

## ارزیابی وضعیت فلزات سنگین در منطقه شهرک صنعتی روی زنجان به کمک شاخص بار آلودگی

\* یاسر صفری<sup>۱</sup>، محمدامیر دلاور<sup>۲</sup>، عیسی اسفندیارپور بروجنی<sup>۳</sup>،  
محمدحسن صالحی<sup>۴</sup> و حمیدرضا اولیایی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان و استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود، <sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، <sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج زنجان، <sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، <sup>۵</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، <sup>۶</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج  
تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۱۰

### چکیده

**سابقه و هدف:** همگام با رشد روزافزون صنعت و فناوری، ورود آلاینده‌های زیست‌محیطی و در صدر آن‌ها فلزات سنگین به خاک‌ها، موجب نگرانی رو به رشد جامعه جهانی در رابطه با خطرات احتمالی آلودگی خاک شده است. درک الگوی توزیع مکانی آلاینده‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر آن و تعیین منابع احتمالی ایجاد آلودگی، از اساسی‌ترین اهداف مطالعات آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند. پژوهش حاضر می‌کوشد تا با مدل‌سازی روند تغییرپذیری مکانی شاخص بار آلودگی (PLI) فلزات آلاینده، به اطلاعات سودمندی در راستای تفکیک نقش عوامل طبیعی و یا انسانی ایجاد آلودگی در شهرک صنعتی روی زنجان دست یابد.

**مواد و روش‌ها:** برای انجام این پژوهش، ۸۵ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) در قالب یک الگوی شبکه‌ای منظم برداشت شد و غلظت کل فلزات روی، سرب، کادمیوم، نیکل و مس آنها با استفاده از اسید نیتریک و به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه، عامل آلودگی (CF) فلزات سنگین محاسبه شد و بر این اساس، نقاط مشاهده‌ای در کلاس‌های مختلف آلودگی خاک طبقه‌بندی شدند. به‌منظور ارزیابی هم‌زمان وضعیت کلی آلودگی خاک به عناصر آلاینده اندازه‌گیری شده، شاخص بار آلودگی فلزات سنگین محاسبه شد. سپس با مد نظر قرار دادن آن به‌عنوان یک متغیر محیطی، مقادیر این شاخص در نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از تخمین گر کریجینگ معمولی درون‌یابی گردید.

**یافته‌ها:** مقایسه میانگین غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی با حدود مجاز آن‌ها در خاک‌های کشور نشان داد که خاک‌های منطقه به عناصر روی، سرب و کادمیوم آلوده هستند؛ در حالی که آلودگی خاک به نیکل و مس مشاهده نشد. ضرایب تغییرات غلظت کل فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در خاک‌های مورد مطالعه نسبتاً بالا و از ۱۴۰/۵ درصد برای کادمیوم تا ۱۸۵/۶ درصد برای سرب متغیر بود. این مشاهده می‌تواند نشانه‌ای از این حقیقت باشد که غلظت کل عناصر مزبور در خاک‌های منطقه توسط فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود. از سوی مقابل، با توجه به پایین بودن نسبی ضرایب تغییرات عناصر نیکل (۷۸/۱ درصد) و مس (۸۰/۳ درصد)، به‌نظر می‌رسد که عوامل طبیعی، کنترل‌کننده توزیع آن‌ها در خاک‌های منطقه هستند. طبقه‌بندی مشاهدات بر اساس عامل آلودگی هر یک از فلزات

\* مسئول مکاتبه: [yasersafari@znu.ac.ir](mailto:yasersafari@znu.ac.ir)

سنگین مورد بررسی، نشان داد که اغلب نقاط نمونه برداری از نظر عناصر روی و سرب در کلاس آلودگی خیلی زیاد قرار دارند (به ترتیب ۶۵/۹ و ۶۸/۲ درصد)؛ حال آن که از لحاظ عناصر کادمیوم، مس و نیکل، بیش از نیمی از نقاط در کلاس آلودگی متوسط واقع شده اند (به ترتیب، ۵۷/۷، ۵۱/۸ و ۶۸/۲ درصد). ترسیم روند تغییرپذیری مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین حاکی از آن بود که پهنه های دارای بیشترین مقادیر بار آلودگی در اطراف شهرک تخصصی روی متمرکز شده اند.

**نتیجه گیری:** به طور کلی، فعالیت های صنعتی مربوط به فرآوری فلز روی، موجب ورود هم زمان چندین فلز سنگین به خاک های اطراف و کاهش کیفیت اراضی منطقه شده است. نظر به ناکارآمدی نقشه های تک عنصری فلزات سنگین در انعکاس کیفیت کلی خاک از نقطه نظر آلاینده های زیست محیطی، مدل سازی تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین، راهکاری سودمند در راستای درک الگوی توزیع مکانی آلاینده ها و اثرات آنها بر تنزل کیفیت خاک می باشد.

**واژه های کلیدی:** آلاینده های خاک، پراکنش مکانی، عامل آلودگی، عناصر سنگین

## مقدمه

همگام با رشد روزافزون صنعت و فناوری، ورود آلاینده های زیست محیطی و در صدر آنها فلزات سنگین به خاک ها، موجب نگرانی رو به رشد جامعه جهانی در رابطه با خطرات احتمالی آلودگی خاک شده است (۱۳، ۲۸). کنترل آلودگی خاک و دیگر منابع حیات در راستای بهره وری پایدار از منابع مستلزم توجه هم زمان به جنبه های گوناگون آلودگی است (۲۱). بررسی الگوی توزیع مکانی آلاینده ها، شناسایی عوامل مؤثر بر این الگو، تعیین منشأ آلاینده ها و سهم هر کدام از آنها در توزیع مزبور، از اساسی ترین اهداف مطالعات آلودگی های زیست محیطی به شمار می روند (۲۶).

ساختار مکانی فلزات سنگین در خاک، تابع فعالیت های انسانی کوتاه دامنه و اثرات بلند دامنه ساختار زمین شناسی زیرین است (۲۵). بنابراین، می توان با تجزیه و تحلیل ساختار مکانی عناصر آلاینده در خاک سطحی به اطلاعات مفیدی در مورد روند تغییرات مکانی آنها و عوامل طبیعی و یا انسانی اثرگذار بر این الگوها دست یافت. زمین آمار<sup>۱</sup>، با

بر آورد دامنه هم بستگی مکانی فلزات سنگین در خاک، امکان جست و جوی ارتباط منطقی میان ویژگی های توزیع مکانی عناصر و عوامل کنترل کننده پراکنش آنها در خاک را فراهم می سازد (۷). از سوی دیگر، نقشه های پهنه بندی فلزات آلاینده بر اساس تکنیک درون یابی کریجینگ<sup>۲</sup>، ضمن آشکار سازی الگوی تصادفی یا نظام مند تغییرپذیری مکانی متغیرها، به پژوهشگر این امکان را می دهد که با انطباق روند تغییرات مکانی آلاینده ها با اطلاعات موجود از منطقه مورد مطالعه، منابع احتمالی ورود فلزات سنگین به خاک را شناسایی نماید (۳۳). در مجموع با توجه به قابلیت های زمین آمار، به نظر می رسد که این تکنیک، نه تنها با آشکار سازی الگوی مکانی آلاینده ها در خاک، امکان شناسایی مناطق آلوده و نیازمند اقدامات اصلاحی را فراهم می آورد، بلکه راهکاری سودمند برای تفکیک اثرات انسانی از منابع طبیعی آلاینده محیط زیست باشد (۲۶).

