



ORIGINAL ARTICLE

Received:2018/09/10

Accepted:2018/12/05

## Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil around Major Industries of Ardakan City

Gholamreza Siyahati Ardakani (M.Sc.)<sup>1</sup>, Mirmehrdad Mirsanjari (Ph.D.)<sup>2</sup>, Hamidreza Azimzadeh (Ph.D.)<sup>3</sup>,  
Eisa Solgi (Ph.D.)<sup>3</sup>

1.Ph.D Student of Environmental science, School of Natural Resources and Environmental, Malayer University, Malayer, Iran

2.Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Environmental science, School of Natural Resources and Environmental, Malayer University, Malayer, Iran. Email:mirmehrdadmirsanjari@yahoo.com Tel:09121901134

3. Associate Professor, Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

### Abstract

**Introduction:** Today, the contamination caused by rapid development of industries has attracted the attention of scientific and environmental communities. This study was conducted to investigate the concentration and distribution of heavy metals in the topsoil of industrial areas in Ardakan city.

**Methods:** In this applied research, sampling of topsoil (0-5 cm depth) was performed using five linear transects in an area of 20000 hectares. Concentrations of As, Cd, Cr, Ni, Mo, Pb, V, and Zn were measured in 45 samples based on ICP-OES method. Then, indices of Contamination Level of Heavy Metal ( $C_f^i$ ), Potential Ecological Risk of Heavy Metals ( $E_R^i$ ), and Total Potential Ecological Risk (RI) were calculated. Moreover, Pearson's correlation was used to assess the relationship between heavy metal's concentrations.

**Results:** Results indicated that the mean concentrations of As, Cd, Cr, Mo, Ni, Pb, V, and Zn were 9.85, 0.31, 35.33, 1.001, 43.28, 18.51, 44.8, and 78.3 (mg/kg) in topsoil of studied area, respectively. Maximum concentrations of all heavy metals were found in samples collected from downstream and near the major industries except for Mo and Ni.  $E_R^i$  and RI indices also showed a significant increase in downstream. Strong correlations were found between Cr-Ni, Cd-Zn, and As-Cr, which indicate that these metals probably have the same source.

**Conclusion:** The ecological risk of the whole area was low. However, the increase of ecological risk in the surrounding and downstream of steel, pelletizing, as well as tile and ceramic factories indicated the dominant role of prevailing wind in the distribution and spread of pollution. This fact indicates the necessity of attention to the site selection studies of these industries. Furthermore, the results indicated the necessity of taking preventive measures such as phytoremediation in the downstream of the industrial areas in this region.

**Keywords:** Ardakan, Heavy metals, Soil, Soil Pollution, Steel industry

**Conflict of interest:** The authors declared that there is no Conflict interest



**This Paper Should be Cited as:**

Author:Gholamreza Siyahati Ardakani, Mirmehrdad Mirsanjari, Hamidreza Azimzadeh, Eisa Solgi. Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil Around Major Industries of Ardakan City...Toloobehtasht Journal.2019;17(6):95-  
.[Persian]



## ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در خاک سطحی پیرامون صنایع اصلی در شهرستان اردکان

نویسندگان: غلامرضا سیاحتی اردکانی<sup>۱</sup>، میرمهرداد میرسنجری<sup>۲</sup>، حمیدرضا عظیمزاده<sup>۳</sup>، عیسی سلگی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲. نویسنده مسئول: استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تلفن تماس: ۰۹۱۲۱۹۰۱۱۳۴ Email:mirmehrdadmirsanjari@yahoo.com

۳. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

### طلوع بهداشت

#### چکیده

**مقدمه:** امروزه با گسترش روزافزون صنایع، آلودگی‌های ناشی از آن توجه مجامع علمی و زیست محیطی را به خود جلب نموده است. تحقیق حاضر به منظور مطالعه غلظت و پراکنش فلزات سنگین در خاک سطحی منطقه‌ای صنعتی در شهرستان اردکان انجام شد.

**روش بررسی:** این مقاله کاربردی می‌باشد و بدین منظور در منطقه‌ای به وسعت ۲۰۰۰۰ هکتار نمونه‌برداری از خاک سطحی (عمق صفر تا پنج سانتی متری) در قالب ۵ ترانسکت خطی انجام شد. در مجموع در ۴۵ نمونه خاک غلظت آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل، مولیبدن، سرب، وانادیوم و روی به روش ICP-OES اندازه‌گیری گردید. سپس شاخص‌های فاکتور آلودگی ( $C_f$ )، ریسک بالقوه اکولوژیکی ( $E_R^i$ ) و خطر بالقوه اکولوژیکی کل (RI) محاسبه شد. همچنین از همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین فلزات سنگین مختلف با یکدیگر استفاده شد.

**یافته‌ها:** یافته‌های تحقیق نشان داد میانگین غلظت فلزات مورد بررسی معادل ۹/۸۵، ۰/۳۱، ۳۵/۳۳، ۱/۰۰۱، ۴۳/۲۸، ۱۸/۵۱، ۴۴/۸، ۷۸/۳ به ترتیب برای عناصر As، Cd، Cr، Mo، Ni، Pb، V و Zn میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک منطقه است. غلظت تمام عناصر مورد بررسی به جز مولیبدن و نیکل، در پایین دست و نزدیکی صنایع فولاد، گندله و کاشی و سرامیک در بالاترین مقدار اندازه‌گیری شده بود.  $E_R^i$  عناصر و RI نیز در پایین دست صنایع افزایش چشمگیری نشان داد. قوی‌ترین میزان همبستگی میان غلظت جفت عناصر Cr-Ni، Cd-Zn، Cr-Cd و As-Cr وجود داشت که بیانگر منشأ انتشار مشابه برای فلزات مذکور می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** گرچه ریسک اکولوژیک کل منطقه مورد بررسی در کلاس ریسک کم ارزیابی شد، اما افزایش ریسک اکولوژیک در اطراف و پایین دست کارخانه‌هایی نظیر فولاد و گندله‌سازی و صنایع کاشی و سرامیک بیان‌گر نقش باد غالب در پراکنش و گسترش آلودگی بوده و لزوم توجه به مکان‌یابی استقرار این دسته از صنایع بیش از پیش مشخص می‌گردد ضمن این که نتایج تحقیق حاضر بیان‌گر ضرورت اقدامات پیشگیرانه نظیر گیاه‌پالایی در پایین دست صنایع این منطقه است.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، خاک، آلودگی خاک، صنایع فولاد، اردکان.

