج حاصل از محاسبه و پهنه‌بندی شاخص درجه اشباع فلزات سنگین غبار ریزشی پیرامون صنایع مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شد. مطابق نتایج، بیشترین و کمترین شاخص درجه اشباع به ترتیب برای به دو عنصر منگنز (۱۴/۹۹) و کبالت (۰/۲۲) تخمین زده شد و محدوده شاخص درجه اشباع برای فلزات نیکل، وانادیوم، مس، کبالت، آرسنیک، منگنز و کروم به ترتیب برابر با ۰/۷۲-۱/۷۵، ۰/۳۹-۴/۲۹،



(b)

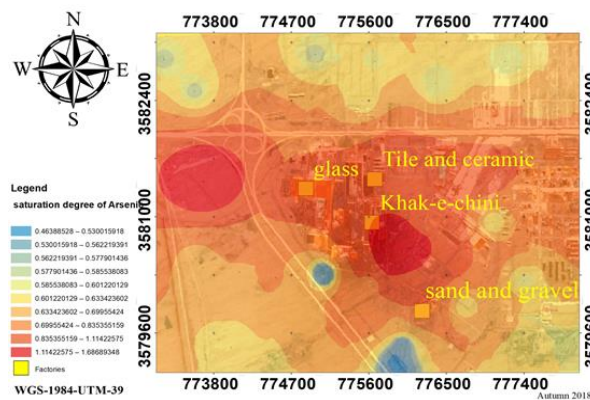
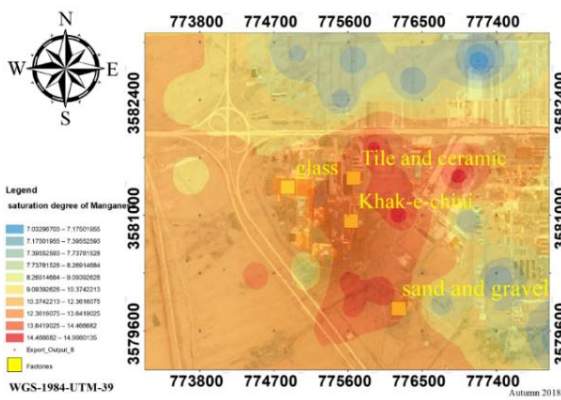


(a)



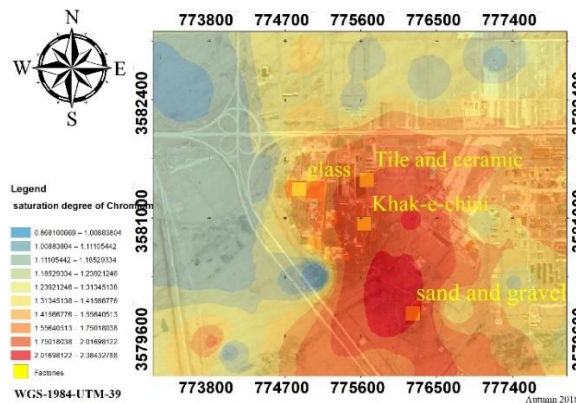
(d)

(c)



(f)

(e)



(g)

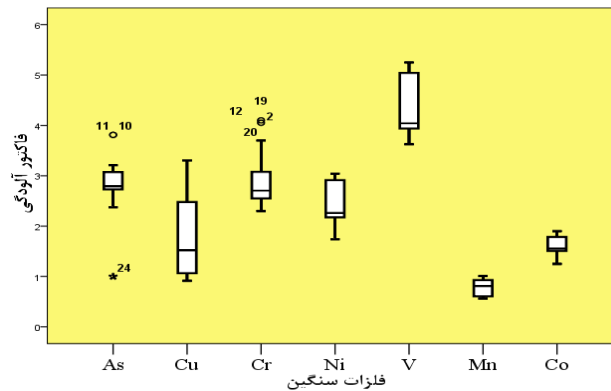
شکل ۳: پهنه‌بندی شاخص درجه اشباع فلزات سنگین وانادیوم (a)، نیکل (b)، مس (c)، کبالت (d)، آرسنیک (e)، منگنز (f) و کروم (g) پیرامون صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی، شیشه و شن و ماسه

