



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی محیط زیستی برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله‌سازی و فولادسازی اردکان

غلامرضا سیاحتی اردکانی<sup>۱</sup>، میرمهرداد میرسنجری<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا عظیم‌زاده<sup>۲</sup>، عیسی سلگی<sup>۱</sup>  
۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران  
۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: استقرار کارخانه‌های گندله‌سازی و فولاد در حاشیه شهر اردکان احتمال انتشار آلاینده‌های مختلف به‌ویژه فلزات سنگین را به محیط پیرامونی افزایش داده است. هدف از این پژوهش ارزیابی وضعیت آلودگی خاک حاشیه این صنایع به عناصر سنگین با استفاده از شاخص آلودگی (PI)، شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)، شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) و شاخص غنی‌شدگی (EF) است.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۰  
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۸/۰۱  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۶  
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۹/۲۸

روش بررسی: در این مطالعه، ۵۷ نمونه ترکیبی خاک به روش سیستماتیک تصادفی از عمق ۰ تا ۵ cm تهیه و غلظت فلزات سنگین وانادیوم (V)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، مولیبدن (Mo)، کروم (Cr)، کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As) و روی (Zn) با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد.

واژگان کلیدی: خاک، صنایع گندله‌سازی و فولاد، فلزات سنگین، شاخص‌های آلودگی

یافته‌ها: براساس نتایج، بیشترین و کمترین میانگین شاخص‌های  $I_{geo}$  (۰/۴۹ و ۰/۳۶) و PI (۲/۱۶ و ۱/۱۷) مربوط به نیکل و همچنین بیشترین و کمترین شاخص EF به ترتیب ناشی از روی (۱/۲۵) و مولیبدن (۱/۱۷) بود. شاخص EF حاصل از سرب، وانادیم و روی به ترتیب با فراوانی ۱۵/۸، ۵/۳ و ۱/۸ درصد خاک منطقه را در کلاس غنی‌شدگی متوسط قرار داد. نقاط داغ آلودگی سرب، وانادیم، نیکل و روی در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به این صنایع و در پایین دست جهت وزش باد واقع شده است.

نتیجه‌گیری: شاخص‌های  $I_{geo}$  و EF عمدتاً کلاس پایین آلودگی خاک را نشان داد. شاخص‌های PI و NIPI در غالب ایستگاه‌ها در کلاس آلودگی متوسط قرار داشت و بالاترین میزان این دو شاخص مربوط به خاک سطحی ایستگاه شماره ۳۰ در نزدیکی صنایع فولاد بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت صنایع مذکور بر روند آلودگی خاک منطقه مطالعاتی تاثیر داشته است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

mirmehrdadmirsanjari@yahoo.com

## مقدمه

اجرای برنامه‌های توسعه صنعتی بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی در کنار نبود ضوابط روشن و همچنین اجرای ضعیف برخی قوانین موجود جهت حفاظت از محیط زیست، باعث تداوم ورود آلاینده‌های شیمیایی به آب، خاک و هوا در مناطق مختلف کشور شده است (۱). امروزه آلودگی‌های صنعتی به‌عنوان عمده‌ترین عامل تخریب محیط زیست محسوب می‌شوند. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که آب، خاک و هوای مناطقی که در مجاورت فعالیت‌های صنعتی قرار دارند از آلودگی قابل توجهی برخوردارند. از این‌رو فعالیت‌های صنعتی می‌تواند از طریق هوای تنفسی، آب مصرفی و خاک بر سلامت ساکنین مناطق پیرامونی اثر گذاشته و بیماری و عوارض نامطلوب ایجاد نماید (۲). خاک در حقیقت حساس‌ترین و مهم‌ترین بخش حیاتی زمین است. خاک‌ها علاوه بر نقشی که در تداوم حیات به عهده دارند در تکامل و حتی پیدایش حیات نیز تاثیر عمده‌ای به‌جای گذاشته‌اند و به‌عنوان منبع مهم و اساسی در تولید ثروت جامعه و در برنامه‌های توسعه و سلامت جامعه، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. فعالیت‌های انسانی و دفع ضایعات صنعتی در طی دهه‌های گذشته، آلودگی خاک به فلزات سنگین را به‌طور چشمگیری افزایش داده است (۳-۵). خاک می‌تواند در اثر فرایندهای طبیعی نظیر هوازدگی مواد معدنی و همچنین در نتیجه فعالیت‌های انسانی مرتبط با صنایع، مصرف سوخت‌های فسیلی، انتشار توسط خودروها، فعالیت‌های معدنی، کشاورزی و فرایندهای متالورژی و دفع ضایعات به فلزات سنگین آلوده شود (۶).

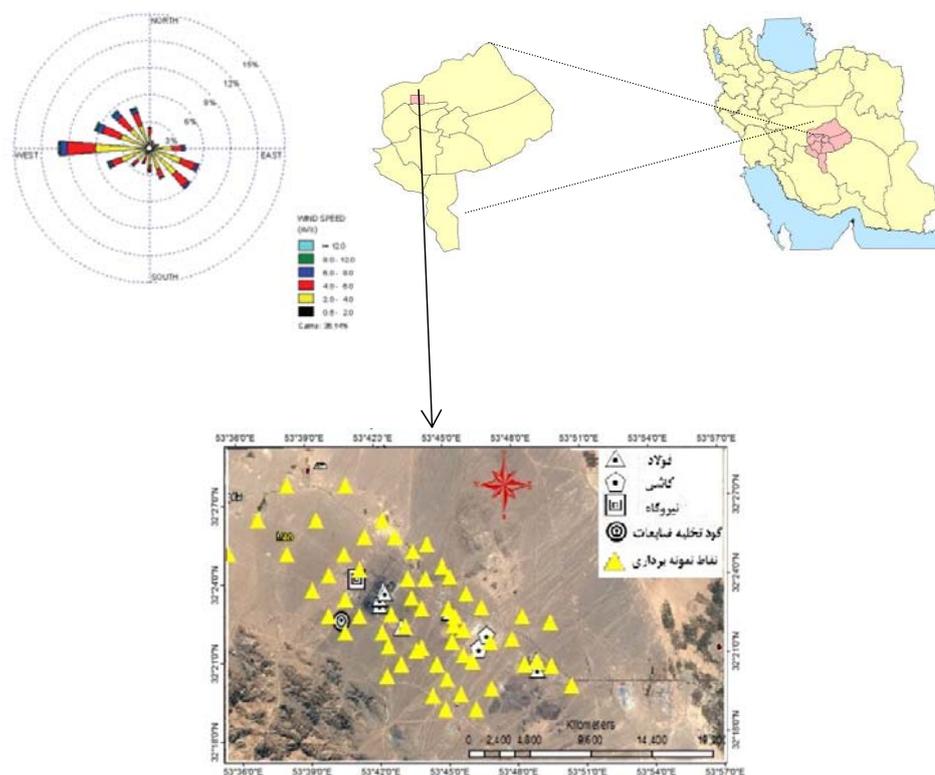
محققین یکی از عوامل عمده ورود فلزات سنگین به اکوسیستم‌های خاکی را فعالیت‌های انسانی می‌دانند و معتقدند که این منابع آلاینده در درازمدت خطری بالقوه برای سلامتی انسان به حساب می‌آیند. اثرات سوء این عناصر در خاک و گیاه زمانی مشخص می‌گردد که غلظت آنها از میزان معینی افزایش یابد، که این افزایش بستگی به نوع فلز، نوع خاک، فعالیت‌های مختلف انسانی و زمان تجمع فلز دارد (۷-۱۱). آلودگی خاک به فلزات سنگین نتیجه روند رو به رشد توسعه صنعتی است.

افزایش تقاضا برای فلزات مختلف به دلیل صنعتی شدن و رشد شهرنشینی باعث شده تا آلاینده‌های بیشتری که حاوی فلزات سنگین مختلف هستند در محیط انتشار یافته و به خاک وارد شوند (۱۲). بالطبع فعالیت‌های صنایع و در نتیجه آلودگی خاک اثرات جبران‌ناپذیری را بر زندگی ما می‌گذارد و شناخت منابع آلوده‌کننده و جلوگیری از آلودگی خاک، استفاده بهینه از منابع را امکان‌پذیر ساخته و خطرات محیط زیستی را به حداقل می‌رساند. جهت ارزیابی اثرات محیط زیستی عناصر سنگین در خاک‌های یک منطقه، بایستی میزان غلظت عناصر در آن با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین حالت مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است چرا که شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را ایجاد می‌کند. در کشور ما به دلیل عدم وجود استاندارد خاصی برای تعیین درجه آلودگی خاک، بهتر است از معیارهای دیگری برای بررسی آلودگی خاک به عناصر سنگین استفاده شود. معیارهای متعددی برای بررسی درجه آلودگی خاک ارائه شده است که می‌توان براساس آنها به وجود یا عدم وجود آلودگی در خاک پی برد (۱۳).