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال هفدهم

شماره ششم

بهمن و اسفند ۱۳۹۷

شماره مسلسل: ۷۲

تاریخ وصول: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴



## مقدمه

آلودگی خاک به شمار آید (۲۰). خاک سطحی یکی از منابع اصلی گرد و غبارهای اتمسفری به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است که به نوبه خود سلامت انسان و سایر اجزا اکوسیستم‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین مطالعه و ارزیابی غلظت و پراکنش فلزات سنگین در خاک سطحی و عوامل مؤثر بر آن از اهمیت بسزایی برخوردار است.

برآورد ریسک اکولوژیک فرآیندی است که طی آن احتمال متأثر شدن محیط زیست از یک یا چند تنش محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. یک فرآیند انعطاف‌پذیر که نه تنها داده‌ها، اطلاعات، فرضیات و تردیدها را سامان‌دهی و تحلیل می‌کند، بلکه هم چنین احتمال تأثیرات نامطلوب اکولوژیک را نیز ارزیابی می‌کند (۲۱). شاخص ریسک اکولوژیک (RI) می‌تواند در ارزیابی تأثیر هم‌زمان چندین عامل آلوده‌کننده در شرایط مشخص مورد استفاده قرار گیرد (۲۲). لذا محققان در سرتاسر دنیا به طور گسترده در برآورد و تحلیل تأثیرات اکولوژیک بالقوه فلزات سنگین از شاخص مذکور استفاده می‌کنند (۲۳).

در سال‌های اخیر، استفاده از ریسک بالقوه اکولوژیک به عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی به فلزات سنگین در مناطق صنعتی بسیار مورد توجه بوده است. به عنوان مثال در تحقیقی که در شهر رفسنجان (به عنوان یک شهر صنعتی) انجام شد، تمام ریسک بالقوه اکولوژیک نقاط شهر به صورت معنی‌داری بالا بود (۱۸). امینیان و همکاران در این پژوهش صنایع اطراف این شهر مانند معدن و کارخانه ذوب مس، کارخانه کاشی و سرامیک و استفاده بیش از حد از حشره کش‌ها و سموم توسط کشاورزان در باغات پسته را عامل آن تشخیص دادند (۲۴). Mohseni-Bandpei و همکاران نیز غلظت و ریسک بالقوه

افزایش رشد جمعیت و توسعه‌ی روزافزون فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی منجر به انتشار فلزات سنگین به محیط زیست شده و آن را به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی اجزای محیط زیست مطرح نموده است (۵-۱). این عناصر به دلیل سمیت و قابلیت بزرگنمایی زیستی به عنوان آلوده‌کننده‌های اصلی محیط زیست شناخته می‌شوند (۶، ۷). از این رو به دلیل اثرات نامطلوب این عناصر بر سلامت انسان و محیط زیست، محققان زیادی در مطالعات خود، غلظت فلزات سنگین را در اجزای مختلف محیط زیست مورد بررسی قرار داده‌اند (۸-۱۰). هر چند یکی از دلایل حضور فلزات سنگین در محیط زیست، سنگ مادری و طبیعی است ولی بسیاری از تحقیقات انجام گرفته در محیط‌های طبیعی، منشأ آلودگی‌های فلزات سنگین را عوامل و فعالیت‌های انسانی از جمله صنایع مختلف و ماشین-آلات دانستند (۱۱-۱۷، ۳-۵). از این رو شناخت صنایع آلوده-کننده و میزان آلودگی ناشی از فعالیت آن‌ها از نظر مدیریت آلودگی‌های محیط زیست، برنامه‌ریزی برای کاهش این آلودگی‌ها (به عنوان مثال از طریق گیاه‌پالایی و...) و مدیریت سیمای سرزمین بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

خاک یکی از اجزای اصلی بیوسفر است که نه تنها به عنوان یک منبع برای ذخیره آلودگی‌های زیست محیطی شناخته می‌شود، بلکه به عنوان یک بافر برای کنترل انتقال آلودگی‌های شیمیایی به سایر اجزای محیط مانند اتمسفر، هیدروسفر و موجودات زنده نیز عمل می‌کند (۱۸، ۱۹). فلزات سنگین به دلیل ماهیت مقاوم و عدم تجزیه‌ی زیستی برای مدت‌های طولانی در خاک باقی می‌مانند، لذا می‌تواند شاخص خوبی برای ارزیابی روند افزایش



اکولوژیک فلزات سنگین مختلف را در بخش‌های مختلف شهر اسفراین مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند، نتایج تحقیق ایشان نشان‌دهنده بالاتر بودن غلظت و به تبع آن ریسک اکولوژیک این فلزات در مناطق صنعتی و میادین اصلی و پر رفت و آمد شهر بود (۲۵). در تحقیقی دیگر که در اطراف معدن زغال سنگ در استان جیلین چین انجام شد، کادمیوم به عنوان فلزی با بالاترین ریسک بالقوه اکولوژیک شناسایی شد. تحقیق مذکور معدن زغال سنگ و کارخانه فرآوری زغال سنگ را به عنوان منشأ این آلودگی در خاک معرفی نمود (۲۶). در پژوهشی دیگر که در یک منطقه صنعتی در شمال شرقی چین انجام شد نیز ریسک بالقوه اکولوژیک عناصر مختلف در خاک سطحی ارزیابی و منشأ آلودگی آن‌ها شناسایی گردید (۲۷). نتایج تحقیق مذکور نشان داد که ریسک اکولوژیک در این منطقه نسبتاً پایین بوده و مناطق صنعتی و کشاورزی در آلودگی خاک به عناصر متفاوتی نقش داشتند، به طوری که در مناطق صنعتی غلظت عناصری مانند Cu, As, Pb و Zn بیشتر بوده و همبستگی بالایی با یکدیگر داشتند، اما این همبستگی در مناطق کشاورزی برای غلظت عناصر Cr, Co, Ni و Ti بیشتر بوده است (۲۷). تمام تحقیقات انجام شده با استفاده از شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک حاکی از آن است که استفاده از این شاخص در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک سطحی می‌تواند در متمرکز ساختن اقدامات پیشگیرانه و مقابله مؤثر با چنین آلودگی‌هایی بسیار مؤثر باشد (۲۶).