از سوی دیگر، رفتار عمومی فلزات سنگین در خاک و در نتیجه، قابلیت تحرک و انتقال عناصر فلزی، حلالیت آنها و زیست فراهمی آنها برای

گیاهان، تابعی از منشأ این عناصر فلزی است. پژوهش‌های انجام‌شده، گویای آن است که صرف‌نظر از نوع فعالیت‌های بشری، عناصر ناشی از فعالیت‌های انسانی نسبت به عناصر فلزی مشتق‌شده از مواد مادری و فرایندهای خاک‌سازی، از قابلیت زیست‌فراهمی بالاتری در خاک برخوردارند (۲۲). از این رو، شناسایی منبع ورود آلاینده‌های فلزی به خاک می‌تواند برای کنترل آلودگی خاک، جلوگیری از انتقال آلاینده‌ها به دیگر اجزای بیوسفر و در نهایت حلقه‌های زنجیره غذایی بشر و نیز طراحی برنامه‌های اصلاح خاک‌های آلوده، کمک شایانی نماید. بنابراین، بسیاری از پژوهش‌های اخیر (از جمله: برای عناصر کروم، کبالت، نیکل، مس، روی و سرب (۱۱)؛ برای عناصر کروم، کادمیوم، نیکل، مس، روی، سرب و جیوه (۱۰)؛ برای عناصر آرسنیک، کبالت، کروم، کادمیوم، نیکل، مس، روی، سرب، منگنز و جیوه (۶)؛ برای عناصر کادمیوم، کروم، جیوه، نیکل، مس، روی و منگنز (۵)؛ برای عناصر نیکل و مس (۳۵)؛ برای عناصر کروم، روی، سرب و کادمیوم (۲۴)؛ برای عناصر کروم، کبالت، نیکل، مس، روی، سرب، منگنز (۸)؛ برای عناصر کادمیوم، کروم، جیوه، نیکل، مس، روی، سرب و آرسنیک (۳)؛ برای عناصر کروم، نیکل، مس، روی و سرب (۳۳)؛ برای عناصر کروم، کبالت، نیکل، مس، روی، سرب، منگنز (۲۷)؛ برای عناصر کروم، کادمیوم، نیکل، مس، روی، سرب و منگنز (۳۴)) به منشأیابی فلزات سنگین موجود در خاک‌ها، به‌منظور تفکیک میزان اثرات فعالیت‌های انسانی در مقایسه با روند طبیعی ورود این عناصر به خاک پرداخته‌اند.

در راستای شناسایی منابع احتمالی افزایش آلاینده‌های فلزی به خاک، بررسی ویژگی‌های آماری توزیع داده‌ها و استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در مطالعات مختلف، مد نظر قرار گرفته است؛ حال آن‌که بررسی نسبت فلزات سنگین ناشی از

فعالیت‌های بشری به‌میزان فلزات مشتق‌شده از عوامل طبیعی، در قالب شاخص غنی‌شدگی و عامل آلودگی<sup>۱</sup> از رایج‌ترین راهکارهای مورد استفاده پژوهشگران محسوب می‌شود (۱۴). نظر به پیوستگی تغییرات مکانی مواد مادری خاک و تمرکز فعالیت‌های بشری مخرب محیط زیست در مکان‌های خاص و محدود، بی‌شک نسبت اثرگذاری عوامل طبیعی و انسانی بر غلظت فلزات سنگین در خاک در بُعد مکان، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای دارد. این در حالی است که داشتن اطلاعات صحیح از الگوی تغییرات مکانی غلظت فلزات سنگین در خاک، پیش‌شرط طراحی برنامه‌های کنترل آلودگی است (۳۸). در نتیجه، به‌نظر می‌رسد با ترسیم روند تغییرپذیری مکانی عامل آلودگی فلزات آلاینده، بتوان اطلاعات سودمندی در راستای تفکیک مناطقی از زمین که توسط هر یک از عوامل طبیعی و یا انسانی آلوده شده‌اند، حاصل نمود.

شهرک صنعتی تخصصی روی زنجان، واقع در ۵ کیلومتری جنوب تا جنوب‌غربی شهر زنجان، در سال ۱۳۷۵ تأسیس شده و دارای ۴۲ واحد بهره‌برداری روی است. در این شهرک سالانه با مصرف بیش از یک میلیون تن سنگ خام روی، ۰/۱۹ میلیون تن فلز روی تولید می‌شود. در محدوده این شهرک، بیش از ۲/۵ میلیون تن پسماند حاوی فلزات سنگین انباشته شده است و فعالیت‌های صنعتی انجام‌گرفته در آن، احتمال تجمع فلزات سنگین، از جمله روی، سرب، کادمیوم، مس و نیکل را فراهم نموده است (۲۹). بنابراین، پژوهش حاضر می‌کوشد تا با بررسی الگوی پراکنش مکانی عامل آلودگی فلزات سنگین، منابع مسئول توزیع غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک و تنزل کیفیت اراضی منطقه شهرک روی زنجان را شناسایی نماید. هم‌چنین، تلاش شده است تا با مقایسه غلظت اندازه‌گیری‌شده عناصر سنگین مورد