بررسی‌های بسیاری در ارتباط با ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی از جمله صنعت فولاد در سرتاسر جهان انجام شده است (۱۴، ۱۵). ضایعات جامد و مایع تولید شده در صنایع فولادسازی شامل فیوم‌ها و مواد خام، حاوی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم، جیوه، منگنز، مس، کبالت، نیکل، روی، سرب و بیسموت است و تخلیه آنها به محیط زیست می‌تواند مشکلاتی را برای سلامتی و محیط زیست ایجاد نماید (۱۶). Hu و همکاران (۲۰۱۳) خاک سطحی منطقه‌ای در چین را پس از گذشت سه دهه از صنعتی شدن و توسعه شهرنشینی مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که میانگین غلظت فلزات کادمیوم، مس، منگنز و آرسنیک در خاک منطقه دو برابر بالاتر از مقدار زمینه بوده و دلیل بالا بودن غلظت سرب نسبت به سایر عناصر را فعالیت‌های انسانی ذکر کردند (۱۷). یافته‌های Namuhani و همکاران (۲۰۱۵)

یزد در کنار پتانسیل بالای تبخیر باعث شده تا به مرور زمینه اشتغال در حوزه کشاورزی کاهش یافته و به موازات آن و به دلیل وجود منابع سرشار معدنی از جمله سنگ آهن در منطقه، صنایع مختلف ایجاد و گسترش یابد. در چند سال گذشته کارخانه‌های گندله‌سازی و فولاد نیز در همین راستا در شهرستان اردکان راه‌اندازی شد. در شرایط حاضر در منطقه مورد مطالعه دو واحد گندله‌سازی و بیش از شش واحد تولید آهن اسفنجی و فولادسازی اسقرار یافته‌اند. از آنجایی که در جریان تخلیه و دپوی مواد اولیه، سنگ‌شکن، آسیاب و کوره پخت احتمال انتشار آلاینده‌های مختلفی به هوا و خاک مناطق پیرامونی وجود دارد، لذا این پژوهش با هدف: (۱) بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در خاک حاشیه صنایع فولاد و گندله‌سازی (۲) ارزیابی وضعیت آلودگی خاک به عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های آلودگی مانند شاخص آلودگی (PI)، شاخص زمین‌انباشتی ( $I_{geo}$ ) و شاخص غنی‌شدگی (EF) انجام شده است.

در بررسی زمین‌های مجاور کارخانه نورد فولاد در اوگاندا نشان داد خاک دارای غلظت‌های بالایی از مس و کادمیوم بوده و در کلاس آلودگی متوسط تا زیاد قرار دارد (۱۸). Sistani و همکاران (۱۹) خاک مناطق حاشیه دو مجتمع فولاد در کرمان را از نظر میزان فلزات سنگین بررسی نمودند. براساس نتایج این پژوهش غلظت سرب، روی و کادمیوم با افزایش فاصله از مجتمع‌های فولاد روند کاهشی داشت و میزان سرب و کادمیوم در خاک منطقه بیشتر تحت تاثیر مجتمع‌های فولاد بود. سرب و روی بیشترین میزان میانگین شاخص‌های فاکتور آلودگی، غنی‌شدگی و زمین‌انباشتی را داشتند و نیکل و کروم دارای کمترین میزان شاخص‌ها بودند. پژوهش Zong و همکاران (۲۰) بر روی خاک اطراف صنایع آهن و فولاد در شهر بیجینگ چین نشان داد که خاک مناطق اطراف این صنایع آلودگی بیشتری به فلزات سنگین دارد و انتشار فلزات سنگین در خاک منطقه منطبق بر جهت وزش باد هم‌راستا است. پایین بودن میزان بارش سالیانه و کمبود منابع آب در استان



شکل ۱- نقشه جانمایی صنایع، پراکندگی نقاط نمونه‌برداری و گلباد در منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شمال غربی شهر اردکان، به طول ۲۰ km و عرض ۱۰ km با مساحت تقریبی ۲۰۰۰۰ ha و در طول جغرافیایی ۳۶° ۵۳' تا ۵۳° ۵۷' شرقی و عرض جغرافیایی ۱۸° ۳۲' تا ۲۷° ۳۲' شمالی واقع شده است (شکل ۱).

به منظور نمونه برداری به روش سیستماتیک تصادفی، منطقه مورد مطالعه به شبکه‌های ۱/۵ km × ۱/۵ km تقسیم بندی و محل تلاقی شبکه‌ها به عنوان موقعیت نقاط نمونه برداری تعیین شد. با حذف تعدادی از نقاط انتخابی که در مکان‌های غیرقابل دسترس (زمین محل استقرار صنایع، مناطق صعب العبور و مناطق نظامی) قرار گرفته بودند، ۵۷ نمونه و موقعیت مکانی آنها مشخص شد، که با استفاده از دستگاه موقعیت یاب مکانی (Global Positioning System) به موقعیت هر نمونه مراجعه و نسبت به نمونه برداری اقدام شد. نقشه جانمایی صنایع و پراکندگی نقاط نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۵ cm به صورت ترکیبی (از مرکز و رئوس مربعی به ضلع ۱۰ m) برداشت و پس از مخلوط کردن آنها و همگن سازی، حدود ۱ kg خاک به عنوان نمونه تهیه و ضمن نگهداری در کیسه نایلونی دربسته به آزمایشگاه منتقل گردید. برای غلظت زمینه می‌توان از متوسط غلظت عناصر پوسته زمین که در منابع مختلف آمده است استفاده کرد ولی به دلیل تاثیر نوع مواد خرد شده از سنگ‌های مادری خاک و به منظور تدقیق آن بهتر است با ایجاد پروفیل یا نیمرخ خاک (گودال نمونه برداری) و نمونه برداری متناوب از لایه‌های خاک، به غلظتی در عمق رسید که تغییرات آن با لایه‌های بالایی و پایینی زیاد نباشد و از متوسط غلظت هر عنصر در چند لایه پایینی به عنوان غلظت زمینه یا مرجع استفاده کرد. در تحقیق حاضر این مهم با دقت مورد توجه قرار گرفته و از میانگین غلظت عناصر در عمق ۲ تا ۳ m منطقه مورد مطالعه به عنوان غلظت زمینه در این مطالعه استفاده شد (۲۱).

آماده سازی نمونه‌های خاک براساس روش استاندارد ایزو ۱۱۴۶۶ انجام شد. به این منظور ۳ g نمونه خاک از الک ۲ μm عبور

داده شد و پس از افزودن ۲۱ mL اسید کلریدریک و ۷ mL اسید نیتریک به مدت ۱۶ h در دمای اتاق نگهداری و در ادامه ۲ h در دستگاه حرارت ملایم قرار گرفت. سپس نمونه‌های خنک شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ mL رسانده شد (۲۲، ۲۳). در نهایت غلظت عناصر وانادیوم (V)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، مولیبدن (Mo)، کروم (Cr)، کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As) و روی (Zn) به کمک دستگاه ICP-OES اندازه گیری شد. براساس غلظت‌های اندازه گیری شده و به کمک فرمول‌های مربوطه شاخص‌های آلودگی تعیین گردید و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار SPSS, 22 صورت گرفت.

به منظور تعیین حجم نمونه از فرمول Kerbz (۱۹۹۹) استفاده گردید که در آن مقدار  $t_{\alpha}$  مقدار  $t$  (در سطح معنی داری ۵ درصد، معادل ۱/۹۶ با در نظر گرفتن درجه آزادی بی نهایت)، CV ضریب تغییرات و  $d$  نسبت صحت مورد نیاز و  $N_{\text{sample}}$  تعداد نمونه مورد نیاز است (۲۲، ۲۴). در این مطالعه با در نظر گرفتن میزان خطای ۱۰ درصد، حد کفایت نمونه محاسبه شد که در مورد همه عناصر، تعداد نمونه تهیه شده از حد کفایت نمونه محاسبه شده از معادله بیشتر بود (معادله ۱).

$$N_{\text{sample}} = \frac{t_{\alpha}^2 CV^2}{d^2} \quad (1)$$

### - معرفی شاخص‌های مورد استفاده

به دلیل اثرات مخرب فلزات سنگین بر روی انسان و محیط زیست، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین از اهمیت خاصی برخوردار است. به منظور کنترل خطرات بالقوه فلزات از ابزارهای مختلفی نظیر شاخص زمین انباشتی، فاکتور غنی شدگی، درجه آلودگی، فاکتور آلودگی، شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک و شاخص بار آلودگی استفاده می‌شود تا میزان آلودگی به فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار گیرد (۲۵، ۲۶).