شهرستان اردکان به عنوان بزرگ‌ترین شهرستان استان یزد در منطقه‌ای خشک و بیابانی قرار گرفته است و با متوسط بارش سالانه کمتر از ۶۰ میلیمتر، از کم‌ترین پوشش گیاهی برخوردار

می‌باشد. طی سال‌های گذشته صنایع مختلفی از جمله کارخانه‌های گندله‌سازی و فولاد در حاشیه این شهرستان ایجاد گردیده و رو به توسعه می‌باشد. عمده‌ترین صنایع استقرار یافته در این منطقه شامل کاشی و سرامیک، شیشه، گندله‌سازی و فولاد بوده که فرآیند تولید در این صنایع در مراحل نظیر تخلیه و دپوی مواد اولیه، سنگ‌شکن، آسیاب و کوره پخت می‌تواند منجر به انتشار عوامل آلاینده مختلفی به هوا و خاک مناطق پیرامونی گردد. با توجه به مواد اولیه مصرفی در صنایع فولاد و گندله‌سازی، احتمال ورود و تجمع فلزات سنگین در خاک منطقه دور از ذهن نیست. از طرفی با توجه به پوشش گیاهی اندک منطقه و وزش بادهایی با سرعت بیش از ۲۰ کیلومتر بر ساعت علاوه بر ایجاد فرسایش بادی زمینه شکل‌گیری طوفان‌های گرد و خاک و انتشار ذرات معلق را در هوای منطقه ایجاد می‌نماید. از این رو بررسی غلظت فلزات سنگین موجود در خاک سطحی که می‌تواند در اثر چنین طوفان‌هایی به مناطق شهری منتقل گردد، و ارزیابی ریسک اکولوژیک که در پی خواهند داشت، بسیار ضروری به نظر می‌رسد. اما متأسفانه تاکنون مطالعات چندانی در این زمینه در شهرستان اردکان انجام نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی غلظت برخی عناصر کمیاب و فلزات سنگین در ارتباط با فاصله از این صنایع و جهت باد غالب منطقه انجام گردید. هم‌چنین شناسایی نقاط داغ آلوده با استفاده از شاخص ریسک اکولوژیک تک تک عناصر و ریسک اکولوژیک کلی در اطراف کارخانه‌های مذکور از دیگر اهداف پژوهش حاضر بود.

### روش بررسی

منطقه مورد مطالعه: صنایع گندله‌سازی و فولاد در فاصله ۲۵



در کیسه نایلونی در بسته به آزمایشگاه منتقل گردید. برای غلظت زمینه می توان از متوسط غلظت عناصر پوسته زمین که در منابع مختلف آمده است استفاده کرد ولی به دلیل تأثیر نوع مواد خرد شده از سنگ های مادری خاک و به منظور تدقیق آن بهتر است با ایجاد پروفیل یا نیمرخ خاک (گودال نمونه برداری) و نمونه برداری متناوب از لایه های خاک، به غلظتی در عمق رسید که تغییرات آن با لایه های بالایی و پائینی زیاد نباشد و از متوسط غلظت هر عنصر در چند لایه پائینی 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 m تا ۳ m منطقه مورد مطالعه به عنوان غلظت زمینه در این مطالعه استفاده شد (۲۸).

آماده سازی نمونه های خاک بر اساس روش استاندارد اینزو ۱۱۴۶۶ انجام شد. به این منظور ۳ gr نمونه ی خاک از الک  $\mu\text{m}$  ۲ 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 نمونه های خنک شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ ml رسانده شد (۲۹، ۳۰).

در نهایت غلظت عناصر As, Cd, Cr, Mo, Ni, Pb, V و Zn به کمک دستگاه ICP-OES اندازه گیری شد. سپس بر اساس غلظت های اندازه گیری شده و به کمک فرمول های مربوطه شاخص های آلودگی تعیین گردید.

شاخص ریسک اکولوژیک: شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی که در سال ۱۹۸۰ توسط ها کانسون پیشنهاد شد (۳۱) به ارزیابی خطر بالقوه اکولوژیکی فلزات سنگین می پردازد و در آن

کیلومتری شمال غرب شهر اردکان واقع شده اند و با توجه به این که جهت وزش باد غالب از شمال غرب به جنوب شرق می باشد لذا در این مطالعه ی کاربردی، منطقه مورد مطالعه با توجه به محل استقرار صنایع و جهت وزش باد به گونه ای انتخاب شده تا به خوبی مناطق بالادست و پایین دست را پوشش دهد، بر این اساس همان گونه که در شکل ۱ دیده می شود منطقه ی انتخابی به طول ۲۰ و عرض ۱۰ کیلومتر با مساحت تقریبی ۲۰۰۰۰ هکتار و در بین طول های جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی واقع شده است.

نمونه برداری خاک سطحی: به منظور نمونه برداری از خاک سطحی، در منطقه مورد مطالعه ۵ ترانسکت در جهت شمال شرقی- جنوب غربی با فاصله تقریبی ۱/۵ کیلومتر از یکدیگر، به صورت فرضی در نظر گرفته شد. در مسیر هر یک از ترانسکت-ها ۹ نمونه ترکیبی با فواصل متفاوت از عمق صفر تا ۵ سانتی-متری خاک برداشت گردید. لازم به ذکر است با توجه به وجود کاربری های مختلف (زمین محل استقرار صنایع، مناطق صعب العبور و مناطق نظامی) در نقاط مختلف مسیر هر یک از ترانسکت های فرضی، سعی شد تا حد امکان فواصل نقاط نمونه برداری روی ترانسکت های مختلف مشابه باشد. بدین ترتیب نمونه ها از بالادست و پایین دست صنایع (با توجه به جهت وزش باد غالب) جمع آوری و در کیسه های نایلونی به آزمایشگاه منتقل شد. اندازه گیری غلظت فلزات سنگین: نمونه های خاک از عمق ۰ cm تا ۵ cm به صورت ترکیبی (از مرکز و رئوس مربعی به ضلع ۱۰ m) برداشت و پس از مخلوط کردن آن ها و همگن سازی، حدود ۱ kg خاک به عنوان نمونه تهیه و ضمن نگهداری



صورت زیر مشخص نموده است (۳۱):

$E_R^i < 40$  (ریسک کم)،  $40 \leq E_R^i < 80$  (ریسک متوسط)،  $80 \leq E_R^i < 160$  (ریسک قابل ملاحظه)،  $160 \leq E_R^i < 320$  (ریسک زیاد)  $E_R^i \geq 320$  (آلودگی خیلی زیاد).  
در نهایت با استفاده از معادله ۳ شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی کل (RI) محاسبه گردید:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_R^i \quad (3)$$