بررسی در کلاس آلودگی کم تا زیاد قرار داشت. بیشترین و کمترین مقدار شاخص CF به ترتیب

بر اساس میانگین شاخص CF، سطح آلودگی غبار ریزشی پیرامون صنایع مورد بررسی برای ۷ فلز مورد

مربوط به مس (۰/۵۵) و وانادیوم (۵/۲۵) بود. رتبه‌بندی عناصر از نظر میانگین این شاخص به صورت وانادیوم (۴/۴۰) < کروم (۲/۸۹) < آرسنیک (۲/۸۲) < نیکل (۲/۴۳) < مس (۱/۸۵) < کبالت (۱/۶۰) < منگنز (۰/۷۸) انجام شد. ضمن این که فلز مس در ۷ (۲۰ درصد) و منگنز در ۳۵ (۱۰۰ درصد) از نمونه‌های غبار ریزشی در کلاس کم قرار داشتند. برعکس آرسنیک در ۱۱ (۳۱/۴۲ درصد)، مس در ۷

(۲۰ درصد)، کروم در ۱۱ (۳۱/۴۲ درصد)، نیکل در ۳ (۸/۵۷ درصد) و وانادیوم در ۳۵ (۱۰۰ درصد) از نمونه‌ها در کلاس زیاد این شاخص قرار گرفتند. تعداد و درصد نمونه‌هایی که برای هر یک از فلزات آرسنیک، مس، کروم، نیکل و کبالت در کلاس آلودگی متوسط قرار گرفتند به ترتیب برابر با ۲۴ (۶۸/۵۷ درصد)، ۲۱ (۶۰ درصد)، ۲۴ (۶۸/۵۷ درصد) و ۳۵ (۱۰۰ درصد) بود (شکل ۴).



شکل ۴: مقادیر فاکتور آلودگی (CF) فلزات سنگین موجود در غبار ریزشی

نتایج حاصل از شاخص ERP فلزات سنگین در جدول ۴ ارائه شد. همان‌طور که ملاحظه شد ریسک اکولوژیکی عناصر مورد بررسی در کلیه نمونه‌ها در کلاس کم آلودگی قرار دارد.

جدول ۴: آماره‌های توصیفی ریسک بالقوه اکولوژیکی (ERP) فلزات سنگین در غبار ریزشی

V	Mn	Co	As	Ni	Cr	Cu	مقادیر - عناصر
۷/۲۵	۰/۵۵	۶/۲۵	۱۰	۸/۶۹	۴/۶	۴/۵۶	حداقل
۱۰/۵	۱/۰۰	۹/۵	۳۸/۱۲	۱۵/۲۱	۸/۲	۱۶/۵۲	حداکثر
۸/۸۱	۰/۷۸	۸/۰۴	۲۸/۲۹	۱۲/۱۹	۵/۷۸	۹/۲۵	میانگین
۱/۰۸	۰/۱۵	۰/۹۵	۴/۷۸	۲/۱۱	۱/۰۵	۴/۳۵	انحراف معیار
درصد فراوانی							
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	کم
-	-	-	-	-	-	-	متوسط
-	-	-	-	-	-	-	قابل ملاحظه
-	-	-	-	-	-	-	زیاد
-	-	-	-	-	-	-	خیلی زیاد

کلاس آلودگی
ERP

با ۵۵/۲۰ و ۹۰/۱۶ ارزیابی شد. بیشترین مقادیر این شاخص در ایستگاه ۳۷۴ متری نزدیک صنایع کاشی سرامیک و خاک چینی بود (جدول ۵).

نتایج این تحقیق نشان داد شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک (PERI) فلزات سنگین مورد بررسی در کلیه نمونه‌ها در طبقه کم قرار دارد. به طوری که کمترین و بیشترین مقدار این شاخص به ترتیب برابر

جدول ۵: آماره‌های توصیفی شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک (PERI) فلزات سنگین در غبار ریزشی

تعداد نمونه‌ها (n=۳۵)				PERI			
زیاد	قابل توجه	متوسط	کم	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
-	-	-	۳۵/(۱۰۰)	۸/۳۴	۷۳/۱۷	۹۰/۱۶	۵۵/۲۰

حال فعالیت صنایع غیرفلزی مورد بررسی و صنایع فولاد و گندله‌سازی در افزایش غلظت و سمیت فلزات سنگین غبار ریزشی تأثیر معنی‌داری داشته است. مشابه این مطلب می‌توان در تحقیقات Yadegarnia Naeini و همکاران (۳۴) در شهرستان نائین استان اصفهان و اسفندیاری و همکاران (۳۵) در شهرستان اردکان استان یزد اشاره نمود.