### - شاخص زمین انباشتی

اساس شاخص زمین انباشتی، مقایسه غلظت فلز با میزان آن در زمینه ژئوشیمیایی منطقه است که با استفاده از معادله ۲ که

(غنی شدگی خیلی زیاد)،  $EF \geq 40$  (غنی شدگی فوق العاده زیاد)

#### - شاخص آلودگی

این شاخص در سال ۱۹۸۰ توسط Hakanson معرفی شد و در آن میانگین غلظت عنصر اندازه گیری شده با میزان همان عنصر در مرجع منطقه مقایسه می شود و براساس معادله ۴ محاسبه می شود (۲۹):

$$PI_i = \frac{C_i}{B_i} \quad (4)$$

در این معادله:  $C_i$  غلظت آلاینده ام،  $B_i$  غلظت پایه ناشی از سنگ مادری (Base Line Concentration) آلاینده و  $PI_i$  شاخص آلودگی مربوط به آلاینده ام است. براساس میزان شاخص  $PI$ ، ۴ کلاس آلودگی به صورت زیر مشخص می گردد:  $PI < 1$  (کم)،  $1 \leq PI < 3$  (متوسط)،  $3 \leq PI < 6$  (زیاد)،  $PI \geq 6$  (خیلی زیاد).

#### - شاخص جامع آلودگی نمره (Integrated Nemerow Pollution Index)

شاخص آلودگی نمره براساس معادله ۵ و برای هر ایستگاه نمونه برداری محاسبه می گردد (۳۰):

$$NIPI = \sqrt{\frac{(P_{i \text{ ave}})^2 + (P_{i \text{ max}})^2}{2}} \quad (5)$$

که در آن:  $NIPI$  شاخص آلودگی نمره،  $P_{i \text{ ave}}$  میانگین شاخص آلودگی عنصر  $i$  و  $P_{i \text{ max}}$  بیشترین میزان شاخص آلودگی عنصر  $i$  است. میزان آلودگی نیز براساس مقدار شاخص محاسبه شده در ۵ کلاس آلودگی به صورت زیر قرار می گیرد:

$NIPI < 0.7$  (غیرآلوده)،  $0.7 \leq NIPI < 1$  (نسبتاً غیرآلوده)،  
 $1 \leq NIPI < 2$  (کم آلوده)،  $2 \leq NIPI < 3$  (آلودگی متوسط)،  
 $NIPI \geq 3$  (آلودگی شدید)

#### یافته ها

غلظت عناصر مورد مطالعه در ۵۷ ایستگاه نمونه برداری

در سال ۱۹۶۹ توسط مولر معرفی شد محاسبه می گردد (۲۷):

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_i}{1.5B_i} \right) \quad (2)$$

در این معادله:  $I_{geo}$  شاخص زمین انباشتگی،  $C_i$  میزان عنصر در نمونه های خاک یا رسوب مورد مطالعه و  $B_i$  مقدار زمینه است. برای تصحیح اثرات مواد مادری خاک، نوسانات طبیعی و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت های انسانی از ضریب ۱/۵ استفاده شده است. مولر براساس میزان شاخص، ۷ کلاس آلودگی را به صورت زیر مشخص کرده است:

$I_{geo} \leq 0$  (غیرآلوده)،  $0 < I_{geo} \leq 1$  (غیرآلوده تا کمی آلوده)،  
 $1 < I_{geo} \leq 2$  (کمی آلوده)،  $2 < I_{geo} \leq 3$  (کمی آلوده تا خیلی آلوده)،  
 $3 < I_{geo} \leq 4$  (خیلی آلوده)،  $4 < I_{geo} \leq 5$  (خیلی آلوده تا شدیداً آلوده)،  
 $I_{geo} > 5$  (شدیداً آلوده)

#### - ضریب غنی شدگی

در ضریب غنی شدگی غلظت فلز در نمونه با غلظت فلز در مرجع مقایسه می گردد. این ضریب در تحلیل های محیط زیستی به عنوان یکی از عوامل مهم ارزیابی ریسک آلودگی خاک به عناصر سنگین شناخته می شود و براساس معادله ۳ قابل محاسبه است (۲۸):

$$EF = \frac{\left( \frac{C_x}{C_{ref}} \right)_{\text{sample}}}{\left( \frac{C_x}{C_{ref}} \right)_{\text{Background}}} \quad (3)$$

در این معادله،  $C_x$  غلظت عنصر در نمونه مورد بررسی،  $C_{ref}$  غلظت عنصر مرجع،  $\text{sample}$  مقدار عنصر در نمونه ها و  $\text{background}$  غلظت عنصر در زمینه است. برای عنصر مرجع از غلظت فلزاتی مانند آهن، آلومینیوم و اسکاندیم که در منطقه از نظر غلظت تغییرات زیادی ندارند استفاده می شود. در این مطالعه از آلومینیوم و به دلیل توزیع نسبتاً نرمال استفاده شد. براساس میزان ضریب محاسبه شده، ۵ کلاس آلودگی به شرح زیر تعیین شده است:

$EF < 2$  (حداقل غنی شدگی)،  $2 \leq EF < 5$  (غنی شدگی متوسط)،  $5 \leq EF < 20$  (غنی شدگی زیاد)،  $20 \leq EF < 40$

غیرنرمال بودن توزیع سایر عناصر مورد مطالعه ( $p < 0.05$ ) می‌توان منشا حضور آنها در خاک را به فعالیت‌های انسانی نسبت داد.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون (Pearson's Correlation) نشان داد که بین میانگین غلظت عناصر نیکل و کروم با ضریب همبستگی (r) برابر با ۰/۹۵۴، کادمیوم و روی با ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۹۵، سرب و روی با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۳۷، نیکل و آرسنیک با ضریب همبستگی برابر با ۰/۵۰۶ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ ( $p < 0.01$ ) همبستگی مثبت وجود داشت. همچنین بین میانگین غلظت عناصر آرسنیک و کروم با ضریب همبستگی برابر با ۰/۴۹۹، سرب و کادمیوم با ضریب همبستگی برابر با ۰/۴۶۱، آرسنیک و روی با ضریب همبستگی برابر با ۰/۴۵۶ و آرسنیک با کادمیوم با ضریب همبستگی برابر با ۰/۴۱۵ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ همبستگی مثبت وجود داشت. از طرفی میانگین غلظت عناصر وانادیم و نیکل با ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۶۷ و وانادیم با سرب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۴۳ همبستگی مستقیم وجود داشت (جدول ۲).

اندازه‌گیری شد که براساس نتایج به‌دست آمده و در بین عناصر مورد مطالعه، بیشینه و کمینه میانگین غلظت به‌ترتیب مربوط به روی با  $77/02 \text{ mg/kg}$  و کادمیوم با  $0/32 \text{ mg/kg}$  بود. غلظت سایر فلزات در جدول ۱ ارائه شده که ترتیب میانگین آنها به صورت روی < وانادیم < نیکل < کروم < سرب < آرسنیک < مولیبدن < کادمیوم است. بالاتر بودن میانگین غلظت همه عناصر نسبت به میزان زمینه و پایین‌تر بودن غلظت کروم، مولیبدن، نیکل و وانادیم نسبت به پوسته زمین از دیگر یافته‌های این مطالعه است. آرسنیک و کادمیوم در همه نمونه‌ها و سرب و روی به ترتیب در ۷۰/۲ درصد و ۵۲/۶ درصد نمونه‌ها از میانگین پوسته زمین بالاتر بود.

