

## تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان

امیرحسین بقائی<sup>۱</sup>، \* حسین خادمی<sup>۲</sup> و جهانگرد محمدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>مری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، <sup>۲</sup>دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، <sup>۳</sup>دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۸۴/۲/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۸/۱۴

### چکیده

فعالیت‌های صنعتی، باعث آلودگی و تجمع فلزات سنگین در خاک و در نهایت منجر به جذب این فلزات توسط گیاهان می‌شود. با توجه به اهمیت استان اصفهان از نظر فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، این تحقیق با هدف ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌های اطراف ذوب آهن و مجتمع فولاد مبارکه به فلزات سرب و نیکل صورت گرفت. در این تحقیق ۲۰۸ نمونه خاک بر روی شبکه منظم با فواصل ۴ کیلومتر برداشت شد و با نزدیک شدن به دو کارخانه فواصل تا ۵۰۰ متر کاهش یافت. مقدار قابل جذب عناصر به وسیله عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد. نتایج اولیه نشان داد که غلظت عنصر سرب در اطراف ذوب آهن و نیکل در اطراف زمین‌های هر دو کارخانه نسبت به سایر نقاط بالاتر بوده است. الگوی کروی بهترین مدل برازش داده شده برای این متغیرها می‌باشد. به منظور تعیین دقت تخمین‌های انجام شده از میانگین خطای تخمین و میانگین مجذور خطای تخمین استفاده گردید که نتایج حاکی از دقت بالای مقادیر تخمین مخصوصاً برای نیکل می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی، ذوب آهن، مجتمع فولاد مبارکه، تغییرات مکانی

### مقدمه

کننده محیط زیست به‌شمار رفته و از میان آنها فلزات سنگین بدلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آنها بر موجودات زنده در غلظت‌های کم حائز اهمیت شناخته شده‌است (وهاب‌زاده، ۱۳۷۲).

بشر منفعت طلبی سیری‌ناپذیر خود با اتکا به تکنولوژی پیشرفته به انهدام و تخریب طبیعت پیرامون خویش اقدام نموده و به جدالی ویرانگر با آن پرداخته

بشر در مواجهه با محیط زیست که بقای وی به‌طور اجتناب‌ناپذیری بدان وابسته است. شیوه معقولی را اتخاذ ننموده و به جای جامع‌نگری، مآل اندیشی و برنامه‌ریزی جهت بهره‌وری دیرپا از محیط پیرامونش به بهره‌گیری آنی و منفعت جوئی فوری و گذرا دلخوش داشته است (وهاب‌زاده، ۱۳۷۲). آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل

مادری و سرب از کودهای شیمیایی و کادمیم از فعالیت واحدهای صنعتی به خاک اضافه شده‌اند. وان مرون (۱۹۹۳)، محمدی (۱۹۹۷)، کوتو و جولین (۲۰۰۱) و گوانزالز و همکاران (۲۰۰۱) مطالعات گسترده‌ای را در زمینه کاربرد زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین انجام داده‌اند. فاک چینلی و همکاران (۲۰۰۱) ضمن انجام آنالیز زمین آمار چندمتغیره پی‌بردند که مقادیر کروم، نیکل و کبالت در خاک با هم ارتباط دارند و از یک منشأ تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. آنها با انطباق نقشه مؤلفه اول روی نقشه زمین‌شناسی دریافتند که توزیع مکانی این سه عنصر توسط سازندهای زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود. ویستر و همکاران (۱۹۹۴) نیز با مطالعه‌ای مشابه نشان دادند که توزیع کبالت و نیکل خاک که در مؤلفه اول ظاهر شده‌اند با نوع مواد مادری منطقه مرتبط هستند. تریاک و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی در پاکستان توانستند توزیع مکانی عناصر سنگین را در خاک‌های مورد مطالعه بررسی کنند.

در ایران علی‌رغم اینکه مطالعات متعددی در زمینه آلودگی صورت گرفته، پراکنش زمین آماری عناصر سنگین به ندرت مطالعه شده است. هدف از این مقاله بررسی مطالعه زمین آماری سرب و نیکل در اطراف دو قطب صنعتی مجتمع فولاد - مبارکه و ذوب‌آهن اصفهان با هدف تهیه نقشه‌های هم مقدار معرف مقادیر کمی فلزات سنگین و تعیین نقاط آلوده و بحرانی و تعیین عوامل مؤثر در پراکنش این عناصر صورت گرفته است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری:** منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی اصفهان در مسیر جاده اصفهان - مبارکه واقع شده است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی حداثی عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ} 12' 7''$  تا  $32^{\circ} 27' 53''$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ} 19' 6''$  تا  $51^{\circ} 22' 1''$  شرقی قرار دارد. متوسط ارتفاع از سطح دریا  $1803$  متر و مساحت آن  $300$  کیلومتر مربع می‌باشد. این