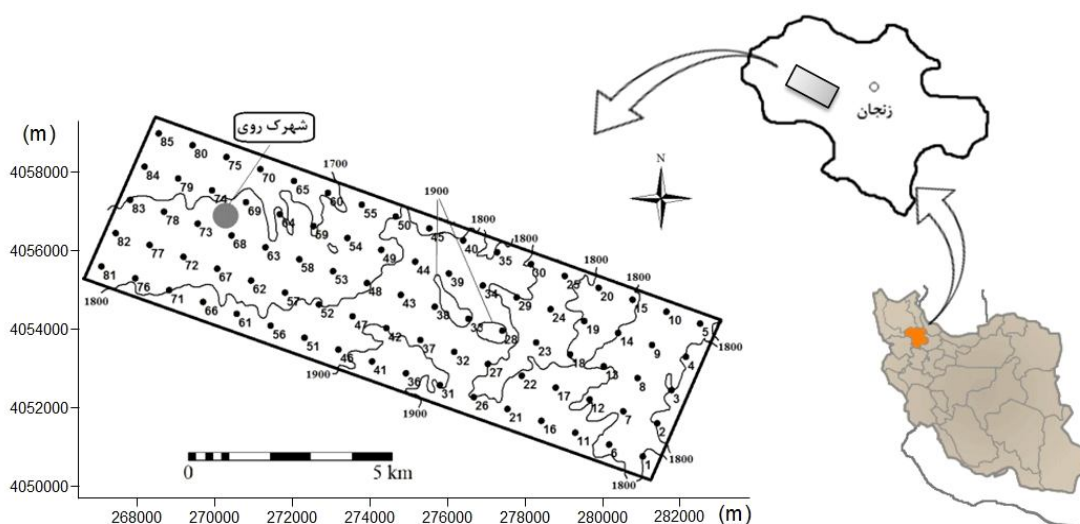
1- Contamination Factor; CF

۱). میانگین بارندگی و دمای متوسط سالیانه منطقه در یک دوره آماری ۵۰ ساله (از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰)، به ترتیب، ۳۰۲/۸ میلی متر و ۱۱/۱ درجه سلسیوس و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا، ۱۶۶۰ متر می باشد. کاربری عمده اراضی موجود در این ناحیه، شامل مناطق کشاورزی، صنعتی، اراضی مرتعی و مخلوط مرتع و کشت دیم است. بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان (۱۵)، تراس های آبرفتی قدیمی، واحد زمین شناسی اصلی منطقه را تشکیل داده و خاک های مورد مطالعه عمدتاً روی نهشته های آبرفتی کواترنری تکامل یافته اند.

مطالعه در خاک های منطقه با حدود آستانه آلاینده های آن ها در خاک های کشور، احتمال خطر فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی ارزیابی گردد.

## مواد و روش ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مطالعاتی در ۶ کیلومتری جنوب زنجان و در اطراف شهرک صنعتی روی واقع شده است. مساحت محدوده مورد مطالعه، نزدیک به ۷۰۰۰ هکتار می باشد و در بین طول های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل



شکل ۱- حدود تقریبی منطقه مورد مطالعه همراه با نقشه خطوط تراز و الگوی توزیع ۸۵ نقطه ای نمونه برداری.

(اعداد موجود بر روی شکل، نشانگر سامانه مختصات UTM می باشد)

Figure 1. Topographic map of study area along with 85 soil (\*) sampling points. (The numbers represent the UTM geographic system)

اسید نیتریک چهار مولار انجام گرفت و در نهایت غلظت کل عناصر روی، سرب، کادمیوم، مس و نیکل آن ها به کمک دستگاه جذب اتمی تعیین شد (۳۲). پس از توصیف آماری داده ها در محیط نرم افزاری اسپاس، عامل آلودگی فلزات آلاینده با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (۱۷):

برای انجام این مطالعه، ابتدا تعداد ۸۵ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی متر) در قالب یک الگوی نمونه برداری شبکه ای منظم به فاصله ۱۰۰۰ متر برداشت گردید (شکل ۱). پس از هواخشک کردن نمونه های برداشت شده و جداسازی ذرات درشت آن ها توسط الک، عصاره گیری نمونه ها با استفاده از

عنصر فلزی به عنوان غلظت زمینه آن عنصر در خاک، مد نظر قرار گرفت (۸). هم‌چنین برای ارزیابی شدت آلاینده‌گی فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه از طبقه‌بندی ارائه شده توسط هکانسون (۱۷) استفاده شد (جدول ۱).

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (1)$$

که در آن،  $CF_{metal}$  عامل آلودگی هر فلز دلخواه،  $C_{background}$  و  $C_{metal}$  به ترتیب، غلظت فلز مورد نظر در خاک سطحی و در زمینه خاک می‌باشند. در این پژوهش، کم‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده برای هر

جدول ۱- کلاس‌های شدت آلودگی خاک بر اساس عامل آلودگی فلزات سنگین (۱۷).

Table 1. The classes of soil pollution severity based on heavy metal contamination factor (17).

کلاس شدت آلودگی (Pollution severity class)	دامنه تغییرات عامل آلودگی (Range of contamination factor)
کم (Low)	$CF < 1$
متوسط (Medium)	$1 \leq CF < 3$
زیاد (High)	$3 \leq CF < 6$
خیلی زیاد (Very high)	$6 \leq CF$

توزیع نرمال بررسی شد. با توجه به آن‌که در صورت نرمال بودن توزیع داده‌ها، صحت تخمین‌های زمین‌آماری افزایش می‌یابد (۳۶)، با انجام تبدیل لگاریتمی توزیع داده‌های این متغیر نرمال گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار وریوین<sup>۲</sup>، تابع تغییرنما (که نشان‌دهنده ارتباط بین فاصله نمونه‌ها از یک‌دیگر و مقدار سمی‌وارینانس داده‌ها می‌باشد)، برای این متغیر ترسیم گردید (۱۶). در نهایت، با استفاده از تخمین گر کریجینگ معمولی (۳۶)، برای پیش‌بینی مقادیر این شاخص در نقاط نمونه‌برداری نشده، نقشه پهنه‌بندی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین با استفاده از نرم‌افزار سورفر<sup>۳</sup> تهیه شد.

### نتایج و بحث

مهم‌ترین شاخص‌های توزیع آماری ویژگی‌های حاکی مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

به منظور ارزیابی هم‌زمان وضعیت کلی آلودگی خاک به تمامی عناصر آلاینده اندازه‌گیری شده، اقدام به محاسبه شاخص بار آلودگی<sup>۱</sup> فلزات سنگین شد. این شاخص، در واقع نشان‌گر تعداد دفعاتی است که غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه، افزایش یافته است. مقادیر این شاخص، خلاصه‌ای از شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین را بیان کرده و کیفیت محیطی خاک را نشان می‌دهند (۸). رابطه ۲ روش محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد (۱):

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (2)$$

که در آن،  $PLI$  شاخص بار آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه،  $CF$  عامل آلودگی هر یک از عناصر فلزی و  $n$  تعداد فلزات سنگین اندازه‌گیری شده می‌باشند. برای ارزیابی ساختار مکانی شاخص بار آلودگی عناصر آلاینده، ابتدا انطباق توزیع مقادیر آن با شرایط

2- Variowin  
3- Surfer

1- Pollution Load Index; PLI

جدول ۲- خلاصه آماری ویژگی‌های خاکی مورد مطالعه.

Table 2. Summary statistics of studied soil properties.