به‌منظور بررسی نرمال بودن متغیرهای پژوهش از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test) استفاده شد. براساس نتایج این آزمون آرسنیک، کادمیوم و مولیبدن در منطقه مورد مطالعه دارای توزیع نرمال هستند ( $p > 0.05$ ) لذا منشاء حضور آنها طبیعی و از سنگ مادری است. ضمن اینکه به دلیل

جدول ۱- آمار توصیفی غلظت فلزات مورد مطالعه

مقادیر	عناصر (mg/kg)						
	روى	وانادیم	سرب	نیکل	مولیبدن	کروم	آرسنیک
حداقل	۴۲/۰۰	۲۵/۰۰	۱۱/۰۰	۲۲/۰۰	۰/۸۷	۱۶/۰۰	۶/۹۰
حداکثر	۲۰۰/۰۰	۱۰۷/۰۰	۳۷/۰۰	۵۷/۰۰	۱/۳۳	۴۶/۰۰	۱۲/۷۰
میانگین	۷۷/۰۲	۴۳/۵۴	۱۸/۰۷	۴۳/۱۶	۱/۰۲	۳۵/۲۸	۹/۷۰
میانگین پوسته زمین**	۷۵/۰۰	۱۶۰/۰۰	۱۴/۰۰	۸۰/۰۰	۱/۵۰	۱۰۰/۰۰	۱/۵۰
غلظت زمینه*	۳۶/۰۰	۲۱/۰۰	۹/۰۰	۲۰/۰۰	۰/۸۷	۱۷/۰۰	۶/۹۰
کنسانتره سنگ آهن*	۲۱	۱۴۳۵	۶۸	۱۴۱	۱/۷۸	۱۴	۳/۳
انحراف معیار	۲۰/۲۲	۱۱/۱۶	۶/۱۴	۸/۵۹	۰/۱۰	۶/۷۶	۱/۱۷
ضریب تغییرات (CV%)	۲۶/۲۵	۲۵/۶۳	۳۳/۹۸	۱۹/۸۹	۱۰/۰۵	۱۹/۱۷	۱۲/۰۲
چولگی	۴/۰۵	۳/۶۳	۱/۳۸	-۰/۶۶	۰/۶۶	-۰/۷۶	-۰/۱۳
کشیدگی	۲۴/۵۶	۱۹/۱۴	۱/۰۴	-۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۱۲
کولموگوروف-اسمیرنوف	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲۰	۰/۲۰	۰/۰۲۵	۰/۲۰

\*اندازه‌گیری شده توسط نگارنده

\*\*رفرنس (۳۱)

جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات در منطقه مورد مطالعه

روى	وانادیم	سرب	نیکل	مولیبدين	کروم	کادمیوم	آرسنیک	آرسنیک
							۱	آرسنیک
						۱	۰/۴۱۵**	کادمیوم
					۱	۰/۱۶۳	۰/۴۹۹**	کروم
				۱	-۰/۰۴۲	-۰/۰۱۴	-۰/۲۸۳*	مولیبدين
			۱	-۰/۱۰۹	۰/۹۵۴**	۰/۰۸۹	۰/۵۰۶**	نیکل
		۱	-۰/۱۹۸	۰/۰۹۰	-۰/۲۰۶	۰/۴۶۱**	۰/۲۱۳	سرب
	۱	۰/۳۴۳**	۰/۳۶۷**	-۰/۱۹۹	۰/۲۶۱*	۰/۰۶۹	۰/۲۰۹	وانادیم
۱	۰/۲۳۹	۰/۵۳۷**	۰/۲۲۲	-۰/۰۱۹	۰/۲۵۷	۰/۶۹۵**	۰/۴۵۶**	روى

\*\* همبستگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار

\* همبستگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار

متوسط ( $PI < 3$ ) قرار گرفت. ضمن اینکه از ۵۷ نمونه خاک مورد بررسی، شاخص PI سرب در ۸ نمونه (۱۴ درصد)، وانادیم در ۲ نمونه (۳/۵ درصد) و روی در یک نمونه (۱/۸ درصد) در کلاس آلودگی زیاد قرار داشت. بالاترین میزان شاخص PI اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه مربوط به روی برابر با ۵/۵۶ (در ایستگاه شماره ۳۰) بود ضمن این‌که نیکل با PI برابر با ۲/۱۶ و مولیبدين با PI برابر با ۱/۱۷ به ترتیب بیشینه و کمینه میانگین شاخص PI را داشتند و ترتیب عناصر مورد بررسی از نظر میانگین شاخص PI نیز به‌صورت نیکل < روی < کروم < وانادیم < سرب < آرسنیک < کادمیوم < مولیبدين بود (جدول ۳).

همبستگی وانادیم، نیکل و سرب در کنار وجود غلظت زیاد این سه عنصر در کنسانتره آهن مصرفی در گندله‌سازی (جدول ۱) بیانگر اهمیت نقش مواد اولیه مصرفی در این صنعت و ورود این عناصر به خاک منطقه است. همچنین براساس ضرایب مذکور می‌توان فعالیت‌های انسانی را به‌عنوان عامل افزایش غلظت روی و کروم در خاک منطقه معرفی کرد ضمن این‌که عامل افزایش آرسنیک و کادمیوم در خاک منطقه هر دو منبع طبیعی و آنتروپوژنیک است که می‌توان به فعالیت‌های صنعتی موجود در منطقه مورد مطالعه به‌ویژه صنایع گندله‌سازی و فولاد اشاره کرد. براساس میانگین شاخص PI محاسبه‌شده، سطح آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه برای ۸ فلز مورد بررسی در کلاس آلودگی

جدول ۳- آمار توصیفی شاخص PI فلزات و کلاس آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه

عناصر (mg/kg)								مقادیر
روى	وانادیم	سرب	نیکل	مولیبدين	کروم	کادمیوم	آرسنیک	
۱/۱۷	۱/۱۹	۱/۲۲	۱/۱۰	۱/۰۰	۰/۹۴	۱/۱۳	۱/۰۰	حداقل
۵/۵۶	۵/۰۰	۴/۱۱	۲/۸۵	۱/۵۳	۲/۷۱	۱/۷۹	۱/۸۴	حداکثر
۲/۱۴	۲/۰۸	۲/۰۱	۲/۱۶	۱/۱۷	۲/۰۸	۱/۳۱	۱/۴۱	میانگین
۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۱۲	۰/۴۰	۰/۱۲	۰/۱۷	انحراف معیار

عین حال شاخص EF در تعدادی از نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه، در کلاس غنی‌شدگی متوسط قرار داشت که می‌توان به سرب (۹ نمونه)، وانادیم (۳ نمونه) و روی (یک نمونه) اشاره کرد.

بیشینه میانگین شاخص EF محاسبه شده مربوط به روی (برابر با ۱/۲۵) و کمینه میانگین شاخص EF محاسبه شده نیز مربوط به مولیبدن (برابر با ۰/۷) بود. همچنین ترتیب قرار گرفتن فلزات مورد بررسی از نظر شاخص EF به صورت روی < نیکل < سرب و وانادیم < کروم < آرسنیک < کادمیوم < مولیبدن بود.

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده، بیشترین میزان وانادیم در مرکز منطقه و در خاک پیرامون کارخانه‌های گندله‌سازی و فولاد دیده می‌شود. همچنین خاک اطراف این صنایع و سه کارخانه ذوب فولاد مستقر در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه دارای غلظت‌های بالایی از روی و سرب است. از آنجایی که در کنسانتره آهن مصرفی میزان زیادی وانادیم و سرب وجود دارد و بخشی از مواد اولیه صنایع فولاد را قراضه آهن تشکیل می‌دهد لذا بر این اساس و با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان اذعان نمود که فعالیت این واحدهای صنعتی در انتشار و ورود سرب، روی و وانادیم به خاک اطراف نقش داشته است.

هرچند آرسنیک توزیع نسبتاً یکنواختی در منطقه مورد مطالعه داشت ولی غلظت‌های بالایی از این عنصر در خاک حاشیه صنایع کاشی و سرامیک که در قسمت شرقی منطقه مورد

میانگین شاخص NIPI محاسبه شده در ۵۷ ایستگاه برابر با ۲/۱۸، بیشینه و کمینه شاخص مذکور به ترتیب برابر با ۴/۳۱ و ۱/۱۹ و انحراف معیار نیز برابر با ۰/۵۲ بود. براساس این شاخص، از ۵۷ نمونه خاک تهیه شده ۲۰ نمونه در کلاس آلودگی کم (۳۵/۱ درصد)، ۳۴ نمونه در کلاس آلودگی متوسط (۵۹/۶ درصد) و ۳ نمونه نیز در کلاس آلودگی شدید قرار گرفت. بیشترین میزان شاخص NIPI مربوط به ایستگاه شماره ۳۰ (پایین‌دست منطقه مورد مطالعه در حاشیه ۳ کارخانه ذوب فولاد) و کمترین میزان شاخص NIPI مربوط به ایستگاه شماره ۱۶ (بالادست منطقه مورد مطالعه) بود.