همبستگی بین عنصر مس با نیکل، وانادیوم و منگنز، عنصر کبالت با وانادیوم و منگنز، عنصر وانادیوم با منگنز معنی‌دار و مثبت بوده که حاکی از منشأ یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم است. در حالی که دو عنصر آرسنیک و کروم همبستگی معنی‌داری با سایر عناصر ندارند که احتمالاً از منبع دیگری منشأ می‌گیرند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان دهنده دو منشأ یکسان برای فلزات سنگین کروم، مس، نیکل، کبالت، وانادیوم و منگنز در یک مؤلفه و آرسنیک در مؤلفه جداگانه دیگر است. در این راستا زمانی و همکاران (۳۶) با هدف منشأیابی فلزات سنگین کروم، منگنز، کبالت، نیکل، مس و آرسنیک در خاک سطحی اطراف کارخانه سیمان کردستان با استفاده از تحلیل

بحث

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد، غلظت کلیه فلزات سنگین غبار ریزشی به استثناء منگنز نسبت به غلظت زمینه بیشتر است که با نتایج تحقیقات Wu و همکاران (۳۲) بر روی خاک‌های شهری در کشور چین و سیاحتی و همکاران (۳۳) بر روی صنایع اصلی شهرستان اردکان استان یزد همخوانی دارد. غلظت بالای این فلزات نشان دهنده ورود عناصر از منابع آنتروپوژنیک نظیر استقرار صنایع (کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی، شن و ماسه و صنایع فولاد و گندله‌سازی) یا احتمالاً ترافیک جاده‌ای و تردد خودروهای سنگین در دو جاده میبد- اردکان و اردکان-نائین در منطقه است.

نتایج آزمون همبستگی نشان داد با فاصله از صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه، غلظت نیکل و کبالت به تدریج افزایش می‌یابد که علت آن احتمالاً به دلیل استقرار صنایع فولاد و گندله‌سازی در نواحی غربی منطقه مورد مطالعه است. از طرف دیگر غلظت دو فلز کروم و مس با فاصله از صنایع شن و ماسه به تدریج کاهش یافت. احتمالاً ساختار زمین‌شناسی منطقه نقش کمتری را در آلودگی غبار دارد، با این

غلظت فلزات سنگین منطقه نقش داشته است. همچنین وجود فلزات سنگین نظیر وانادیوم، کبالت و آرسنیک در مواد اولیه و افزودنی‌های مورد استفاده در فرآیندهای تولید محصول صنایع کاشی سرامیک و شیشه احتمالاً از دیگر دلایل افزایش غلظت این فلزات در محیط است.

از دیگر دستاوردهای تحقیق حاضر تعیین بیشترین و کمترین شاخص درجه اشباع به ترتیب برای دو عنصر منگنز و کبالت بود. بیشترین مقادیر این شاخص در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نزدیک صنایع مورد مطالعه به دست آمد که با فاصله از صنایع به تدریج از مقادیر این شاخص کاسته شد. مشابه این مطلب در تحقیقات هرمزی‌نژاد و همکاران (۱۵)، Yuan-Gen PH و همکاران (۲۲) و کارگر و راست‌منش (۳۹) منعکس شده است. با توجه به این که pH خنثی تا بازی، از تحرک عناصر در خاک می‌کاهد؛ اما بافت ماسه‌ای خاک منطقه سبب محدودیت در ظرفیت بافری خاک شده است. در نتیجه فلزات سنگین غبار ریزشی با ورود به خاک‌های سطحی و در نتیجه آبشویی در اثر بارندگی باعث آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی و انتقال فلزات به محصولات کشاورزی و انسان می‌شوند.