متغیر (Variable)	میانگین (Mean)	حداقل (Minimum)	حداکثر (Maximum)	میان (Median)	انحراف معیار (Standard deviation)	ضریب تغییرات (درصد) (Coefficient of variation (%))
مواد آلی (درصد) (Organic matter (%))	0.65	0.42	1.27	0.62	0.16	24.61
واکنش خاک (Soil pH)	7.71	7.35	7.93	7.72	0.12	1.55
رس (درصد) (Clay (%))	28.2	10.0	48.0	28.5	7.19	25.50
کربنات کلسیم معادل (درصد) (Equivalent calcium carbonate (%))	18.6	4.5	36.5	19.1	9.71	52.20

کشور، محسوب می‌شوند (۲۳). در مجموع، خاک‌های منطقه مورد مطالعه حاوی مقادیر نسبتاً بالایی از رس هستند که باعث می‌شود بافت این خاک‌ها در کلاس‌های بافتی نسبتاً ریزبافت تا ریزبافت جای گیرد (جدول ۲). جدول ۳ مهم‌ترین ویژگی‌های آماری داده‌های اولیه غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج موجود در جدول ۲ گویای آن است که خاک‌های منطقه مورد مطالعه حاوی مقادیر بسیار پایینی از مواد آلی می‌باشند. از سوی دیگر، وجود مقادیر نسبتاً بالای کربنات کلسیم در خاک موجب وقوع شرایط قلیایی خفیف تا متوسط در خاک‌های مورد مطالعه شده است که این شرایط، از ویژگی‌های عمومی خاک‌های واقع در اقلیم‌های نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب

جدول ۳- خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک.

Table 3. Summary statistics of total concentration of heavy metals ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) in the studied soils.

متغیر (Variable)	میانگین (Mean)	میان (Median)	حداقل (Minimum)	حداکثر (Maximum)	ضریب چولگی (Skewness)	ضریب کشیدگی (Kurtosis)	انحراف معیار (Standard deviation)	ضریب تغییرات (درصد) (Coefficient of variation)	P-value <sup>1</sup>
روی (Zn)	203.2	112.2	8.5	1680.7	2.87	8.97	301.4	148.3	0.000*
سرب (Pb)	149.8	44.4	5.1	1519.1	3.28	11.57	278.1	185.6	0.000*
کادمیوم (Cd)	4.3	2.4	1.0	42.3	4.30	22.12	6.0	140.5	0.008*
مس (Cu)	4.3	3.4	1.2	24.5	2.60	14.18	3.45	80.3	0.061
نیکل (Ni)	3.4	2.3	1.2	15.5	2.00	4.90	2.65	78.1	0.067

<sup>1</sup> اعداد مربوطه، بیانگر نتیجه حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف می‌باشند که علامت \* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

<sup>1</sup> P-value: The significance level of Kolmogrov-Smirnov normality test and \* means significant at  $P < 0.05$ .

کادمیوم آلوده هستند؛ حال آن که چنانچه این مقایسه از دیدگاه اهداف کشاورزی انجام گیرد، تنها میزان عنصر سرب در خاک‌های منطقه از حد مجاز آن بالاتر است. از سوی دیگر، غلظت کل نیکل و مس در خاک، کم‌تر از حدود آلاینده‌گی این عناصر در خاک‌های کشور از هر دو دیدگاه کشاورزی و حفاظت محیط زیست است.

برای سهولت انطباق مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده عناصر در این مطالعه با حدود آستانه آلاینده‌گی آن‌ها در خاک‌های کشور، این حدود در قالب جدول ۴ ارائه شده‌اند (۹). مقایسه مقادیر میانگین غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی در این پژوهش (جدول ۳) با حدود مجاز (استانداردهای آلودگی) این عناصر (جدول ۴)، گویای آن است که از دیدگاه حفاظت محیط زیست، خاک‌های منطقه به عناصر روی و

جدول ۴- حدود آلاینده‌گی و پاک‌سازی غلظت کل فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های کشور (۹).

**Table 4. Contamination and remediation threshold of total concentration of heavy metals (mg kg<sup>-1</sup>) in Iranian soils (9).**

حد پاک‌سازی (Remediation threshold)	حد آلاینده‌گی (Contamination threshold)		عنصر (Element)
	حفاظت محیط زیست (Environmental viewpoint)	کشاورزی (Agricultural viewpoint)	
	7500	200	
820	300	75	سرب (Pb)
20	3.9	5	کادمیوم (Cd)
1100	50	110	نیکل (Ni)
2700	63	200	مس (Cu)

اقدامات اصلاحی در منطقه برای کنترل ورود این عناصر خطرناک به حلقه‌های زنجیره غذایی انسان ضروری می‌نماید. طبق تعریف، حد پاک‌سازی، غلظتی از عناصر در خاک است که در غلظت‌های بالاتر از آن حد، خطر آلودگی خاک به عناصر سنگین جدی بوده و می‌تواند موجب تهدید سلامتی انسان و دیگر موجودات زنده گردد (۹). هم‌چنین، وجود مقادیر بسیار بزرگ‌تر از مقدار میانگین عناصر روی، سرب و کادمیوم در خاک، ضمن بالا بردن

مقایسه مقادیر حداکثر غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه با حدود پاک‌سازی این عناصر (جدول ۴)، بیان‌گر آن است که غلظت عناصر روی، نیکل و مس در تمام نقاط مشاهداتی کم‌تر از حدود پاک‌سازی آن‌ها است؛ حال آن‌که مقادیر حداکثر عناصر سرب و کادمیوم، بالاتر از حدود پاک‌سازی این عناصر می‌باشد (جدول ۳). این موضوع بدان مفهوم است که حداقل در بخشی از خاک‌های منطقه مطالعاتی، خطر تجمع عناصر سرب و کادمیوم در خاک جدی است و انجام

انسانی کنترل می‌شود. از سوی مقابل، با توجه به پایین بودن نسبی ضریب تغییرات عناصر نیکل و مس (جدول ۳)، به نظر می‌رسد که عوامل طبیعی (هوادیدگی سنگ بستر و مواد مادری)، کنترل‌کننده توزیع آن‌ها در اراضی منطقه هستند. در تطابق با این یافته‌ها، چن و همکاران (۲۰۱۲) بالا بودن ضریب تغییرات عناصر مس و سرب در بخشی از خاک‌های کشور چین را دلیلی بر نقش فعالیت‌های انسانی در کنترل توزیع آن‌ها در خاک دانستند؛ در حالی‌که با توجه به پایین بودن ضریب مزبور برای عناصر سنگین منگنز، نیکل و وانادیوم، عوامل طبیعی به‌عنوان مهم‌ترین منشأ این عناصر گزارش شدند (۷). توصیف آماری عامل آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه همراه با فراوانی نمونه‌ها از لحاظ کلاس‌های شدت آلودگی در جدول ۵ ارائه شده است.

ضریب تغییرات آن‌ها باعث چولگی شدید داده‌ها و عدم تبعیت آن‌ها از الگوی توزیع نرمال (با توجه به نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) شده است (جدول ۳).