با توجه به میانگین شاخص  $I_{geo}$  محاسبه شده از آرسنیک، کادمیوم و مولیبدن، خاک منطقه در کلاس غیرآلوده ( $I_{geo} \leq 0$ ) قرار داشت. ضمن اینکه براساس میانگین شاخص  $I_{geo}$  سایر فلزات مورد بررسی خاک منطقه در کلاس غیرآلوده تا کمی آلوده ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ) قرار گرفت. در تعدادی از نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه، شاخص  $I_{geo}$  برخی از عناصر در کلاس کمی آلوده قرار داشت که در مورد سرب (۸ نمونه)، وانادیم (۲ نمونه) و روی (یک نمونه) بود. بیشینه و کمینه میانگین شاخص  $I_{geo}$  به ترتیب ناشی از نیکل برابر با ۰/۴۹ و مولیبدن برابر با ۰/۳۶ - و ترتیب عناصر از نظر میانگین شاخص  $I_{geo}$  نیز به صورت نیکل < روی < کروم < وانادیم < سرب < آرسنیک < کادمیوم < مولیبدن بود (جدول ۴).

همان‌گونه که در جدول ۵ آمده است از نظر میانگین شاخص EF خاک منطقه در کلاس حداقل غنی‌شدگی قرار گرفت. در

جدول ۴- آمار توصیفی شاخص  $I_{geo}$  فلزات و کلاس آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه

مقادیر	عناصر (mg/kg)							
	آرسنیک	کادمیوم	کروم	مولیبدن	نیکل	سرب	وانادیم	روی
حداقل	-۰/۵۸	-۰/۴۲	-۰/۶۸	-۰/۵۸	-۰/۴۵	-۰/۳۰	-۰/۳۳	-۰/۳۶
حداکثر	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۸۵	۰/۰۳	۰/۹۳	۱/۴۵	۱/۷۶	۱/۸۹
میانگین	-۰/۱	-۰/۲	۰/۴۴	-۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۴۸
انحراف معیار	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۰

جدول ۵- آمار توصیفی شاخص EF فلزات و کلاس آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه

مقادیر	عناصر (mg/kg)							
	روسی	وانادیم	سرب	نیکل	مولیبدن	کروم	کادمیوم	آرسنیک
حداقل	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۴۵	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۵۳
حداکثر	۳/۱۴	۲/۸۸	۳/۴۲	۱/۳۷	۱/۴۵	۱/۴۴	۱/۳۷	۱/۴۴
میانگین	۱/۲۵	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۲۳	۰/۷۰	۱/۱۸	۰/۷۸	۰/۸۳
انحراف معیار	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۱۷

سرب و کادمیوم با نتایج مطالعه Sistani و همکاران (۱۹) مطابقت دارد. البته نتایج مذکور در مورد عنصر روی اندکی با یافته‌های این تحقیق اختلاف دارد که می‌توان تفاوت در روش نمونه‌برداری، فاصله بین نمونه‌ها و وجود سایر صنایع از جمله گندله‌سازی، نیروگاه سیکل ترکیبی و کارخانه‌های کاشی و سرامیک در منطقه را به‌عنوان دلایل این اختلاف برشمرد. همبستگی بالای سرب و روی و غلظت زیاد این دو فلز در خاک‌های پیرامون صنایع فولاد و ارتباط آن با فعالیت کارخانه فولاد در مطالعات متعددی تایید شده است (۳۲-۳۵). نیکل و کروم جزو فلزات اصلی در فرایند تولید فولاد هستند (۳۲) که همبستگی بالای این دو عنصر در مطالعات Hu و همکاران (۱۷) نیز همانند نتایج این مطالعه مورد تایید قرار گرفته و بیانگر نقش صنایع فولاد در افزایش غلظت این عناصر در خاک منطقه است.

هرچند از نظر شاخص  $I_{geo}$  خاک منطقه مورد مطالعه در کلاس غیر آلوده تا کمی آلوده قرار داشت ولی کروم، نیکل و روی بالاترین شاخص زمین‌انباشتگی را داشتند. در مطالعات Namuhani و همکار (۱۸) که در خاک حاشیه صنایع فولاد اوگاندا انجام شد عناصر کروم، روی و نیکل کمترین شاخص زمین‌انباشتگی را به خود اختصاص دادند که با دستاوردهای این پژوهش تفاوت دارد. شاخص EF در ۲/۹ درصد نمونه‌ها غنی‌شدگی متوسط خاک را نشان داد ضمن اینکه خاک منطقه مورد مطالعه از نظر عناصر سرب، وانادیم و روی به ترتیب با فراوانی ۱۵/۸، ۵/۳ و ۱/۸ درصد در کلاس غنی‌شدگی متوسط قرار داشت. وجود مقادیر زیاد سرب و وانادیم در کنسانتره

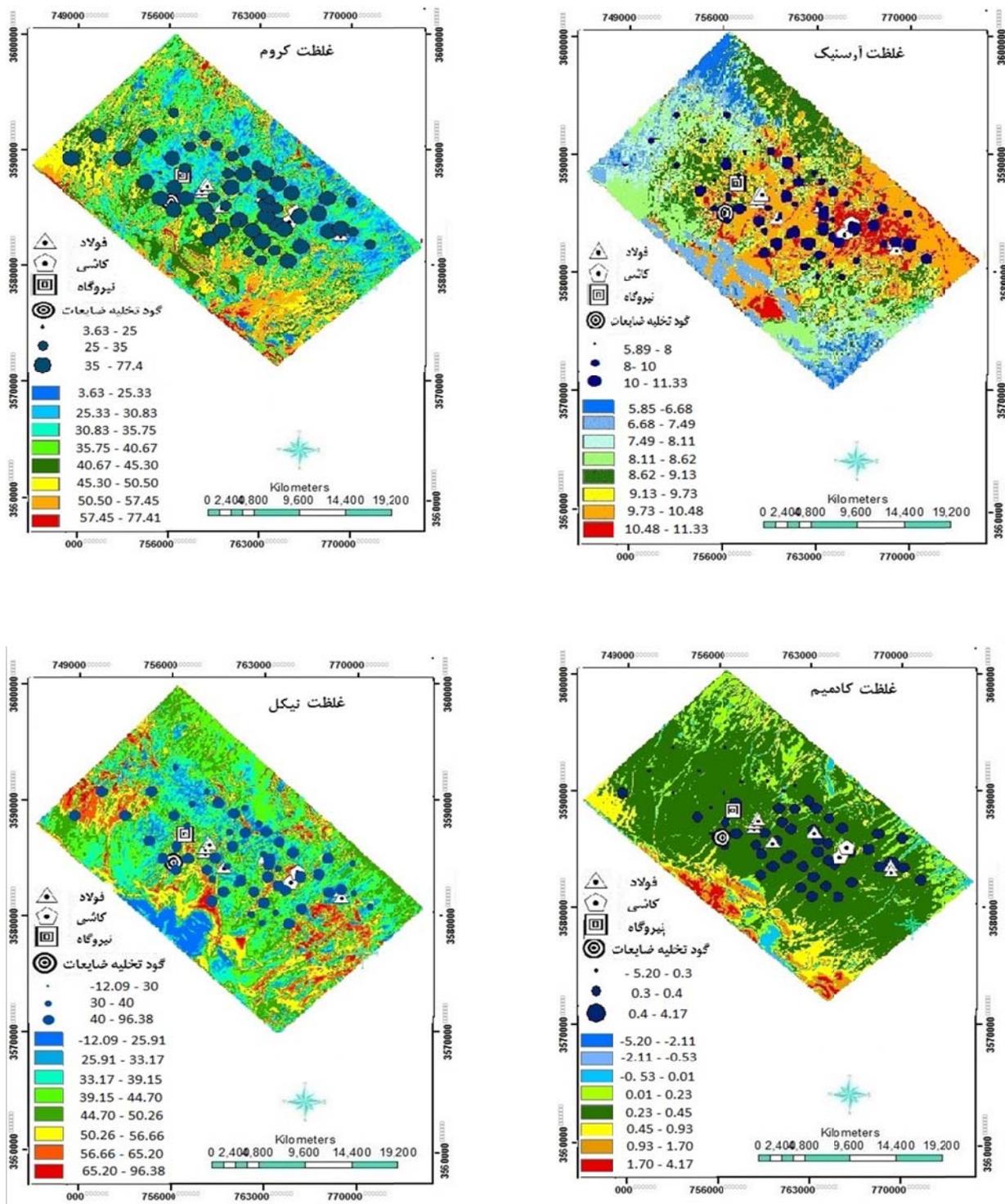
مطالعه مستقر هستند دیده شد که بیانگر نقش این صنایع در ورود این عنصر به خاک منطقه است. کادمیوم و مولیبدن در منطقه توزیع یکنواختی داشتند.