با توجه این که تعیین غلظت عناصر آلاینده به تنهایی نمی‌تواند برآورد درستی از میزان آلودگی آن‌ها باشد. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است؛ زیرا شرایط اقلیمی و زمین‌شناختی در نقاط مختلف، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد خواهد کرد (۳۵). از این رو یکی از شاخص‌های که در این مطالعه برای ارزیابی آلودگی منطقه مورد بررسی قرار گرفت، فاکتور آلودگی بود که مقادیر آن برای فلزات سنگین مورد بررسی در کلاس‌های کم

مؤلفه‌های اصلی توانستند سه منبع اصلی تعیین کنند. آنان بیان داشتند، احتمالاً فعالیت‌های انسانی و زمین‌شناختی در پخش فلزات دخیل هستند. هرمزی‌نژاد و همکاران (۱۵) با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی سه منبع آلودگی برای عناصر جزئی در خاک‌های سطحی اطراف مجتمع صنایع فولاد خوزستان مشخص کردند. همچنین در تحقیق آنان مشخص شد منشأ نیکل دو عامل انسان‌زاد و زمین‌زاد، منشأ منگنز انسان‌زاد و منشأ کروم زمین‌زاد است. جعفری و خادمی (۳۷) طی بررسی گردوغبار اتمسفری کرمان با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی توانستند منبع طبیعی برای نیکل و منگنز و منبع انسانی برای مس مشخص نمایند.

با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر غلظت زمینه، ضریب همبستگی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و غیرنرمال بودن غلظت فلزات در تمامی ایستگاه‌ها، برآیند کلی نتایج این پژوهش نشان دهنده منشأ انسان‌زاد (نظیر فعالیت صنایع غیرفلزی، تردد خودروها و ترافیک و غیره) فلزات بود. در این راستا سیاحتی و همکاران (۲۱) همبستگی بین جفت عنصر وانادیوم، نیکل و افزایش غلظت آرسنیک در خاک را ناشی از فعالیت صنعتی به ویژه فعالیت صنایع فولاد و گندله‌سازی دانستند. محمدی و همکاران (۳۸) همبستگی قوی بین فلزات مس، کروم، نیکل و کبالت در خاک‌های سطحی کنار جاده‌ای در اطراف آزاد راه رشت - قزوین را ناشی از انتقال آن‌ها از فعالیت‌های انسانی در منطقه نظیر فعالیت‌های کشاورزی، احتراق سوخت‌های فسیلی و انتشارات ناشی از حمل‌ونقل دانستند. در مطالعه حاضر احتمالاً تردد خودروها در بزرگراه‌های میبد-اردکان و اردکان نائین (که در نزدیکی صنایع مورد بررسی واقع شده‌اند) در افزایش

تا زیاد قرار گرفت. بیشترین و کمترین مقدار شاخص CF به ترتیب برای مس (۰/۵۵) و وانادیوم (۵/۲۵) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد ریسک بالقوه اکولوژیکی هر یک از فلزات سنگین در غبار ریزشی در سطح کم آلودگی قرار دارد. در این راستا سیاحتی اردکانی و همکاران (۳۳) فاکتور آلودگی عناصر کروم، آرسنیک، نیکل و وانادیوم خاک سطحی اطراف صنایع اصلی اردکان را در کلیه مسیرهای نمونه برداری در کلاس متوسط و ریسک بالقوه اکولوژیکی آن‌ها را در اکثر مسیرهای نمونه برداری در کلاس کم تخمین زدند. محمدی و همکاران (۳۸) در بررسی پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین روی، کروم، وانادیوم، مس و کبالت در خاک‌های سطحی اطراف آزاد راه رشت - قزوین به این نتیجه رسیدند که آلودگی فلزات در کلاس کم است. قنواتی و همکاران (۴۰) با ارزیابی پتانسیل ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین نیکل، مس، کروم و آرسنیک در خاک کنار جاده‌ای شهر اهواز متوجه شدند که ریسک سمیت دو عنصر نیکل و آرسنیک در کلاس کم و مس در کلاس زیاد و کروم در کلاس قابل ملاحظه قرار دارد. در مطالعه حاضر شاخص‌های تلفیقی به ویژه شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی (PERI) به دلیل عدم تمرکز بر آلودگی یک عنصر خاص، در ارزیابی آلودگی مناطق مختلف صنعتی مورد استفاده قرار گرفت (۴۱). در این مطالعه شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی (PERI) کلیه فلزات سنگین مورد بررسی در کلاس کم آلودگی قرار گرفت. قنواتی (۴۲) حداقل، حداکثر و میانگین شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی (PERI) فلزات سنگین گردوغبار خیابان‌های شهر آبادان را به ترتیب ۱۱۵/۰۲، ۳۳۰/۰۴ و ۱۵۹/۴۱ اندازه‌گیری نمود که حدود ۱۷ نمونه