ضریب تغییرات فلزات سنگین ناشی از منشأ طبیعی، نسبتاً کوچک است؛ در حالی‌که چنانچه فلزات سنگین از فعالیت‌های انسانی ناشی شده باشند، ضریب تغییرات آن‌ها مقادیر بسیار بزرگی خواهد داشت (۱۸). طبق تقسیم‌بندی ارائه شده برای مقادیر ضریب تغییرات متغیرهای خاکی، مقادیر بزرگ‌تر از عدد ۹۰ درصد برای این ضریب در طبقه زیاد قرار می‌گیرند (۳۷). در نتیجه، بالا بودن نسبی این ویژگی برای فلزات روی، سرب و کادمیوم (جدول ۳) می‌تواند نشانه‌ای از این حقیقت باشد که غلظت کل این عناصر در خاک‌های منطقه توسط فعالیت‌های

جدول ۵- توصیف آماری عامل آلودگی (CF) فلزات سنگین مورد مطالعه.

**Table 5. Statistical description of contamination factor (CF) for studied heavy metals.**

درصد نمونه‌های واقع شده در هر کلاس آلودگی (The percentage of studied samples in each pollution class)			انحراف معیار (Standard Deviation)	حداکثر (Maximum)	حداقل (Minimum)	میانگین (Mean)	متغیر (Variable)
خیلی زیاد (Very High)	زیاد (High)	متوسط (Medium)					
65.9	16.5	17.6	54.5	297.8	1	23.9	روی (Zn)
68.2	17.6	14.2	35.5	197.7	1	29.4	سرب (Pb)
24.6	17.7	57.7	6.0	42.3	1	5.3	کادمیوم (Cd)
12.9	35.3	51.8	2.9	20.4	1	3.1	مس (Cu)
9.4	22.4	68.2	2.2	12.9	1	2.3	نیکل (Ni)



نتایج موجود در جدول ۵ بیانگر وجود تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای میان مقادیر میانگین عامل آلودگی برای عناصر مورد مطالعه است. هرچه مقدار عددی این شاخص برای عنصر خاصی بالاتر باشد، نشان‌دهنده بیش‌تر بودن سهم عوامل غیرطبیعی نسبت به عامل ماده‌ی مادری، در پراکنش آن عنصر در خاک سطحی است (۸). بنابراین، می‌توان گفت که مقادیر نسبتاً بالای میانگین عامل آلودگی برای دو عنصر سرب و روی در این مطالعه، حاکی از آن است که توزیع این عناصر در منطقه مطالعاتی تابع عوامل انسانی و به‌طور مشخص، فعالیت‌های صنعتی مربوط به فرآوری فلز روی می‌باشد. در تطابق با این یافته‌ها، نتایج پژوهش فرهمندکیا و همکاران (۲۰۰۹) حاکی از آن است که فعالیت‌های صنعتی انجام‌گرفته در شهرک روی زنجان، عامل اصلی افزایش غلظت عناصر روی و سرب در هوای شهر زنجان می‌باشند و در نتیجه، فرونشست‌های اتمسفری ذرات ریز حاوی این عناصر، موجب تجمع آن‌ها در خاک‌های مناطق اطراف شهرک می‌شود (۱۲). هم‌چنین، مطابق با این اظهارات، پری‌زنگنه و همکاران (۲۰۱۰) انتقال فلزات سنگین سرب و روی در قالب ذرات کوچک موجود در پسماندها و ضایعات صنعتی کارخانه‌های شهرک روی از طریق باد یا جریان‌ات سطحی آب و فاضلاب‌های صنعتی را یک روند محتمل در تجمع بیش از حد عناصر سرب و روی در اراضی اطراف شهرک روی می‌دانند (۲۹).

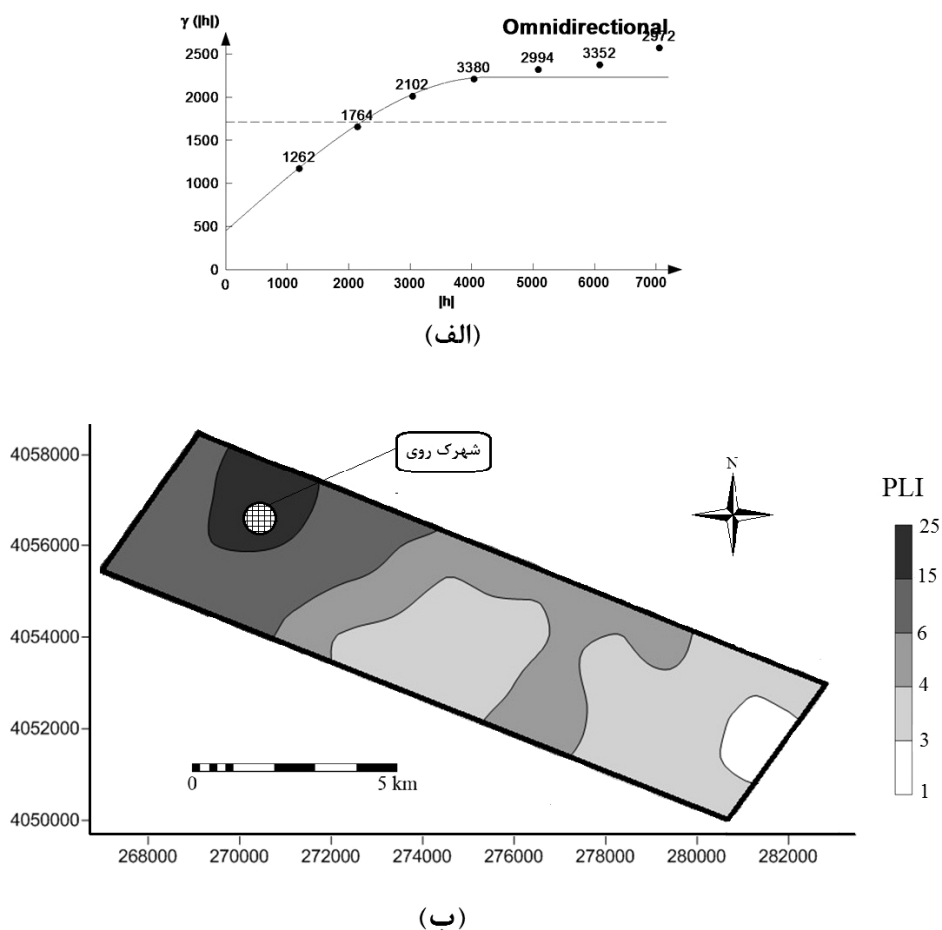
از طرفی، در مقایسه با این دو عنصر، میانگین عامل آلودگی عناصر مس و نیکل، مقدار نسبتاً اندکی دارد (جدول ۵). در نتیجه، شاید بتوان گفت که نسبت به فعالیت‌های صنعتی، عوامل طبیعی، سهم بیش‌تری در تجمع این عناصر در خاک‌های منطقه داشته‌اند. یافته‌های پری‌زنگنه و همکاران (۲۰۱۰) نیز مؤید آن است که شهرک روی، نقش چندانی در تجمع عناصر