که در آن RI مجموع شاخص ریسک بالقوه اکولوژیکی n عنصر و  $E_R^i$  ریسک اکولوژیکی عنصر i می باشد. کلاس بندی ریسک اکولوژیکی بر اساس RI حاصل از عناصر با توجه به ۴ کلاس ریسک مشخص شده توسط هاکنسون به صورت:  $RI < 150$  (ریسک کم)،  $150 \leq RI < 300$  (ریسک متوسط)،  $300 \leq RI < 600$  (ریسک زیاد) و  $RI \geq 600$  (ریسک خیلی زیاد) مشخص شده است. از آنجا که هر یک از ترانسکت های نمونه برداری در مسیر خود از صنایع مختلفی عبور می کردند، محاسبه شاخص های آلودگی و کلاسه بندی هادر هر یک از ترانسکت ها به صورت مجزا انجام شد. بدین ترتیب می توان اثر صنایع مختلف بر میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و شاخص های مورد مطالعه را بهتر و دقیق تر مورد مطالعه قرار داد. پس از جمع آوری داده ها، بانک اطلاعاتی در نرم افزار Excel 2013 تشکیل و تمام نمودارها و محاسبات شاخص های عددی با استفاده از این نرم افزار انجام شد. به منظور بررسی منشا آلودگی عناصر مختلف از آزمون همبستگی پیرسون استفاده گردید. بدین ترتیب که عناصر با همبستگی بالا به احتمال زیاد دارای منشا یکسان می باشند. برای این منظور از نرم افزار آماری SPSS 17 استفاده شد.

هم افزایی میزان سمیت، غلظت فلزات سنگین و حساسیت اکولوژیکی به صورت جامع لحاظ می گردد (۳۴-۳۲).  
ریسک بالقوه اکولوژیکی هر عنصر ( $E_R^i$ ) و شاخص خطر بالقوه اکولوژیکی کل (RI) طبق مراحل زیر محاسبه گردید:  
ابتدا فاکتور آلودگی برای هر عنصر در هر نمونه خاک بر اساس معادله یک محاسبه گردید.

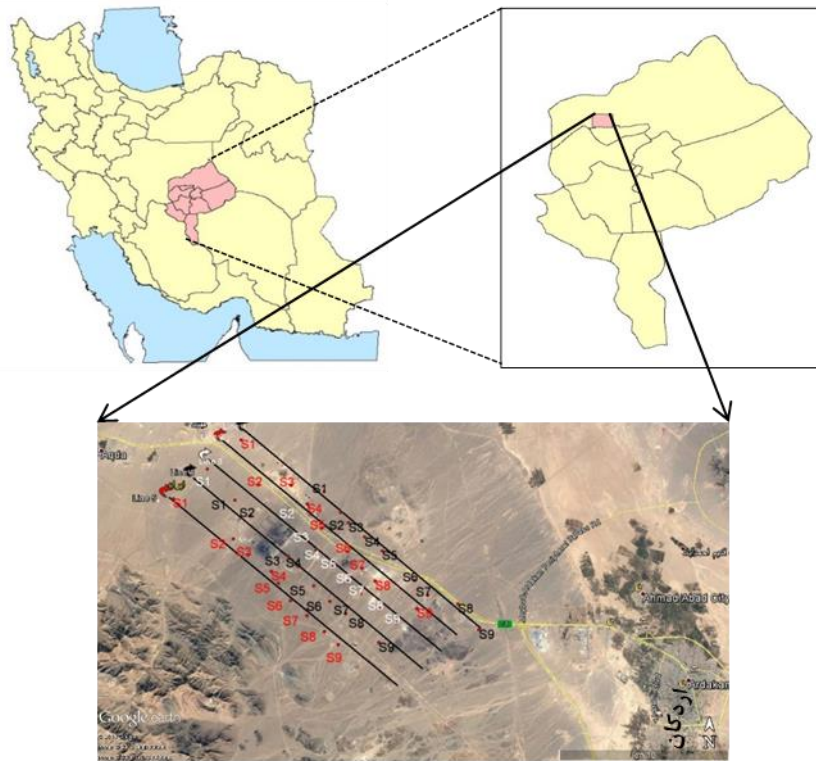
$$C_f^i = \frac{C_i}{C_{Ri}} \quad (1)$$

که در این معادله  $C_f^i$  فاکتور آلودگی عنصر i،  $C_i$  غلظت عنصر i ام حاصل از میانگین حداقل ۵ نمونه،  $C_{Ri}$  غلظت عنصر i در مرجع می باشد (۳۵). هاکنسون ۴ کلاس آلودگی برای شاخص  $C_f^i$  به صورت زیر مشخص کرده است: (۳۱)  
 $C_f^i < 1$  (آلودگی کم)،  $1 \leq C_f^i < 3$  (آلودگی متوسط)،  $3 \leq C_f^i < 6$  (آلودگی زیاد)،  $C_f^i \geq 6$  (آلودگی خیلی زیاد). در این مطالعه میانگین شاخص  $C_f^i$  در هر یک از ترانسکت های نمونه برداری برای تعیین کلاس آلودگی استفاده شد.

ریسک اکولوژیکی هر عنصر با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$E_R^i = T_R^i \times C_f^i \quad (2)$$

که در این معادله  $E_R^i$  ریسک اکولوژیکی عنصر i،  $T_R^i$  فاکتور پاسخ سمیت عنصر i و  $C_f^i$  فاکتور آلودگی عنصر i می باشد. فاکتور پاسخ سمیت برای تعدادی از عناصر در سال ۱۹۸۰ توسط هاکنسون تعیین گردیده است که برای جیوه، کادمیوم، آرسنیک، مس، سرب، کروم و روی به ترتیب برابر با ۴۰، ۳۰، ۱۰، ۵، ۵ و ۱ می باشد. میزان ریسک بالقوه اکولوژیکی هر عنصر در هر ترانسکت نمونه برداری نیز بر اساس مقدار  $E_R^i$  هر عنصر، محاسبه شده و کلاس آلودگی نیز مشخص گردید. هاکنسون ۵ کلاس را برای ریسک اکولوژیکی عناصر به



شکل ۱: موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و ترانسکت‌های نمونه برداری

## یافته ها

۳ متری در منطقه مورد مطالعه، بیشتر بود (جدول ۱). شاخص‌های فاکتور آلودگی و ریسک بالقوه اکولوژیک عناصر مختلف برای نمونه‌های خاک سطحی جمع‌آوری شده در مسیر هر یک از ترانسکت‌ها محاسبه شد. سپس کلاسه بندی آلودگی هر ترانسکت بر اساس میانگین مقدار شاخص  $C_f^I$  و  $E_R^I$  هر عنصر در ایستگاه‌های نمونه برداری انجام شد. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در تمام مسیرهای نمونه برداری کلاسه فاکتور آلودگی ( $C_f^I$ ) تمام عناصر مورد مطالعه، متوسط ارزیابی شد. همچنین برآوردها نشان داد که تنها در مورد عنصر کادمیوم (Cd) ریسک بالقوه اکولوژیک در دو ترانسکت اول و چهارم نمونه برداری متوسط بوده و در سایر مسیرهای نمونه برداری و برای سایر عناصر ریسک بالقوه اکولوژیک کم ارزیابی گردید.