(۵۶/۶۶ درصد) در ریسک کم، ۱۲ نمونه (۴۰ درصد) در ریسک متوسط و ۱ نمونه (۳/۳۴ درصد) در ریسک قابل توجه قرار داشتند. در حالی که در پژوهش حاضر ۳۵ نمونه جمع‌آوری شده در کلاس کم شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی (PERI) قرار گرفت.

به طور کلی می‌توان اذعان نمود، اگر هدف شناسایی 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 با رده‌های آلودگی منطقه و نیز انعطاف شاخص در توزیع مناسب ایستگاه‌ها در طبقات مختلف توجه نمود (۴۳). یکی از دستاوردهای این پژوهش این بود که نشان داد شاخص CF در مقایسه با شاخص‌های ERP و PERI این توانایی را دارد که علاوه بر طبقه‌بندی ایستگاه‌های منطقه به لحاظ خطر آلودگی، این نکته را نمایش دهد که در ایستگاه‌های آلوده، بحران از کدام فلز ایجاد شده است و همچنین قادر است فلز بحرانی را از میان سایر فلزها مشخص نمایند. این قابلیت به مدیران در برنامه‌ریزی و انتخاب نوع فعالیت برای جلوگیری از انتشار یک فلز خاص کمک می‌نماید. شایان ذکر است هر اندازه یک شاخص بتواند کلاس‌های بیشتری در آلودگی منطقه معرفی نماید و به نحو مطلوب‌تری ایستگاه‌ها را در کلاس‌ها توزیع کند، برای مدیران و برنامه‌ریزان منطقه کارآمدتر است؛ چراکه اولویت‌بندی اقدامات و گزینه‌های تصمیم‌گیری بیشتری در اختیار آن‌ها خواهد بود (۴۳). در این پژوهش شاخص‌های CF، ERP و PERI به ترتیب منطقه را در ۳، ۱ و ۱ کلاس آلودگی طبقه‌بندی نمودند و می‌توان گفت شاخص ERP و

دارند. با این وجود، شاخص CF به علت انعطاف پذیری بیشتر در شناسایی فلز بحرانی (وانادیوم) عملکرد بالاتری را در منطقه دارد. از دیگر دستاوردهای این تحقیق، کاهش میزان تحرک فلزات سنگین غبار ریزشی با افزایش فاصله از صنایع بود. با توجه به پارامترهای نظیر ضریب همبستگی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، غیرنرمال بودن داده‌ها و غلظت زمینه دو منشأ احتمالی انسان‌زاد برای فلزات سنگین غبار ریزشی مشخص شد.

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 انجام این پژوهش یاری نمودند، نهایت سپاس و قدردانی ابراز می‌دارند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌نمایند که تضاد منافی در این تحقیق وجود ندارد.

PERI با حساسیت و سخت‌گیری کمتری به تفکیک آلودگی منطقه پرداخته است. علاوه بر طبقه‌بندی منطقه در کلاس‌های آلودگی مختلف، شاخص CF انعطاف‌پذیری بیشتری در شناسایی فلز بحرانی در هر ایستگاه دارد. بر اساس این شاخص وانادیوم به عنوان یک فلز بحرانی شناسایی شد.

اغتشاشات عوامل انسانی و طبیعی در مرحله نمونه‌برداری از غبار ریزشی، هزینه بالای تجهیزات و مواد آزمایشگاهی و خطای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از محدودیت‌های اصلی این پژوهش است.