با توجه به اینکه مسیر ریل راه آهن در امتداد جنوب به شمال و در حاشیه غربی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است و حمل مواد معدنی مختلف از جمله کنسانتره سنگ آهن برای مصرف در صنایع منطقه و همچنین سایر استان‌ها از این طریق صورت می‌گیرد لذا احتمال انتشار مواد خام و اولیه در جریان انتقال از مسیر ریلی و همچنین مصرف در صنایع فولاد وجود دارد. بر این اساس غلظت نیکل در خاک اطراف صنایع افزایش داشته و همچنین باعث تجمع نیکل و کروم در قسمت‌های غربی و شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه شده است.

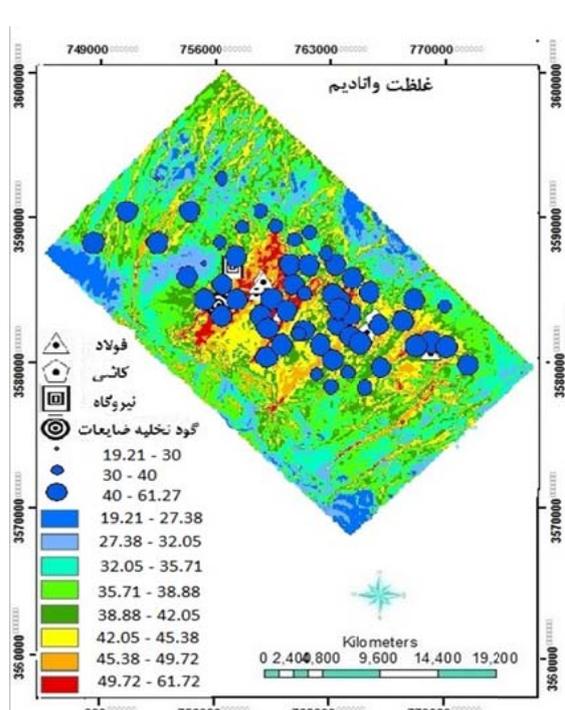
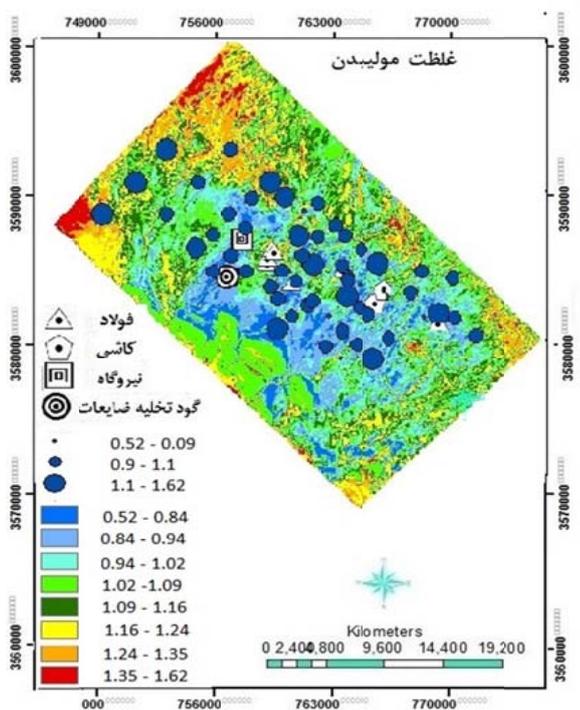
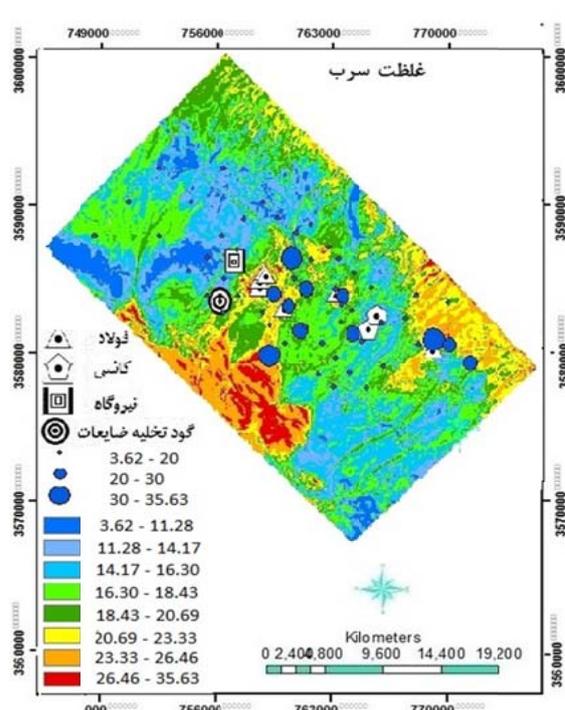
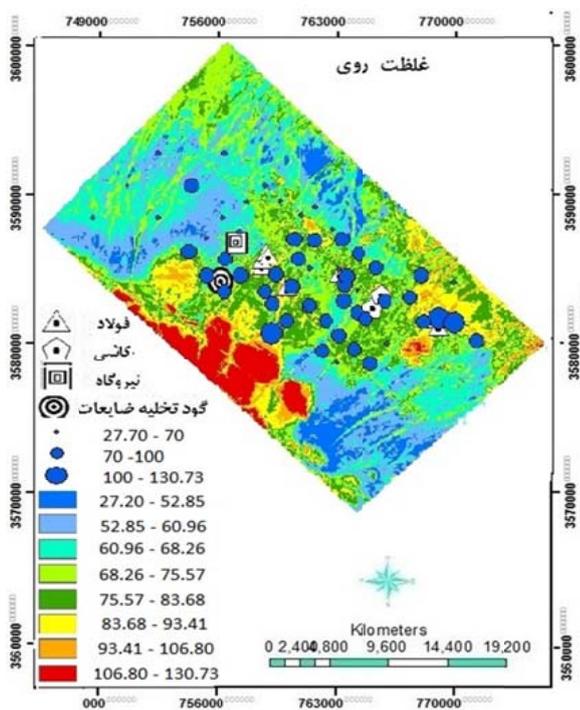
نتایج ارائه شده در شکل ۲ بیانگر این است که آرسنیک، سرب، وانادیم و روی در نقاط نمونه‌برداری مستقر در مناطق شمال تا شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه نسبت به نمونه‌های مناطق جنوب و جنوب‌شرقی از غلظت پایین‌تری برخوردار است. با توجه به گلباد منطقه و انطباق راستای توزیع غلظت‌های عناصر مذکور با جهت وزش باد می‌توان عنوان نمود که باد در انتشار عناصر فلزی حاصل از فعالیت صنایع نقش مؤثر داشته است.

### بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت کروم، مولیبدن، نیکل و وانادیم از میانگین پوسته زمین پایین‌تر و میانگین غلظت آرسنیک، کادمیوم، سرب و روی از میانگین پوسته زمین بالاتر است که در مورد فلزات نیکل، کروم،



شکل ۲- توزیع غلظت فلزات در خاک منطقه مورد مطالعه



ادامه شکل ۲- توزیع غلظت فلزات در خاک منطقه مورد مطالعه

مصرفی (جدول ۱) در گندله‌سازی می‌تواند به‌عنوان منشا انتشار این آلودگی‌ها در خاک مطرح باشد.

براساس نتایج این مطالعه بالاترین مقادیر شاخص PI مربوط به عناصر نیکل، روی و کروم بود. همچنین تاثیر باد در پراکنش عناصر سنگین مورد مطالعه نیز تایید شد که با نتایج مطالعات Karimi Nezhad و همکاران (۳۶) مطابقت دارد. از نظر شاخص PI، خاک منطقه مورد مطالعه در کلاس‌های آلودگی متوسط و زیاد به ترتیب ۹۷/۴ درصد و ۲/۴ درصد قرار گرفت که البته کلاس آلودگی زیاد صرفاً ناشی از سرب، وانادیم و روی بوده است و در بین این سه عنصر، سرب دارای بیشترین فراوانی (۱۴ درصد) بود. مطالعات Odabasi و همکاران (۳۷) بر روی خاک سطحی پیرامون صنایع آهن و فولاد در ترکیه نشان داد بیشینه غلظت فلزات سرب و روی مربوط به خاک مناطق نزدیک به این صنایع است که با نتایج پژوهش حاضر نیز منطبق است.