میانگین، انحراف معیار، میانه، کمترین و بیشترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده عناصر ۸ گانه در نمونه‌های جمع‌آوری شده در جدول ۲ قابل مشاهده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین غلظت عناصر Zn و V, Pb, Ni, Mo, Cr, Cd, As در نمونه‌های جمع‌آوری شده از خاک سطحی منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۲/۷، ۰/۴۳، ۴۶، ۱/۳۳، ۵۶، ۳۱، ۱۰۷ و ۲۰۰ (mg/kg) بود (جدول ۲).

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برای غلظت عناصری نظیر آرسنیک، کادمیوم، سرب و روی در مقایسه با مقادیر گزارش شده برای پوسته زمین بیشتر بود. همچنین میانگین مقادیر غلظت تمام عناصر مورد مطالعه در مقایسه با مقادیر مرجع اندازه‌گیری شده در عمق ۲ الی



جدول ۱: آماره‌های غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع آوری شده از خاک منطقه مورد مطالعه

Zn	V	Pb	Ni	Mo	Cr	Cd	As	آماره‌های توصیفی
۵۲	۳۳	۱۲	۲۳	۰/۸۷	۱۶	۰/۲۷	۷/۸	حداقل
۲۰۰	۱۰۷	۳۱	۵۶	۱/۳۳	۴۶	۰/۴۳	۱۲/۷	حداکثر
۷۸	۴۳	۱۶	۴۵	۰/۹۹	۳۶	۰/۳۲	۹/۹	میان
۲۰/۷	۱۱/۶	۵/۸	۷/۶۶	۰/۰۹	۶/۰۹	۰/۰۲۸	۱/۰۴	انحراف معیار
۷۸/۳	۴۴/۸	۱۸/۵۱	۴۳/۲۸	۱/۰۰۱	۳۵/۳۳	۰/۳۱	۹/۸۵	میانگین
۷۵	۱۶۰	۱۴	۸۰	۱/۵۰	۱۰۰	۰/۱۱	۱/۵۰	میانگین
								پوسته زمین
۳۶	۲۱	۹	۲۰	۰/۸۷	۱۷	۰/۲۴	۶/۹۰	مرجع منطقه‌ی مورد مطالعه*

\*- اندازه گیری شده توسط نگارنده در عمق ۲ الی ۳ متری خاک در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲: کلاسه بندی آلودگی منطقه بر اساس شاخص‌های  $E_R^I$  و  $C_f^I$

Zn	V	Pb	Ni	Mo	Cr	Cd	As	مسیر نمونه برداری
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	۱ ترانسکت
(۲/۵۶)	(۲)	(۲/۴۲)	(۲/۰۷)	(۱/۱۹)	(۲/۰۷)	(۱/۴)	(۱/۵۱)	
کم	کم	کم	کم	کم	کم	متوسط	کم	۲ ترانسکت
(۲/۵۶)	(۴)	(۱۲/۱)	(۱۰/۳۶)	(۱۷/۹۱)	(۴/۱۴)	(۴۱/۹۴)	(۱۵/۱۰)	
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	۳ ترانسکت
(۱/۹۴)	(۱/۸۹)	(۱/۶)	(۲/۰۶)	(۱/۱۴)	(۱/۹۴)	(۱/۲۸)	(۱/۳۸)	
کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	۴ ترانسکت
(۱/۹۴)	(۳/۷۹)	(۸/۰۲)	(۱۰/۲۸)	(۱۷/۰۳)	(۳/۸۸)	(۳۸/۳۳)	(۱۳/۷۸)	
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	۵ ترانسکت
(۲/۱۹)	(۲/۵۳)	(۲/۳۱)	(۲/۲۷)	(۱/۱۹)	(۲/۱۶)	(۱/۳۲)	(۱/۴۶)	
کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	۶ ترانسکت
(۲/۱۹)	(۵/۰۷)	(۱۱/۵۴)	(۱۱/۳۶)	(۱۷/۷۸)	(۴/۳۳)	(۳۹/۵۸)	(۱۴/۶۲)	
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	۷ ترانسکت
(۲/۱۵)	(۲/۱۷)	(۲/۰۲)	(۲/۲۱)	(۱/۱۲)	(۲/۰۹)	(۱/۳۳)	(۱/۴)	
کم	کم	کم	کم	کم	کم	متوسط	کم	۸ ترانسکت
(۲/۱۵)	(۴/۳۵)	(۱۰/۱۲)	(۱۱/۰۳)	(۱۶/۸۴)	(۴/۱۸)	(۴۰/۱)	(۱۳/۹۹)	
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	۹ ترانسکت
(۲/۰۵)	(۲/۰۷)	(۱/۹۳)	(۲/۲۲)	(۱/۱۲)	(۲/۱۲)	(۱/۳)	(۱/۳۹)	
کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	۱۰ ترانسکت
(۱/۹۷)	(۳/۹۵)	(۹/۳۲)	(۱۰/۲۸)	(۱۶/۸۲)	(۳/۹۵)	(۳۹/۱۷)	(۱۳/۵۶)	

میانگین شاخص‌های  $E_R^I$  و  $C_f^I$  هر ترانسکت در پراکنش آمده است.