نتیجه‌گیری

فلزات سنگین غبار ریزشی اطراف صنایع مورد بررسی از نظر پتانسیل ریسک اکولوژیکی در کلاس بالای آلودگی قرار ندارد؛ اما بر اساس شاخص منفرد فاکتور آلودگی برای هر یک از فلزات سنگین مشخص گردید سه فلز منگنز، کبالت و وانادیوم به ترتیب در طبقات کم، متوسط و زیاد آلودگی قرار دارند. همچنین آرسنیک، کروم و نیکل در کلاس‌های متوسط تا زیاد و مس در کلاس‌های کم تا زیاد قرار

References

- Shen C, Beer J, Kubik P, Sun W, Liu T, Liu K. ¹⁰Be in desert sands, falling dust and loess in China. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 2010;268(7-8):1050-53. doi:10.1016/j.nimb.2009.10.095.
- Kermani M, Farzadkia M, Rezaei Kalantari R, Bahmani Z. Assessment risk of heavy metals in particulate matter smaller than 10 microns on Tehran's Kahrizak compost Complex worker in winter 2016. *Iran Occupational Health* 2018;15(2):143-52. [In Persian]
- Zhang K, Chai F, Zheng Z, Yang Q, Zhong X, Fomba KW, et al. Size distribution and source of heavy metals in particulate matter on the lead and zinc smelting affected area. *J Environ Sci (China)* 2018;71:188-96. doi: 10.1016/j.jes.2018.04.018.
- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, MoslehArani A, Sodaiezadeh H. Dispersion and health risk assessment of PM₁₀ emitted from the stacks of a ceramic and tile industry in ardakan, Yazd, Iran, using the AERMOD Model. *Iran South Med J* 2019;22(5):317-32. [In Persian] doi: 10.29252/ismj.22.5.317
- Hu W, Chen Y, Huang B, Niedermann S. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from a typical greenhouse vegetable production system in China. *Human and Ecological risk Assessment: An International Journal* 2014;20(5):1264-80. doi: 10.1080/10807039.2013.831267
- Kuo CC, Howard BV, Umans JG, Gribble MO, Best LG, Francesconi KA, et al. Arsenic exposure, arsenic metabolism, and incident diabetes in the