بیشتر نقاط داغ آلودگی ناشی از نیکل در حاشیه مسیر راه آهن موجود در منطقه قرار دارد که می‌تواند بیانگر انتشار این عنصر در جریان حمل مواد اولیه به محیط اطراف باشد. وجود نقاط داغ آلودگی سرب، وانادیم، نیکل و روی در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به صنایع فولادسازی و گندله‌سازی و در پایین‌دست جهت وزش باد نشان‌دهنده نقش این صنایع در آلودگی خاک منطقه به عناصر مذکور است. یافته‌های Hormozinezhad و همکاران (۳۲) در ارزیابی میزان آلودگی خاک‌های اطراف مجتمع فولاد خوزستان به نیکل، آهن، روی، منگنز و سرب نشان داد نمونه‌های خاک نزدیک به محل کارخانه و در جهت پایین‌دست باد، از بیشترین میزان آلودگی برخوردار است که با نتایج این مطالعه تطبیق دارد. بر این اساس می‌توان صنایع مذکور را به‌عنوان عامل افزایش غلظت این آلاینده‌ها در خاک منطقه معرفی کرد.

وجود نقاط داغ آلودگی به کادمیوم، سرب و روی در مجاورت صنایع فولاد منطقه که در فرایند خود از کوره قوس الکتریکی استفاده می‌کنند مؤید این نکته است که استفاده از قراضه آهن در این کوره‌ها عامل اصلی پراکنش آلاینده‌ها است. این موضوع

در بررسی‌های Mansoori و همکاران (۳۸) نیز آمده است. همان‌گونه که در نتایج نیز ذکر شد، پراکنش وانادیم نسبت به سه عنصر دیگر در حاشیه صنایع گندله و فولاد و همچنین تا حدی شمال غربی منطقه مورد مطالعه بیشتر مشهود است. از آنجایی که کنسانتره سنگ آهن حاوی غلظت بالایی از فلزات سرب، نیکل و وانادیم است و انتقال آن از معدن چادرملو به کارخانه گندله‌سازی اردکان و فولاد مبارکه اصفهان توسط سیستم حمل و نقل ریلی صورت می‌گیرد لذا سیستم حمل ریلی نقش مهمی در پراکنش فلزات مذکور در منطقه دارد. ضمن اینکه باد غالب منطقه می‌تواند موجب انتشار کنسانتره دپوشده در محوطه به محیط پیرامون کارخانه شود. Sadr و همکاران (۱۴) در ارزیابی آلودگی بخشی از خاک‌های استان اصفهان به وانادیم ضمن معرفی فعالیت‌های صنعتی به‌عنوان مهمترین عامل در ورود این عنصر به خاک، جهت باد غالب را در انتشار آن مؤثر تشخیص دادند. Khaledan و همکاران (۳۹) نیز در بررسی آلودگی خاک‌های مجاور مجتمع فولاد مبارکه باد غالب را به‌عنوان عامل پراکنش سرب و کادمیوم در خاک منطقه معرفی کردند. Cansaran و همکاران (۴۰) در بررسی آلودگی هوای ناشی از صنایع آهن و فولاد در ترکیه دریافتند که غلظت سرب، کادمیوم، کروم و نیکل در گیاهانی که در فاصله کمتری نسبت به کارخانه‌های فولاد قرار دارند بیشتر است و این موضوع بیانگر آلودگی بالاتر خاک‌های پیرامون این صنایع بود که در نتایج این تحقیق نیز مورد تاکید قرار گرفته است.

یافته‌های این تحقیق نشان داد در شرایط یکسان از نظر غلظت عناصر، شاخص PI نسبت به شاخص‌های  $I_{geo}$  و EF خاک را در کلاس بالاتر آلودگی قرار می‌دهد که با دستاورد مطالعه Davashi و همکاران (۲۲) منطبق است.

روند رو به رشد صنایع در منطقه مورد مطالعه به‌ویژه افزایش تعداد کارخانه‌های گندله‌سازی و فولاد در شهرستان اردکان می‌تواند منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه شده و ضمن تاثیر منفی بر پوشش گیاهی منطقه و تشدید فرسایش بادی، موجب افزایش غلظت ذرات معلق حاوی فلزات

زیاد قرار داشت.

با توجه به اینکه در این مطالعه به دلیل محدودیت‌های مختلف (هزینه آنالیزهای آزمایشگاهی و مجوزهای قانونی) امکان نمونه‌برداری از خاک داخل مجموعه‌های صنعتی فراهم نشد لذا پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات بعدی با رفع این محدودیت‌ها تعداد بیشتری نمونه خاک و بافت‌های گیاهی موجود به‌ویژه مناطق در داخل صنایع تهیه و از نظر تجمع فلزات سنگین مورد بررسی قرار گیرد. همچنین اندازه‌گیری سایر شاخص‌ها مانند شاخص‌های بار آلودگی و شاخص خطر بالقوه اکولوژیکی به‌همراه پهنه‌بندی آلودگی امکان مقایسه توانایی شاخص‌ها در تبیین آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه را فراهم خواهد ساخت. همچنین بررسی وضعیت پوشش گیاهان بومی منطقه از نظر تجمع فلزات می‌تواند مبنای مطالعاتی در حوزه پالایش خاک منطقه قرار بگیرد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "ارزیابی اثر توسعه صنایع فولاد بر تجمع برخی عناصر کمیاب در خاک مناطق خشک با استفاده از شاخص‌های آلودگی در منطقه صنعتی اردکان" در مقطع دکترا است که با حمایت دانشگاه ملایر در سال ۱۳۹۶ اجرا شده است.

## References

1. Khosravi Y, Zamani AA, Parizanganeh AH, Yaftian MR. Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. *Geoderma Regional*. 2018;12:10-17.
2. Skaldina O, Peräniemi S, Sorvari J. Ants and their nests as indicators for industrial heavy metal contam-

سنگین در هوای مناطق پایین‌دست شده و سلامت افراد را به مخاطره بیندازد. انتقال آلاینده‌ها از راه هوا و آب به خاک علاوه بر تهدید سلامت و امنیت غذایی جامعه، می‌تواند احتمال بروز بیماری‌های شغلی را افزایش داده و منجر به افزایش نرخ مرگ و میر شود (۴۱). به‌عنوان مثال، طول عمر این دسته از بیماران معمولاً کمتر از ۴۵ سال است (۴۲). افزایش غلظت فلزات سنگین منجر به اثرات منفی بر سلامتی همانند بیماری‌های سیستم عصبی، تغییر شکل سلول‌های خونی و کاهش بهره‌دهی می‌شود، بعضی از فلزات سنگین نظیر سرب، آرسنیک، جیوه و کادمیوم در غلظت‌های خیلی کم سمی نیز سمی بوده و می‌توانند بیماری‌هایی مانند سرطان را ایجاد نمایند. بدیهی است که کودکان نسبت به نوجوانان و بزرگسالان در این مورد آسیب‌پذیرتر هستند (۲۲، ۴۳).

### نتیجه‌گیری

هرچند مدت زمان زیادی از شروع فعالیت صنایع تولید گندله و فولاد در اردکان نمی‌گذرد و بر پایه نتایج به‌دست آمده از این تحقیق خاک منطقه از نظر آلودگی به فلزات سنگین در کلاس بالای آلودگی قرار ندارد، ولی با توجه به افزایش غلظت برخی از عناصر نظیر سرب، وانادیم و روی در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله‌سازی و فولاد می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت این صنایع بر روند آلودگی خاک تاثیر داشته است. شاخص‌های زمین‌انباشتی و غنی‌شدگی، خاک منطقه را در کلاس پایین آلودگی قرار دادند ولی با توجه به شاخص آلودگی PI، خاک در کلاس آلودگی متوسط قرار گرفت و از نظر سه عنصر سرب، وانادیم و روی در برخی موارد در کلاس آلودگی

- ination. *Environmental Pollution*. 2018;240:574-81.
3. Ghemari C, Waterlot C, Ayari A, Leclercq J, Douay F, Nasri-Ammar K. Assessment of heavy metals in soil and terrestrial isopod *Porcellio laevis* in Tunisian industrialized areas. *Environmental Earth Sciences*. 2017;76(17):623.
4. He Z, Shentu J, Yang X, Baligar VC, Zhang T, Stoffella PJ. Heavy metal contamination of soils: sources,