نیکل و مس در خاک‌های اطراف این مجموعه صنعتی ندارد (۲۹). در این میان، میانگین عامل آلودگی عنصر کادمیوم مقداری متوسط دارد و به احتمال زیاد، توزیع این عنصر در خاک‌های مطالعاتی در کنترل مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی است. شولین و همکاران (۲۰۰۷) نیز بر این عقیده‌اند که از این واقعیت که فرونشست‌های اتمسفری در مناطق صنعتی می‌توانند سبب بروز آلودگی خاک‌های اطراف به فلزات سنگین باشند، نباید این‌گونه برداشت کرد که این فعالیت‌های صنعتی الزاماً تنها منبع ورود این آلاینده‌ها به خاک هستند (۳۱). به هر حال، نتایج پژوهش فرهمندکیا و همکاران (۲۰۰۹) گویای آن است که ترافیک و فعالیت مجتمع‌های کوچک صنعتی، می‌توانند عاملی برای افزایش غلظت عنصر کادمیوم در هوا و در نتیجه در خاک‌های اطراف شهر زنجان باشند (۱۲).

طبقه‌بندی مشاهدات (نمونه‌ها) در قالب کلاس‌های آلودگی، بیانگر آن بود که بالاترین درصد وقوع مشاهدات در کلاس آلودگی خیلی زیاد (به‌ترتیب، ۶۸/۲ و ۶۵/۹ درصد) مربوط به عناصر سرب و روی است (جدول ۵). از سوی مقابل، برای عناصر نیکل و مس، اغلب قریب به اتفاق مشاهدات در کلاس‌های متوسط و زیاد قرار گرفته‌اند (جدول ۵). بنابراین، می‌توان گفت در مقایسه با عناصر سرب و روی، شدت اثرگذاری فعالیت‌های صنعتی بر تجمع عناصر نیکل و مس در خاک‌های منطقه کم‌تر است. هم‌چنین، گرچه مشابه با عناصر نیکل و مس، برای عنصر کادمیوم نیز بیش از نیمی از نقاط مشاهداتی در کلاس آلودگی متوسط واقع شده‌اند اما درصد نقاط واقع در کلاس آلودگی خیلی زیاد، هم‌چنان قابل توجه است (جدول ۵). در نتیجه، به‌نظر می‌رسد هم‌راستا با عوامل طبیعی، فعالیت‌های صنعتی نیز سهم مهمی در تجمع این عنصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه دارند.

است. حال آن که ظهور عناصر مختلف در دامنه‌های متفاوتی از مقادیر، امکان انطباق نقشه‌های تک‌عنصری و تصور کیفیت کلی خاک را با مشکل مواجه می‌سازد (۳۰). از این رو، به نظر می‌رسد که بتوان با مدل‌سازی تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین به اطلاعات سودمندی راجع به اثرات الگوی پراکنش مکانی هر یک از فلزات سنگین بر کیفیت کلی خاک دست یافت. شکل ۲ تابع تغییرنما و نقشه پهنه‌بندی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در عمل، آلودگی خاک به فلزات سنگین از طریق مدل‌سازی تغییرات مکانی هر عنصر و درون‌یابی مقادیر آن در یک محدوده مشخص ارزیابی می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در پایان برای هر فلز آلاینده، یک نقشه ارایه می‌شود (۲۰). این نقشه‌ها ضمن آشکارسازی الگوی تغییرات مکانی فلزات سنگین، اطلاعات مفیدی در مورد منابع احتمالی ایجاد آلودگی در خاک به‌دست می‌دهند (۲۶). از طرفی، فلزات آلاینده اغلب همراه با هم در محیط خاک یافت می‌شوند و بنابراین ارزیابی صحیح ریسک آلودگی‌های زیست‌محیطی، مستلزم توجه هم‌زمان به تمامی آلاینده‌های موجود



شکل ۲- تابع تغییرنما (الف) و نقشه پراکنش مکانی (ب) شاخص بار آلودگی فلزات سنگین. (اعداد موجود بر روی شکل، نشانگر سامانه مختصات UTM می‌باشند)

Figure 2. Variogram model (up) and spatial distribution map (down) for pollution load index of heavy metals. (The numbers represent the UTM geographic system)

۲- الف). ویژگی‌های مدل برازش‌یافته بر الگوی تغییرات شاخص بار آلودگی در جدول ۶ ارائه شده است.

با توجه به عدم مشاهده ناهمسان‌گردی در الگوی توزیع شاخص بار آلودگی فلزات سنگین، تغییرنمای همه‌جهته<sup>۱</sup> این متغیر ترسیم و مدل‌سازی گردید (شکل

جدول ۶- ویژگی‌های مدل تغییرنمای برازش‌یافته بر الگوی تغییرات شاخص بار آلودگی.

**Table 6. The parameters for fitted variogram model on variability pattern of pollution load index.**

شاخص مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد شده Root Mean Square Error Standardized (RMSE%)	کلاس هم‌بستگی مکانی (Spatial correlation class)	اثر قطعه‌ای نسبی (درصد) Relative nugget effect (%)	حد آستانه (Sill)	اثر قطعه‌ای (Nugget effect)	دامنه تأثیر (متر) Range (meter)	مدل (Model)
23.50	قوی (Strong)	21.03	2310	485.8	4500	کروی (Spherical)

شاخص (رابطه ۲)، وقتی در مکان مشخصی، بخشی از فلزات سنگین از عوامل طبیعی (عامل آلودگی کم) و بخشی دیگر از عوامل انسانی (عامل آلودگی زیاد) ناشی شوند، اثرات این دو توسط یکدیگر خنثی شده و مقادیر متوسطی از شاخص بار آلودگی رقم می‌خورد. بر عکس، هرگاه تمامی و یا اغلب عناصر مورد مطالعه از یکی از عوامل طبیعی یا انسانی ناشی شوند، اثرات تشدید آن عامل بر عناصر مختلف، به ترتیب موجب پدید آمدن مقادیر بسیار کوچک یا بسیار بزرگ شاخص مزبور خواهد شد.