است. نمونه‌ای از این جدال تولید آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی به خاک می‌باشد. آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به شمار رفته و از میان آنها فلزات سنگین<sup>۱</sup> به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آنها بر موجودات زنده و انسان در غلظت‌های کم حائز اهمیت شناخته شده‌اند که از جمله این عناصر می‌توان به سرب، روی، مس، نیکل و کادمیوم اشاره کرد که توسط فعالیت‌های صنعتی به خاک اضافه می‌شوند (بورکا و همکاران، ۲۰۰۵). این عناصر در خاک تحرک کمی داشته به نحوی که حداکثر در  $30$  سانتی‌متری سطح خاک باقی می‌مانند. فلزات مزبور با ضایعات کارخانه و صنایع و یا به صورت دود و گرد و غبار وارد محیط زیست شده و ضمن ورود به چرخه غذایی انسان و حیوانات برای آنها خطر ساز خواهد شد.

یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی منطقه عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط می‌باشد. بدین منظور استفاده از راهکار مناسب جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط توصیه می‌گردد. یکی از این اهداف به کار بردن آنالیزهای مکانی بر روی داده‌های ژئوشیمیایی محیطی استفاده از روش میانبایی برای ترسیم شبکه و تهیه نقشه‌های لازم می‌باشد. از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار به نام زمین‌آمار<sup>۲</sup> پا به عرصه علوم نهاد که امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آنها را به وجود آورد. این علم یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد (ایساک، ۱۹۸۹).

آتیا و دوبویس (۱۹۹۴) جهت تعیین پراکنش مکانی عناصر سنگین در سوئیس از تکنیک زمین آمار استفاده کرده و نتیجه گرفتند که منشأ اصلی کبالت و نیکل از مواد

1 - Heavy metals  
2 - Geostatistics

متغیر خاص را نشان داده و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک می‌باشد. همچنین طبیعی‌ترین روش برای مقایسه دو کمیت، مثلاً دو مقدار  $Z(x)$  و  $Z(x+h)$  در دو نقطه یکی به مختصات  $x$  و دیگری  $x+h$  که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند، آن است که اختلاف آنها را بررسی کنیم. بدیهی است که علامت این اختلاف مهم نبوده و برای تجزیه و تحلیل، میانگین  $Z(x_i+h)-Z(x_i)$  مورد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین بایستی میانگین  $|Z(x)-z(x+h)|$  را برای تمام موقعیت‌های  $x$  و  $x+h$  محاسبه کرده و در نظر بگیریم. از آنجایی که متوسط این کمیت، صفر و یا نزدیک به صفر است در عمل، مجذور اختلاف را در نظر می‌گیرند (مدنی، ۱۳۷۳). فرض می‌کنیم که جمعاً تعداد  $N(h)$  زوج نمونه که به فاصله بردار  $h$  از یکدیگر واقع شده‌اند در دست باشد، براساس این اطلاعات تغییرنا به صورت معادله ۱ زیر خواهد بود.

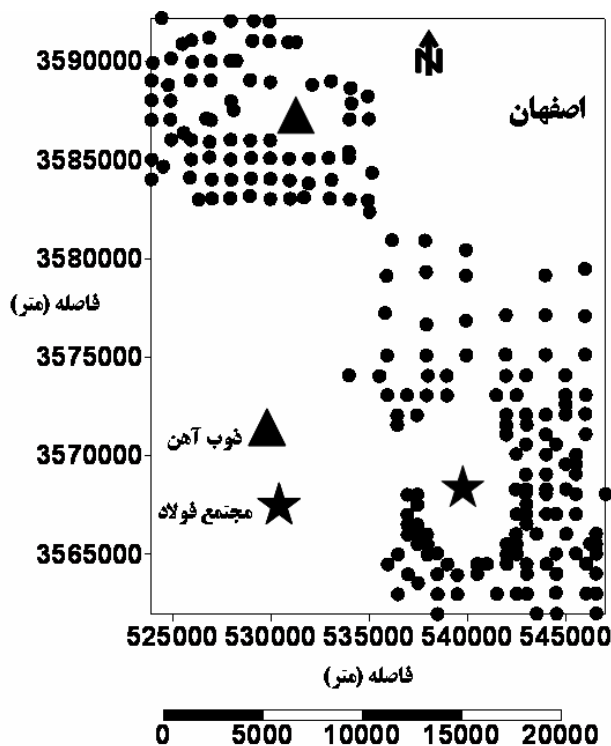
$$2\gamma(h) = 1/n \sum_{i=1}^n [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

منطقه بر روی نقشه ۱/۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی کشور با شماره ۶۲۵۴ واقع شده است و حدفاصل بین دو کارخانه ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه می‌باشد.