- indicators and assessment. *Journal of Environmental Indicators*. 2015;9:17-18.
5. 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.
  6. Gupta S, Jena V, Matic N, Kapralova V, Solanki J. Assessment of geo-accumulation index of heavy metal and source of contamination by multivariate factor analysis. *International Journal of Hazardous Materials*. 2014;2(2):18-22.
  7. Emadodin I, Narita D, Bork HR. Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran. *Environment, Development and Sustainability*. 2012;14(5):611-25.
  8. Esmaili A, Moore F, Keshavarzi B, Jaafarzadeh N, Kermani M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. *CATENA*. 2014;121:88-98.
  9. Hosseini SM, Rezazadeh M, Salimi A, Ghorbanli M. Distribution of heavy metals and arsenic in soils and indigenous plants near an iron ore mine in northwest Iran. *Acta Ecologica Sinica*. 2018;38(5):363-67.
  10. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Committee on Contaminants in Foods, Proposed Draft Maximum Levels for Arsenic in Rice. Maastricht, The Netherlands: Joint FAO/WHO Food Standards Programme; 2012.
  11. Zolfaghari G, Atash ZAS, Sazgar A. Baseline heavy metals in plant species from some industrial and rural areas: Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment. *MethodsX*. 2018;5:43-60.
  12. Yang Z, Lu W, Long Y, Bao X, Yang Q. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2011;108(1):27-38.
  13. Azimzadeh B, Khademi H. Estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran Province, Iran. *Journal of Water and Soil*. 2013;27(3):548-59 (in Persian).
  14. Sadr S, Afyuni M, Fathian Por N. Spatial variability of arsenic under different land use in Isfahan region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*. 2010;13(5):65-75 (in Persian).
  15. Zhang YJ, Gao F, Wang ZH. Allocation of the environmental impact in iron and steel industry. *Materials Science Forum*. 2017;898:2413-21.
  16. Das B, Prakash S, Reddy P, Biswal S, Mohapatra B, Misra V. Effective utilization of blast furnace flue dust of integrated steel plants. *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*. 2002;2(2):61-68.
  17. Hu Y, Liu X, Bai J, Shih K, Zeng EY, Cheng H. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(9):6150-59.
  18. Namuhani N, Cyrus K. Soil contamination with heavy metals around Jinja steel rolling mills in Jinja Municipality, Uganda. *Journal of Health and Pollution*. 2015;5(9):61-67.
  19. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian A, Ali-Taleshi M, 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).
  20. Zong Y, Xiao Q, Lu S. Magnetic signature and source identification of heavy metal contamination in urban soils of steel industrial city, Northeast China. *Journal of Soils and Sediments*. 2017;17(1):190-203.
  21. Rezaipoorbaghdar A, Vaghrfard H, Azimzadeh H, Gholami H, Esmailpoor Y. Using of the PI, IPI and Mcd indices for evaluating of contamination status of some metals in waste sediments caused by iron ore processing in Chogart Mineral Complex of Bafgh. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 2016;6(1):1-13 (in Persian).
  22. Davashi L, Azimzadeh HR, Dadfarnia S, Daniali SR. An investigation on soil lead pollution due to vehicle traffic in Ghamishlu Refuge. *Journal of Environmental Studies*. 2013;39(3):49-57 (in Persian).
  23. Mohammad Moradi B, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Ecological risk of heavy metals in surface

- soils of urban parks. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;10(4):429-42.
24. Bihamta M, Zare Chahoki M. *Statistics Principles in Natural Resources*. Tehran University Press; 2010 (in Persian).
25. Loska K, Wiechuła D, Korus I. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*. 2004;30(2):159-65.
26. Ma L, Yang Z, Li L, Wang L. Source identification and risk assessment of heavy metal contaminations in urban soils of Changsha, a mine-impacted city in Southern China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(17):17058-66.
27. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*. 1969;2(3):108-18.
28. Loska K, Wiechuła D, Pelczar J. Application of enrichment factor to assessment of zinc enrichment/depletion in farming soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005;36(9-10):1117-28.
29. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001.
30. Yang Z, Lu W, Long Y, Liu X. Prediction and precaution of heavy metal pollution trend in urban soils of Changchun city. *Urban Ecology*. 2010;23:1-4.
31. Pais I, Jones Jr JB. *The Handbook of Trace Elements*. Boca Raton: CRC Press; 1997.
32. Hormozinezhad F, Zarasavandi A, Rastmanesh F. Contamination assessment of heavy metals in the soils around Khouzestan Steel Company (KSC) (Ni, Mn, Pb, Fe, Zn, Cr). *Journal of Economic Geology*. 2017;8(2):415-29 (in Persian).
33. Yuan G-L, Sun T-H, Han P, Li J. Environmental geochemical mapping and multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils of a closed steel smelter: Capital Iron & Steel Factory, Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2013;130:15-21.
34. Damian F, Damian G, Lăcătușu R, Macovei G, Iepure G, Năprădean I, et al. Soils from the Baia Mare zone and the heavy metals pollution. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2008;3(1):85-98.
35. Al-Khashman OA, Shawabkeh RA. Metal distribution in urban soil around steel industry beside Queen Alia Airport, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health*. 2009;31(6):717-26.
36. Karimi Nezhad MT, Tabatabaie SM, Gholami A. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. 2015;152:91-109.
37. Odabasi M, Bayram A, Elbir T, Seyfioglu R, Dumanoglu Y, Ornektekin S. Investigation of soil concentrations of persistent organic pollutants, trace elements, and anions due to iron-steel plant emissions in an industrial region in Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2010;213(1-4):375-88.
38. Mansoori N, Nejadkoorki F, Mousavian N. Evaluation of the efficiency of bag filters in removing dust and heavy metals released from electric arc furnaces. *Natural Environment Journal*. 2015;68(1):129-35 (in Persian).
39. Khaledan S, Taghavi L, Paykanpour Fard P. Investigation of spatial distribution of lead and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;10(2):151-64 (in Persian).
40. Cansaran-Duman D, Atakol O, Aras S. Assessment of air pollution genotoxicity by RAPD in *Evernia prunastri* L. Ach. from around iron-steel factory in Karabük, Turkey. *Journal of Environmental Sciences*. 2011;23(7):1171-78.
41. Akoteyon I, Mbata U, Olalude G. Investigation of heavy metal contamination in groundwater around landfill site in a typical sub-urban settlement in Alimosho, Lagos-Nigeria. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*. 2011;6(2):155-63.
42. Liang J, Chen C, Song X, Han Y, Liang Z. Assessment of heavy metal pollution in soil and plants from Dunhua sewage irrigation area. *International Journal of Electrochemical Science*. 2011;6(11):5314-24.
43. Khairy MA, Barakat AO, Mostafa AR, Wade TL. Multielement determination by flame atomic absorption of road dust samples in Delta Region, Egypt. *Microchemical Journal*. 2011;97(2):234-42.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel

GhR Siyahati Ardakani<sup>1</sup>, M Mirsanjari<sup>1\*</sup>, HR Azimzadeh<sup>2</sup>, E Solgi<sup>1</sup>

1- Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Environmental, Malayer University, Malayer, Iran

2- Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 1 August 2018

**Revised:** 23 October 2018

**Accepted:** 28 October 2018

**Published:** 19 December 2018

**Keywords:** Soil, Grindalizing and steel industries, Heavy metals, Pollution indices

### \*Corresponding Author:

mirmehrdadmirsanjari@yahoo.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** The establishment of pelletizing and steel industries in Ardakan suburbs has increased the pollutants such as heavy metals into the environment. The purpose of this study was to investigate the contamination of the area soil by heavy elements around these industries using the pollution index (PI), comprehensive pollution index (NIPI), accumulation index ( $I_{geo}$ ) and enrichment index (EF).

**Materials and Methods:** 57 soil samples were prepared by systematic-random sampling from 0 to 5 cm depth and levels of As, Cd, Cr, Mo, Ni, Pb, V and Zn were analyzed by ICP-OES.

**Results:** The highest and lowest mean of  $I_{geo}$  (0.49 and 0.36) and PI (2.16 and 1.17), were related to nickel, and the highest EF was calculated for Zn at about 25.1 and the lowest were detected for molybdenum approximately that was 17.1. The EF index of lead, vanadium and zinc, which was 15.8%, 5.3% and 1.8%, respectively, classified the study area in a medium enrichment class. Hot spots of lead, vanadium, nickel and zinc was at the nearest distance to these industries and downstream of wind direction.

**Conclusion:** Indicators of  $I_{geo}$  and EF showed a low level of soil pollution. The PI and NIPI indices in most stations were classified in medium pollution class, and the highest of these indicators was related to the surface soil of station 30, which was located near the steel industry. Therefore, it can be concluded that the activities of these industries had affected the soil contamination of the study area.