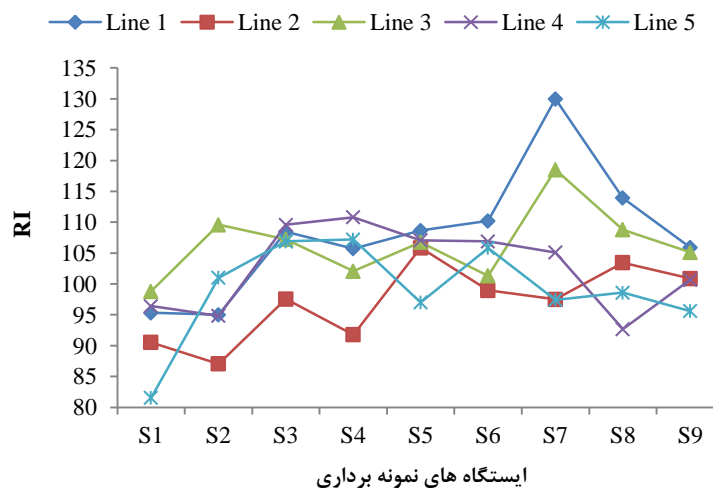


مربوطه نمایش داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که ریسک اکولوژیک کل (RI) نیز همانند شاخص  $ER^I$ ، در پایین دست و نزدیکی صنایع با افزایش ناگهانی مواجه شده بود و با افزایش فاصله از صنایع در پایین دست روند کاهشی داشت (شکل ۲).

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان‌دهنده وجود همبستگی مثبت در سطح ۵ درصد بین غلظت عناصر As-Zn، As-Cd و Pb-V بود (جدول ۴). هم چنین این نتایج نشان دهنده همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین غلظت عناصر Cr-Pb و Ni-Pb بود (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد نیز بین غلظت برخی عناصر وجود داشت، که در این میان عناصر Cr-Ni، Cd-Zn و As-Cr بیشترین میزان همبستگی را با یکدیگر نشان دادند.

جدول ۳: کلاسه بندی ریسک اکولوژیک کل در مسیرهای مختلف نمونه برداری

ریسک اکولوژیک کل	RI	مسیر نمونه برداری
ریسک کم	۱۰۸/۱۳	ترانسکت ۱
ریسک کم	۹۷/۰۶	ترانسکت ۲
ریسک کم	۱۰۶/۴۷	ترانسکت ۳
ریسک کم	۱۰۲/۶۷	ترانسکت ۴
ریسک کم	۹۹/۰۱	ترانسکت ۵



شکل ۲: تغییرات شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک کل در مسیر ترانسکت‌های نمونه برداری



جدول ۴: نتایج همبستگی پیرسون غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه

Zn	V	Pb	Ni	Mo	Cr	Cd	As	
*.۰/۳۶۹	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳	**۰/۴۹۱	-۰/۱۱۱	**۰/۵۵۲	*.۰/۳۵۹	۱	As
**۰/۷۳۹	-۰/۰۱۹	**۰/۳۸۹	۰/۰۵۱	۰/۰۴۵	۰/۱۴۲	۱		Cd
۰/۱۵۶	۰/۱۳۸	*-۰/۳۷۳	**۰/۹۵۷	-۰/۰۶۵	۱			Cr
۰/۰۹۶	-۰/۱۴۲	۰/۱۵۱	-۰/۰۸۱	۱				Mo
۰/۰۹۲	۰/۲۶۹	*-۰/۳۴۸	۱					Ni
**۰/۴۹۶	*.۰/۳۴۴	۱						Pb
۰/۱۵۸	۱							V
۱								Zn

\* - همبستگی معنی دار در سطح پنج درصد

\*\* - همبستگی معنی دار در سطح یک درصد

### بحث و نتیجه گیری

همان طور که در نتایج ذکر شد، میانگین غلظت اندازه گیری شده برای آرسنیک، کادمیوم، سرب و روی در مقایسه با مقادیر گزارش شده برای پوسته زمین بیشتر بود. هم چنین میانگین غلظت تمام عناصر مورد مطالعه در مقایسه با مقادیر مرجع اندازه گیری شده در عمق ۲ الی ۳ متری نیز در منطقه مورد مطالعه، بیشتر بود (جدول ۱).

در این گزارش، حداکثر غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده در منطقه برابر ۱۲/۷، ۰/۴۳، ۴۶، ۱/۳۳، ۵۶، ۳۱، ۱۰۷ و ۲۰۰ (mg/kg) به ترتیب برای فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، مولیبدن، نیکل، سرب، وانادیوم و روی بود (جدول ۲). این غلظت ها عموماً در نمونه هایی که از اطراف یا پایین دست و در فاصله کمی از صنایع عمده مستقر در منطقه مورد مطالعه جمع - آوری شده بودند، اندازه گیری شدند. در مورد آرسنیک، نمونه مربوط به اطراف صنایع کاشی و سرامیک (S6 - ترانسکت ۱)، برای کادمیوم نمونه برداشت شده از اطراف صنایع فولاد (S7 - ترانسکت ۱)، در مورد کروم نمونه جمع آوری شده از

اطراف صنایع کاشی و سرامیک و پایین دست گندله و فولاد (S7 - ترانسکت ۳)، برای فلز مولیبدن نمونه برداشت شده از بالادست صنایع (S3 - ترانسکت ۲)، در مورد نیکل از نمونه جمع آوری شده از اطراف نیروگاه سیکل ترکیبی (S2 - ترانسکت ۵)، برای فلز سرب نمونه اندازه گیری شده از اطراف صنایع فولاد (S7 - ترانسکت ۱)، در مورد وانادیوم نمونه برداشت شده از اطراف صنایع گندله سازی (S5 - ترانسکت ۳) و بالاخره برای فلز روی نیز نمونه جمع آوری شده از اطراف صنایع فولاد (S7 - ترانسکت ۱) بیشترین مقادیر غلظت های اندازه گیری شده را به خود اختصاص داده بودند. این نتایج بیان گر اهمیت صناعی مانند کاشی و سرامیک، گندله سازی و فولاد در آلودگی فلزات سنگین خاک سطحی می باشد. در تحقیقی مشابه که در اطراف کارخانه فولاد خوزستان انجام گرفت نیز میزان آلودگی به فلزات سنگین در اطراف و پایین دست این کارخانه بیشتر از مناطق بالادست و با فاصله بیشتر گزارش شد (۳۶). در تحقیق مذکور فلزات منگنز، کروم، روی و سرب، به عنوان مهم ترین عناصر انتشار یافته از کارخانه فولاد



ایفا می‌کند.