از سوی دیگر، تغییرات مکانی قابل‌ملاحظه‌ای نیز در مقادیر شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی به چشم می‌خورد (شکل ۲-ب). پهنه‌های دارای بیش‌ترین مقادیر این شاخص در قسمت‌های شمال‌غربی منطقه، یعنی در اراضی مجاور شهرک روی مشاهده می‌شوند و با افزایش فاصله از این نواحی، شدت آلودگی به تدریج کاهش می‌یابد؛ به‌نحوی که در نواحی جنوب‌شرقی منطقه، پهنه‌هایی با سطوح اندک بار آلودگی دیده می‌شوند. این مشاهدات به‌روشنی نقش شهرک روی در کنترل توزیع مکانی فلزات سنگین مورد بررسی در خاک‌های منطقه مطالعاتی و تنزل کیفیت اراضی مجاور شهرک

برای این متغیر، مدل کروی با دامنه تأثیر ۴۵۰۰ متر، اثر قطعه‌ای برابر با ۴۸۵/۸ و حد آستانه برابر با ۲۳۱۰ بهترین برازش بر نقاط تغییرنمای تجربی را داشت (جدول ۶). هم‌چنین، با توجه به آن‌که مقادیر کم‌تر از ۲۵ درصد برای اثر قطعه‌ای نسبی، بیانگر هم‌بستگی مکانی قوی متغیرهای محیطی است (۴)، متغیر شاخص بار آلودگی در پژوهش حاضر نیز در کلاس هم‌بستگی مکانی قوی قرار گرفته است (جدول ۶). از سوی دیگر، کوچک‌تر بودن شاخص اعتبارسنجی RMSE% از حد آستانه ۴۰ درصد (جدول ۶)، بیانگر صحت قابل‌قبول تخمین‌گر کریجینگ معمولی در مدل‌سازی الگوی پراکنش مکانی شاخص بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۱۹).

همان‌طور که از راهنمای نقشه پهنه‌بندی شاخص بار آلودگی پیدا است، دامنه تغییرات مقادیر عددی شاخص بار آلودگی نسبتاً بالا است (شکل ۲-ب). چنین مشاهده‌ای گویای آن است که عوامل مسئول در کنترل آلودگی در منطقه، اثرات مشابهی بر الگوی توزیع مکانی اغلب عناصر مورد بررسی در این پژوهش دارند؛ چرا که با توجه به روش محاسبه این

1- Omni-directional variogram

نیکل و مس در کلاس آلودگی متوسط واقع شده‌اند. نظر به بالا بودن نسبی تغییرات مقادیر عددی شاخص بار آلودگی می‌توان اظهار داشت که اغلب عناصر مورد بررسی، اثرپذیری مشابهی از عوامل مسئول در کنترل آلودگی در منطقه دارند. هم‌چنین، مشاهده پهنه‌های دارای بیش‌ترین مقادیر شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در اراضی مجاور شهرک روی، به‌روشنی نقش فعالیت‌های صنعتی مربوط به فرآوری فلز روی در ورود هم‌زمان چند نوع عنصر سنگین به خاک‌های منطقه مطالعاتی و تنزل کیفیت اراضی مجاور شهرک را اثبات نمود. نظر به ناکارآمدی نقشه‌های تک‌عنصری فلزات سنگین در انعکاس کیفیت کلی خاک از نقطه‌نظر آلاینده‌های زیست‌محیطی، مدل‌سازی تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین، راهکاری سودمند در راستای درک الگوی توزیع مکانی آلاینده‌ها و اثرات آن‌ها بر تنزل کیفیت خاک می‌باشد.

را اثبات می‌کنند. پژوهش‌های پیشین انجام‌گرفته در منطقه مطالعاتی نیز مؤید اثرات منفی فعالیت‌های صنعتی مربوط به فرآوری فلز روی بر کیفیت خاک‌های مجاور شهرک صنعتی روی می‌باشند (۲، ۱۲، ۲۹).

### نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی در این مطالعه با مقادیر میانگین جهانی قابل قبول این عناصر، گویای آن است که خاک‌های منطقه به روی، سرب و کادمیوم آلوده هستند؛ در حالی که غلظت کل نیکل و مس در خاک‌های منطقه، کم‌تر از حد مجاز جهانی این عناصر است. با وجود بالا بودن نسبی مقادیر میانگین عامل آلودگی برای تمامی عناصر مورد مطالعه، طبقه‌بندی مشاهدات در قالب کلاس‌های آلودگی نشان داد که اغلب نقاط نمونه‌برداری از نظر عناصر روی و سرب در کلاس آلودگی زیاد و خیلی زیاد و از لحاظ عناصر کادمیوم،

### منابع

1. Angulo, E. 1996. The Tomlinson's pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: a useful index to assess coastal pollution. *Sci. Total Environ.* 187: 19-56.
2. Bahmani, B., Delavar, M.A., and Abdollahi, S. 2012. Geostatistical assessment of the spatial distribution of surface soil zinc content in the Zanjan Zinc Industrial Town area. 6<sup>th</sup> Conference and Exhibition on Environmental Engineering, 17-21 November 2012, Tehran. (In Persian)
3. Cai, L., Xu, Zh., Ren, M., Guo, Q., Hu, X., Hu, G., Wan, H., and Peng, P. 2012. Source identification of eight hazardous heavy metals in agricultural soils of Huizhou, Guangdong Province, China. *Ecotox. Environ. Safe.* 78: 2-8.
4. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
5. Chen, T., Liu, X., Li, X., Zhao, K., Zhang, J., Xu, J., Shi, J., and Dahlgren, R.A. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. *Environ. Pollut.* 157: 1003-1010.
6. Chen, T., Liu, X., Zhu, M., Zhao, K., Wu, J., Xu, J., and Huang, P. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. *Environ. Pollut.* 151: 67-78.
7. Chen, X., Lu, X., and Yang, G. 2012. Sources identification of heavy metals in urban topsoil from inside the Xi'an Second Ringroad, NW China using multivariate statistical methods. *Catena.* 98: 73-78.