- strong heart study. *Diabetes Care* 2015;38(4):620-7. doi: 10.2337/dc14-1641.
7. Attaeian B, Mortazavi S, Farokhzadeh B, Khorsand M. Evaluation and mapping spatial distribution of copper pollution in soil and water of Vineyard Garden. *Journal of Environmental Health Engineering* 2019;6(3):293-310. [In Persian] doi: 10.29252/jehe.6.3.293
8. Duan L, Gu W, Wang C, Shi Y, Xu Y, Zhang H. Short-term exposure health effect of chromium in drinking water. *Wei Sheng Yan Jiu* 2019;48(2):295-302. [In Chinese]
9. Leyssens L, Vinck B, Van Der Straeten C, Wuyts F, Maes L. Cobalt toxicity in humans-A review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicology* 2017;387:43-56. doi: 10.1016/j.tox.2017.05.015.
10. Santos-Burgoa C, Rios C, Mercado LA, Arechiga-Serrano R, Cano-Valle F, Eden-Wynter RA, et al. Exposure to manganese: health effects on the general population, a pilot study in central Mexico. *Environ Res* 2001;85(2):90-104. doi: 10.1006/enrs.2000.4108
11. Fortoul TI, Rojas-Lemus M, Rodriguez-Lara V, Gonzalez-Villalva A, Ustarroz-Cano M, Cano-Gutierrez G, et al. Overview of environmental and occupational vanadium exposure and associated health outcomes: an article based on a presentation at the 8th International Symposium on Vanadium Chemistry, Biological Chemistry, and Toxicology, Washington DC, Aug 15-18, 2012. *J Immunotoxicol* 2014;11(1):13-8. doi: 10.3109/1547691X.2013.789940.
12. Han X, Lu X. Spatial distribution, environmental risk and source of heavy metals in street dust from an Industrial city in semi-arid area of China. *Archives of Environmental Protection* 2017;43(2):10-9. doi: 10.1016/j.csr.2019.104036
13. Ahmadi Doabi S, Afyuni M, Khademi H, Karami M. Statistical analysis of heavy metal contamination in atmospheric dusts of Kermanshah Province, Iran. *JWSS-Journal of Water and Soil Science* 2016;20(76):29-43. [In Persian] doi:10.18869/acadpub.jstnar.20.76.29.
14. Tokaloğlu Ş, Kartal Ş. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial district in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment* 2006;40(16):2797-805. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.019
15. Hormozi Nejad F, Rastmanesh F, Zarasvandi A. Contamination assessment of heavy metals in the soils around Khouzestan steel company (Ni, Mn, Pb, Fe, Zn, Cr). *Journal of Economic Geology* 2016;8(2):415-29. [In Persian] doi.org/10.22067/econg.v8i2.36862
16. Ogunkunle CO, Fatoba PO. Pollution loads and the ecological risk assessment of soil heavy metals around a mega cement factory in Southwest Nigeria. *Pol J Environ Stud* 2013;22(2):487-93.
17. Cai k, Li C, Na S. Spatial distribution, pollution source, and health risk assessment of heavy metals in atmospheric depositions: a case study from the sustainable city of Shijiazhuang, China. *Atmosphere* 2019;10(222):1-15. doi: 10.3390/atmos10040222
18. Sayadi MH, Shabani M, Ahmadvpour 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):ee21137. doi: 10.17795/jhealthscope-21137.
19. Sobhanardakani S. Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Atmospheric Dry Deposition in Hamedan City, J Kermanshah Univ Med Sci 2018; 22(1):e69642. doi: 10.5812/jkums.69642.
20. Chen X, Guo M, Feng J, Liang S, Han D, Cheng J. Characterization and risk assessment of heavy metals in road dust from a developing city with good air quality and from Shanghai, China. *Environ Sci Pollut Res Int* 2019;26(11):11387-98. doi: 10.1007/s11356-019-04550-2.
21. Siyahati Ardakani GhR, Mirsanjari, Azimzadeh HR, Solgi E. The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. *Iranian Journal of Health and Environment* 2018;11(3):464-49. [In Persian]
22. Yuan-Gen Y, Zhi-Sheng J, Xiang-Yang B, Fei-Li L, Li S, et al. Atmospheric deposition-carried Pb, Zn, and Cd from a zinc smelter and their effect on soil microorganisms. *Pedosphere* 2009;19(4):422-33. doi:10.1016/S1002-0160(09)60135-1.
23. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001. https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8.
24. Afshari A, Khademi H, Hojati S. Assessment of heavy metals pollution Risk in soils of central Zanjan province based on pollution indices. *Journal of Water and Soil Conservation* 2016;22(6):21-40. [In Persian]
25. Yang Z, Wang Y, Shen Z, Niu J, Tang Z. Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China. *J Hazard Mater* 2009;166(2-3):1186-94. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.12.034.
26. Zare Chahooki M, Bihanta M. *Principals of Statistics for the Natural Resources Science*. Tehran: University of Tehran Press; 2015. [In Persian]
27. Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW

- China. *J Hazard Mater* 2009;161(2-3):1058-62. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.052.
- 28.** Vaghefi M, Ahmadabadi A, Fathnia A, Ghodsian M. Comparison of Interpolation Methods in Study of Bed Topography on Channels Bend. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 2009;3(6):17-27. [In Persian]
- 29.** Shaviklo AR. Analyses of sensory evaluation data using Principal Component Analysis (PCA). *Journal of Food Science and Technology* 2018;15(80):361-77. [In Persian]
- 30.** Vaghefi M, Ahmadabadi A, Fathnia A, Ghodsian M. Comparison of Interpolation Methods in Study of Bed Topography on Channels Bend. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 2009;3(6):17-27. [In Persian]
- 31.** 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. *Iranian Journal of Health and Environment* 2017;10(1):75-86. [In Persian]
- 32.** Wu S, Peng S, Zhang X, Wu D, Luo W, Zhang T, et al. Levels and health Risk assessments of heavy metals in urban soils in Dongguan, China. *Journal of Geochemical Exploration* 2015;148:71-8. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.08.009
- 33.** Siyahati Ardakani G, Mirsanjari M, Azimzadeh H, Solgi E. Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil around Major Industrial of Ardakan City. *Toloo-e-Behdasht* 2019;7(6):95-110. [In Persian] doi:10.18502/tbj.v17i6.501
- 34.** Yadegarnia Naeni F, Azimzadeh H, Mosleh Arani A, Sotoudeh A, Kiani B. Ecological risk assessment of heavy metals from cement factory dust. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 2019; 6(2): 129-37. doi: 10.15171/EHEM.2019.15.
- 35.** Esfandiari M, Sodaeizadeh H, Mokhtari MH. Accumulation of heavy metals in Mondell Pine (*Pinus eldarica*) leaves and bark at different distances of Yazd Highway Green Belt. *Forest and Wood Products* 2019;72(1):9-20. [In Persian] doi:10.22059/JFWP.2018.266634.963
- 36.** Zamani AA, Ahmadpour E, Zanganeh A, Khosravi Y. Mapping the heavy metals proportions in surface soils of the closed Kurdistan cement factory zone. *Journal of Research in Environmental Health* 2017;3(1):40-55. [In Persian] doi: 10.22038/JREH.2017.21410.1125
- 37.** Jafari F Khademi H. Source identification of selected heavy metals in atmospheric dust of Kerman city. *Environmental Sciences* 2013;12(3):73-8. [In Persian]
- 38.** Mohamadi M, Ghasemi R, Naeimi M. distribution pattern of heavy metals in roadside topsoils around the Rasht-Qazvin freeway. *Journal of Health* 2018;9(3):249-58. [In Persian] doi:10.29252/j.health.9.3.249
- 39.** Sareh Karegar F, Rastmanesh F. Heavy Metals of Concentration in Contaminated Soils due to Zinc smelter Plant activity in gheshm island. *Journal of Advanced Applied Geology* 2011;6:1-10. [In Persian]
- 40.** Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T. Assessment of the ecological and health risk of some heavy metals in roadside soils of Ahvaz, Iran. *Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 2019;16(4):373-90. [In Persian]
- 41.** Zhang C, Yang Y, Li W, Zhang C, Zhang R, Mei Y, et al. Spatial distribution and ecological Risk assessment of trace metals in urban soils in Wuhan, central China. *Environmental Monitoring and Assessment* 2015;187(9):556. doi:10.1007/s10661-015-4762-5
- 42.** Ghanavati N. Human health Risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment* 2018;11(1):63-74. [In Persian]
- 43.** Marofi S, Abbasi M, Karimi R. Evaluation of heavy metal contamination ecological Risk in a food-producing Ecosystem. *Journal of health Research in Community* 2017;3(2):1-16. [In Persian]

Determination of possible sources and degree of contamination with heavy metals in falling dust around Ardakan Non-metallic Industries in the autumn

Saeed Shojaaee Barjoe¹, HamidReza Azimzadeh², Asghar Mosleh Arani²

Abstract

Background: Heavy metals in falling dust are known pathogens for humans. The aim of this study was to identify potential sources, availability assessment, and degree of contamination of heavy metals in falling dust using SDM, CF, ER, and PERI indices.

Methods: This descriptive-analytical cross-sectional study was carried out in autumn by installing 35 samplers of artificial grass to collect falling dust around Khak-e-chini, ceramic tile, sand and gravel, and Ardakan Glass industries. Heavy metals concentration in dust was measured using ICP-MS. All statistical analyses and calculations of indices were performed in SPSS 22 and Excel 2016.

Results: The order of mean concentration of elements in the dust was manganese> vanadium> chromium> nickel> copper> arsenic> cobalt. Comparison of the concentration of dust elements with the background concentration and the results of principal component analysis and correlation tests showed that the concentration of all metals in the dust is probably influenced by two man-made sources in the area. The highest and lowest saturation degrees obtained were for manganese and cobalt, respectively. Based on the CF index, the manganese, cobalt, and vanadium were in low, medium, and high levels of pollution, respectively. Also, Arsenic, chromium, and nickel were classified in medium to high and copper in low to high classes. According to ERP and PERI indices, all heavy metals were classified in low pollution class.

Conclusion: The investigated industries in this study have an important role in increasing the concentration and mobility of heavy metals in falling dust.

Keywords: Heavy metals, Pollution, falling dust, Industries

Citation: Shojaaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A. Determination of possible sources and degree of contamination with heavy metals in falling dust around Ardakan Non-metallic Industries in the autumn. Health and Development Journal 2020; 9(2): 214-32. [In Persian] doi: 10.22034/9.2.214

© 2020 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1- MSc Student, Environmental Sciences, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

2- Associate Professor, Department of Environmental Sciences, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

Corresponding Author: Saeed Shojaaee Barjoe

Email: said.shojaaee71@gmail.com

Address: Department of Environment, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

Tel: 09138368436

Fax: 035-18210312