بر اساس نتایج این تحقیق در تمام منطقه مورد مطالعه و برای تمام فلزات سنگین اندازه‌گیری شده آلودگی خاک سطحی منطقه بر اساس شاخص  $G_f^I$  در حد متوسط ارزیابی شد (جدول ۲). در تحقیقی مشابه در مجاورت کارخانه فولاد کرمان کلاسه فاکتور آلودگی بین متوسط تا آلودگی قابل توجه ارزیابی شد (۳۷). Hormozi Nejad و همکاران (۳۶) نیز فاکتور آلودگی خاک در اطراف کارخانه فولاد خوزستان را برای فلزات کروم و نیکل پایین و برای فلزات آهن، سرب، منگنز و روی در محدوده متوسط ارزیابی نمودند.

گرچه میانگین ریسک بالقوه اکولوژیک (شاخص  $E_R^I$ ) عناصر مختلف در بیشتر ترانسکت‌های نمونه‌برداری در کلاسه دارای ریسک کم قرار گرفت (جدول ۲)، اما در راستای افزایش ناگهانی غلظت عناصر در برخی نقاط نمونه‌برداری این شاخص نیز به طور چشم‌گیری افزایش داشت. نقش باد غالب در پراکنش و گسترش آلودگی در پایین دست ثابت شده است (۴۲). لذا با توجه به این که این افزایش ریسک اکولوژیک در اطراف و پایین دست کارخانه‌هایی نظیر فولاد و گندله‌سازی و صنایع کاشی و سرامیک اتفاق افتاده بود، لزوم توجه به مکان‌یابی استقرار این دسته از صنایع بیش از پیش مشخص می‌گردد. در بین فلزات سنگین مورد بررسی، فقط ریسک بالقوه اکولوژیک کادمیوم در مواردی در کلاسه متوسط قرار گرفت (جدول ۲). در موارد متعددی این عنصر به عنوان عنصری با ریسک بالای اکولوژیک در اطراف صنایع مختلف گزارش شده است (۳۹، ۲۶). این امر لزوم توجه ویژه به راهکارهای پیشگیرانه در خصوص انتشار این عنصر به خصوص، در طبیعت

معرفی شدند (۳۶) که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد.

هم چنین در همین راستا در تحقیقی دیگر که در منطقه مجاور صنایع فولاد کرمان انجام شد، غلظت عناصر سرب و کادمیوم بیشتر تحت تاثیر این صنایع و غلظت سایر عناصری نظیر نیکل، روی، آهن و کروم تحت تاثیر سایر عوامل انسانی و طبیعی تشخیص داده شد (۳۷) که این نتایج تا حدود زیادی با تحقیق حاضر مطابقت دارد. با توجه به اینکه در مورد دو عنصر مولیبدن و نیکل تغییرات محسوسی در نزدیکی صنایع عمده منطقه مشاهده نشد، به نظر می‌رسد آلودگی این دو عنصر بیشتر منشأ طبیعی داشته است. در پژوهشی مشابه که در منطقه‌ای صنعتی و شهری در چین انجام شد، میانگین غلظت فلزاتی مانند آرسنیک، روی، کادمیوم و کروم دو برابر مقدار مرجع اندازه‌گیری و منشأ انتشار کادمیوم، روی و کروم، صنایع موجود در این منطقه تشخیص داده شد (۳۸). طبق تحقیقات انجام شده در دنیا، مشخص شده است که صنایعی مانند ذوب آهن و سیمان می‌توانند نقش مؤثری در افزایش غلظت برخی عناصر سنگین مانند کادمیوم، سرب، روی و کروم در خاک سطحی داشته باشند (۳۹، ۲۷).

نتایج تحقیق حاضر حاکی از افزایش غلظت فلزات سنگین در اطراف کارخانه‌های مستقر در منطقه و کاهش این غلظت‌ها با افزایش فاصله از صنایع می‌باشد. سایر تحقیقات انجام شده در مورد آلودگی ناشی از کارخانجات نیز حاکی از این بوده است که در پایین دست و اطراف چنین کارخانه‌هایی میزان غلظت فلزات سنگین در بیشترین حد و با افزایش فاصله از منبع، میزان آلودگی کاهش می‌یابد (۴۱، ۴۰، ۳۶). لازم به ذکر است جهت باد غالب منطقه در زمینه نحوه انتشار فلزات سنگین نقش بسزایی



را مشخص می نماید.

ریسک اکولوژیک کل (RI) منطقه مورد مطالعه در رده ریسک کم ارزیابی شد (جدول ۳). اما باید توجه داشت که این شاخص نیز در اطراف و پایین دست صنایع به خصوص صنعت فولاد با افزایش چشمگیری مواجه شده بود (شکل ۲). این نتایج که با نتایج تحقیقات مشابه انجام شده در مناطق صنعتی مختلف دنیا همخوانی دارد (۲۶، ۲۴، ۱۸، ۲۲) مبتنی بر نقش مؤثر عواملی همچون جهت و سرعت باد غالب در انتشار آلودگی به مناطق پایین دست است.

بیشترین میزان همبستگی پیرسون میان جفت عناصر Cr-Ni، Cd-Zn و As-Cr وجود داشت که بیانگر منشأ انتشار مشابه برای فلزات مذکور می باشد. گرچه همبستگی میان غلظت برخی از سایر فلزات اندازه گیری شده نیز از نظر آماری معنی دار ارزیابی شد، اما همبستگی های مذکور چندان قوی نبود. تاکنون محققان بسیاری از آنالیز همبستگی پیرسون برای تعیین رابطه بین غلظت فلزات سنگین با یکدیگر و منشأیابی استفاده نمودند (۲۷، ۲۶، ۲۲، ۱۸).

در مجموع آنچه از نتایج تحقیق حاضر برمی آید بیانگر نقش مؤثر صنایع موجود در منطقه در افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی است. از یک سو، با توجه به خاصیت

تجمع پذیری این فلزات در طبیعت، چنین آلودگی هایی در دراز مدت می تواند منجر به افزایش ریسک بالقوه اکولوژیک گردد. لذا اقدامات پیشگیرانه نظیر کاشت گیاهان مناسب به منظور گیاه پالایی در مناطق پایین دست کارخانه های فولاد و کاشی و سرامیک ضروری به نظر می رسد. از سویی دیگر، با توجه به قرار داشتن شهرستان اردکان در پایین دست این صنایع و در جهت باد غالب منطقه، همچنین با در نظر گرفتن کویری بودن منطقه و امکان وقوع طوفان های گرد و غبار و شن، احتمال انتقال این آلودگی به مناطق مسکونی در آینده بیشتر خواهد شد. لذا اقدامات حفاظت خاک و کاشت گیاهان مناسب دو منظوره برای گیاه پالایی و تثبیت خاک ضروری به نظر می رسد.

### تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

### تشکر و قدردانی

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

### References

- 1-Alsbou EME, Al-Khashman OA. Heavy metal concentrations in roadside soil and street dust from Petra region, Jordan. *Environmental monitoring and assessment*. 2018;190(1):48.
- 2-Carreras HA, Pignata MaL. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens. *Environmental Pollution*. 2002;117(1):77-87.
- 3-Chang CY, Yu HY, Chen JJ, Li FB, Zhang HH, Liu CP. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta,



- South China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013;186(3):1547–60.
- 4-Bi X, Liang S, Li X. A novel in situ method for sampling urban soil dust: particle size distribution, trace metal concentrations, and stable lead isotopes. *Environmental Pollution*. 2013;177:48–57.
- 5-Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*. 2012;227–228:9–17.
- 6-Tüzen M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. *Microchemical Journal*. 2003;74(3):289–97.
- 7-Krishna AK, Govil PK. Heavy metal contamination of soil around Pali industrial area, Rajasthan, India. *Environmental Geology*. 2004;47(1):38–44.
- 8-Kim HS, Kim YJ, Seo YR. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. *Journal of Cancer Prevention*. 2015;20(4):232–40.
- 9-Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology*. 2012: 133-64.
- 10-Sun Y, Zhou Q, Xie X, Liu R. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*,. 2010;174(1–3):455–62.
- 11-Acosta JA, Faz Á, Kalbitz K, Jansen B, Martínez S. Heavy metal concentrations in particle size fractions from street dust of Murcia (Spain) as the basis for risk assessment. *Journal of Environmental Monitoring*. 2011;13(11):3087–96.
- 12-Burt R, Hernandez L, Shaw R, Tunstead R, Ferguson R, Peaslee S. Trace element concentration and speciation in selected urban soils in New York City. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013;186(1):195–215.
- 13-Christoforidis A, Stamatis N. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*. 2009;15(3-4):257–63.
- 14-Du Y, Gao B, Zhou H, Ju X, Hao H, Yin S. Health risk assessment of heavy metals in road dusts in urban parks of Beijing, China. *Procedia Environmental Sciences*. 2013;18:299–309.
- 15-Fagbote O. Evaluation of the status of heavy metal pollution of water (surface and ground) and aquatic macrophyte (*Ceratophyllum demersum*) of Agbabu Bitumen deposit area, Nigeria. *British*



- Journal of Applied Science & Technology. 2013;3(2):289–306.
- 16-Ferreira-Baptista L, De Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric Environment*. 2005;39(25):4501–12.
- 17-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. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2-3):1058–62.
- 18-Aminiyan MM, Baalousha M, Mousavi R, Aminiyan FM, Hosseini H, Heydariyan A. The ecological risk, source identification, and pollution assessment of heavy metals in road dust: a case study in Rafsanjan, SE Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(14):13382-95.
- 19-Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants: CRC press; 2010.
- 20-Mirzaei R, Ghorbani H, Moghaddas NH, Martín JAR. Ecological risk of heavy metal hotspots in topsoils in the Province of Golestan, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014;147:268–76.
- 21-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).
- 22-Zhai Y, Liu X, Chen H, Xu B, Zhu L, Li C, et al. Source identification and potential ecological risk assessment of heavy metals in PM<sub>2.5</sub> from Changsha. *Science of the Total Environment*. 2014;493:109-15.
- 23-Gong QJ, Deng J, Xiang YC, Wang QF, Yang LQ. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China University of Geoscience*. 2008;19:230–41.
- 24-Cao C, Wang L, Li H, Wei B, Yang L. Temporal Variation and Ecological Risk Assessment of Metals in Soil Nearby a Pb–Zn Mine in Southern China. *International journal of environmental research and public health*. 2018;15(5):940.
- 25-Mohseni-Bandpei A, Ashrafi SD, Kamani H, Paseban A. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface soils of Esfarrayen city, Iran. *Health scope*. 2017;6(2).
- 26-Jiang X, Lu W, Zhao H, Yang Q, Yang Z. Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014;14(6):1599-610.
- 27-Jiao X, Teng Y, Zhan Y, Wu J, Lin X. Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. *PloS one*. 2015;10(5): 127-36.



- 28-Rezaipoorbaghedar 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):14.
- 29-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.
- 30-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): 125 .
- 31-Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*. 1980;14(8):975-1001.
- 32-Douay F, Pelfrène A, Planque J, Fourrier H, Richard A, Roussel H, et al. Assessment of potential health risk for inhabitants living near a former lead smelter. Part 1: metal concentrations in soils, agricultural crops, and homegrown vegetables. *Environmental monitoring and assessment*. 2013;185(5):3665-80.
- 33-Nabholz JV. Environmental hazard and risk assessment under the United States Toxic Substances Control Act. *Science of the Total Environment*. 1991;109:649-65.
- 34-Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a drytropical area of India. *Food Chemical Toxicology*. 2010;48:611-9.
- 35-Cabrera F, Clemente L, Barrientos ED, López R, Murillo J. Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. *Science of the Total Environment*. 1999;242(1-3):117-29.
- 36-Hormozi Nejad F, Rastmanesh F, Zarasvandi A. Contamination assessment of heavy metals in the soils around Khouzestan Steel Company (KSC) (Ni, Mn, Pb, Fe, Zn, Cr). *Journal of Economic Geology*. 2016-2017;8(2):415-29.
- 37-Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian AH, M.S. A-T, 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.
- 38-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):6150-9.



39-Ogunkunle CO, Fatoba PO. Pollution Loads and the Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals around a Mega Cement Factory in Southwest Nigeria. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2013;22(2).

40-Hoodaji M, Jalalian A. Distribution of Nickel, Manganese and Cadmium in Soil and Crops in the Mobarakeh Steel Plant Region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 2004;8(3):55-67.

41-Mousavian N, Zarei S. Identification of heavy metal sources from steel industry to soils in the plain area, Ardakan-Yazd. *The 3 rd Conference & Exhibition on Environmental Engineering; Tehran 2007*.

42-Ding Q, Cheng G, Wang Y, Zhuang D. Effects of natural factors on the spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions. *Science of the Total Environment*. 2017;578: 577-85.