8. Dankoub, Z., Ayoubi, S., Khademi, H., and Lu, S.G. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, Central Iran. *Pedosphere*. 22: 1. 33-47.
9. Department of Environment, Islamic Republic of Iran. 2013. Soil resources quality standards and its directions.
10. Doelsch, E., Macary, H.S., and Kerchove, V.V. 2006. Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Reunion). *J. Geochem. Explor.* 88: 194-197.
11. Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ. Pollut.* 114: 313-324.
12. Farahmandkia, Z., Mehrasbi, M.R., Sekhawatju, M.S., Hasanalizadeh, A.Sh., and Ramezanzadeh, Z. 2009. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. *Iran. J. Health Environ.* 2: 4. 240-249.
13. Fotovat, A., and Halajnia, A. 2013. The effect of compost and sewage sludge applications on the distribution of cadmium, lead and nickel in two calcareous soils. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 3: 2. 115-131. (In Persian)
14. Franco-Uria, A., Lopez-Mateo, C., Roca, E., and Fernandez-Marcos, M.L. 2009. Source identification of heavy metals in pastureland by multivariate analysis in NW Spain. *J. Hazard. Mater.* 165: 1008-1015.
15. Geological survey of Iran. 1969. United nations special fund project.
16. Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, New York, 496p.
17. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*. 14: 975-1001.
18. Han, Y.M., Du, P.X., Cao, J.J., and Posmentier, E.S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Sci. Total Environ.* 355: 1-3. 176-186.
19. Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., and Stein, A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*. 120: 75-93.
20. Juang, K.W., Chen, Y.S., and Lee, D.Y. 2003. Using sequential simulation to assess the uncertainty of delineating heavy metal contaminated soils. *Environ. Pollut.* 127: 229-238.
21. Kabata-Pendias, A. 2010. *Trace elements in soils and plants*. CRC press, Boca Raton, New York, 400p.
22. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 1999. *Biogeochemistry of trace elements*, 2<sup>nd</sup> ed. Wyd. Nauk PWN, Warsaw, 400p.
23. Karami, M., Afyuni, M., Rezainejad, Y., and Schulin, R. 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 83: 51-61.
24. Lu, X.W., Wang, L.J., Li, L.Y., Lei, K., Huang, L., and Kang, D. 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *J. Hazard. Mater.* 173: 744-749.
25. Luo, W., Wang, T., Lu, Y., Giesy, J.P., Shi, Y., Zheng, Y., Xing, Y., and Wu, G. 2007. Landscape ecology of the Guanting reservoir, Beijing, China: multivariate and geostatistical analyses of metals in soils. *Environ. Pollut.* 146: 567-576.
26. Mostert, M.M.R., Ayoko, G.A., and Kokot, S. 2010. Application of chemometrics to analysis of soil pollutants. *Trend. Anal. Chem.* 29: 5. 430-445.
27. Naeimi Marandi, S., Ayoubi, Sh., and Azimzadeh, B. 2013. Use of multivariate statistics and geostatistics to differentiate the lithologic and anthropogenic sources of some heavy metals in Zobahan industrial district, Isfahan province. *J. Water Soil.* 27: 3. 560-569.
28. Nemati, H., and Bostani, A.A. 2014. Assessment of lead and cadmium uptake by tomato plant in the presence of PGPR and arbuscular Mycorrhizal fungi. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 4: 1. 219-233. (In Persian)
29. Parizanganeh, A., Hajisoltani, P., and Zamani, A. 2010. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding Zinc Industrial Complex in Zanjan-Iran. *Procedia Environ. Sci.* 2: 162-166.

30. Romic, M., Hengl, T., Romic, D., and Husnjak, S. 2007. Representing soil pollution by heavy metals using continuous limitation scores. *Comput. Geosci.* 33: 1316-1326.
31. Schulin, R., Curchod, F., Mondeshka, M., Daskalova, A., and Keller, A. 2007. Heavy metal contamination along a soil transect in the vicinity of the iron smelter of Kremikovtzi (Bulgaria). *Geoderma*. 140: 52-61.
32. Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
33. Sun, Ch., Liu, J., Wang, Y., Sun, L., and Yu, H. 2013. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and sources of heavy metals in agricultural soil in Dehui, Northeast China. *Chemosphere*. 92: 517-523.
34. Tabatabaei, S.H., Najafi, P., and Taheri-Sodejani, H. 2014. Long-term effects of different irrigation methods with wastewater on heavy metals accumulation in soil. *J. Soil Manage. Sust. Prod.* 4: 3. 233-249. (In Persian)
35. Taqipour, M., Ayoubi, Sh., and Khademi, H. 2010. Spatial variability of total Ni and Cu concentration in surface soils surrounding the Hamadan city using geostatistic technique. *J. Water Soil Conserv.* 17: 2. 69-87. (In Persian)
36. Webster, R., and Oliver, M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley and Sons, Chichester, England, 315p.
37. Wei, J.B., Xiao, D.N., Zeng, H., and Fu, Y.K. 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China. *Environ. Geol.* 53: 1663-1672.
38. Yang, P., Mao, R., Shao, H., and Gao, Y. 2009. The spatial variability of heavy metal distribution in the suburban farmland of Taihang Piedmont Plain, China. *C. R. Biol.* 332: 6. 558-566.



## Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan Zinc Industrial Town area

\*Y. Safari<sup>1</sup>, M.A. Delavar<sup>2</sup>, I. Esfandiarpour Borujeni<sup>3</sup>,  
M.H. Salehi<sup>4</sup> and H.R. Owliaie<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zanjan and Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahrood University of Technology, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, <sup>4</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, <sup>5</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Yasouj  
Received: 03/27/2015; Accepted: 09/01/2015

### Abstract

**Background and Objectives:** Considering progressive growth of industry and technology, the accumulation of environmental contaminants, especially heavy metals (HMs) in the soil is of increasing concern worldwide about the probable soil pollution risks. The perception of pollutants spatial distribution pattern and recognition of factors which control this pattern and identification of probable sources of pollution, are the most important purposes in the environmental pollution studies. The present study was conducted to achieve to useful information to distinguish the role of natural sources from the human ones, using modeling the spatial variability pattern of heavy metals pollution load index in the Zanjan Zinc Industrial Town area.

**Materials and Methods:** In the present study, 85 topsoil samples (0-20 cm) were collected using a regular grid sampling pattern. The total (Nitric-acid extractable) contents of Zn, Pb, Cd, Ni and Cu were measured for each soil sample using atomic absorption spectroscopy. By assessing the soil pollution risk with selected HMs, contamination factor was calculated. Accordingly, sampling locations were classified into the different soil contamination classes. In order to simultaneous assessment of the status of overall soil pollution by the pollutant elements, pollution load index (PLI) of studied heavy metals was calculated. Afterwards, PLI was considered as an environmental variable which its values at un-sampled locations were interpolated using ordinary kriging method.

**Results:** Comparing the measured HMs contents with their maximum permissible limits in the soil showed that the studied soils are polluted with Zn, Pb and Cd, but non-polluted with Ni and Cu. The total concentration of Zn, Pb and Cd in the soil showed a great degree of variability, indicated by large coefficients of variation (CV) from 140.5% of Cd to 185.6% of Pb. These elevated CVs may indicate that these elements' distribution in the studied area is influenced by an anthropogenic source. In contrast, the relatively low calculated CVs for Ni (78.1%) and Cu (80.3%) may imply that natural sources are responsible for these elements' distribution in the studied soils. Classification of observations according to the contamination factor of studied heavy metals showed that most of sampling points occurred in the very high contamination class regarding Zn and Pb (65.9% and 68.2%, respectively) and in the medium contamination class regarding Cd, Cu and Ni (57.7, 51.8 and 68.2%, respectively). Mapping the spatial variability of heavy metals pollution load index showed that areas with highest pollution contents occurred in the contiguity of Zinc Town.

**Conclusion:** Totally, industrial activities related to Zn production caused to simultaneous entrance of several heavy metals to the adjacent soils and lead to degradation of the lands in studied area. Considering the low efficiency of single-element maps for HMs to reflect the overall soil quality in relation to environmental contaminants, modeling of the spatial variability of PLI may provide the good perception of the contaminants' spatial distribution and their effects on soil quality.

**Keywords:** Contamination factor, Heavy elements, Soil pollutants, Spatial distribution

\* Corresponding Authors; Email: [yasersafari@znu.ac.ir](mailto:yasersafari@znu.ac.ir)