نمونه‌برداری بر روی یک شبکه اصلی منظم با فواصل چهار کیلومتر به عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر صورت گرفت و به منظور مطالعه دقیق‌تر تغییرات غلظت آلاینده‌ها بویژه در مجاورت کارخانه‌های مجتمع فولاد و ذوب آهن شبکه نمونه‌برداری کوچکتری با فواصل ۵۰۰ متر طراحی شد. الگوی نمونه‌برداری و موقعیت نمونه‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

غلظت عناصر سنگین سرب، نیکل قابل جذب جمعاً به تعداد ۲۰۸ نمونه با استفاده از عصاره‌گیر DTPA تعیین شد (لیندزی، ۱۹۸۷). توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 7 صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری: تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی با استفاده از تغییر نما<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد. تغییرنا تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک



شکل ۱- الگوی نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی.

پناتیر، ۱۹۹۳) و نقشه‌های معرف هم مقدار آلودگی. نقشه‌های واریانس خطای تخمین با استفاده از نرم‌افزار Surfer 6 رسم گردید.

### نتایج و بحث

خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. میانگین غلظت سرب و نیکل قابل جذب به ترتیب ۱/۸ و ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. با توجه به نتایج آماری جدول ۱ و آزمون کولموگروف - اسمیرنوف توزیع سرب و نیکل قابل جذب در منطقه از تابع نرمال پیروی نکرده است ولی بدلیل جزئی بودن انحراف از توزیع طبیعی ترجیح داده شد که در محاسبات از داده‌های اصلی استفاده گردد. چولگی مشاهده شده بیشتر تحت تأثیر خصوصیات خاک از جمله مواد آلی قرار گرفته و کمتر تحت تأثیر غلظت کل و همچنین پراکنش این عناصر می‌باشد. شکل ۲ پراکنش نقطه‌ای سرب و نیکل قابل جذب در منطقه را با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضر روی فاکتورهای سرب و نیکل قابل جذب مدل کروی<sup>۱</sup> برازش داده شد که به شکل معادله ۲ می‌باشد:

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a_0}\right) \right] & 0 \leq h \leq a_0 \\ c_0 + c_1 & h > a_0 \end{cases} \quad (2)$$

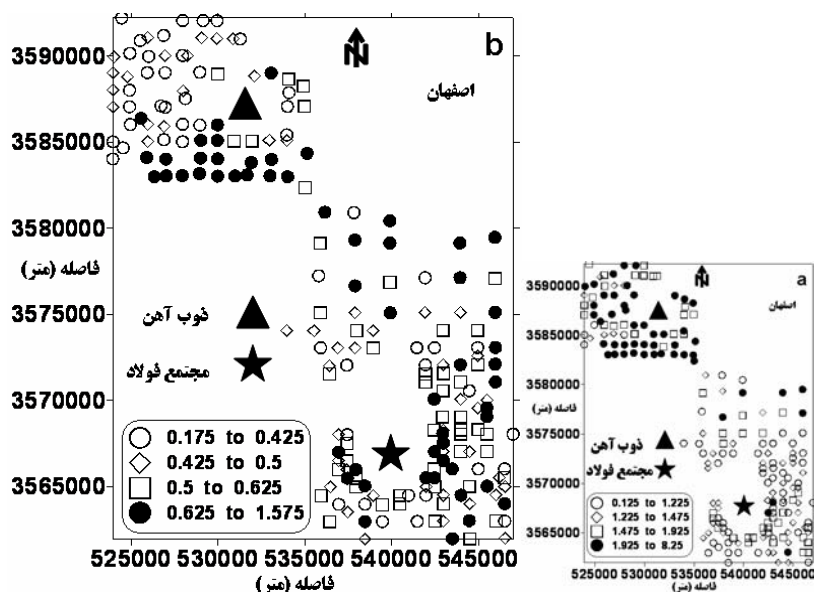
پس از تعیین پارامترهای مدل، عمل کریجینگ به وسیله وزن‌های محاسبه شده برای هر نقطه به وسیله معادله ۳ صورت گرفت و نقشه‌های هم میزان به کمک تکنیک کریجینگ قطعه‌ای<sup>۲</sup> صورت گرفت. کریجینگ در واقع تکنیک میان یابی یک متغیر در نواحی نمونه‌برداری نشده به کمک مقادیر متغیر در نقاط یا بلوک‌های مجاور و وزن‌های تعیین شده توسط مدل تغییر نما ( $\lambda_i$ ) می‌باشد (وبستر و اولیور، ۲۰۰۰):

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

در این معادله  $\lambda_i$  وزن متغیر در نقاط اندازه‌گیری شده و  $Z(x_i)$  مقدار متغیر در نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشد. جهت محاسبه و ترسیم تغییرنما از نرم افزار واروین

جدول ۱- خلاصه آماری داده‌های مربوط به غلظت سرب و نیکل قابل جذب در منطقه مورد مطالعه (میلی‌گرم/کیلوگرم).

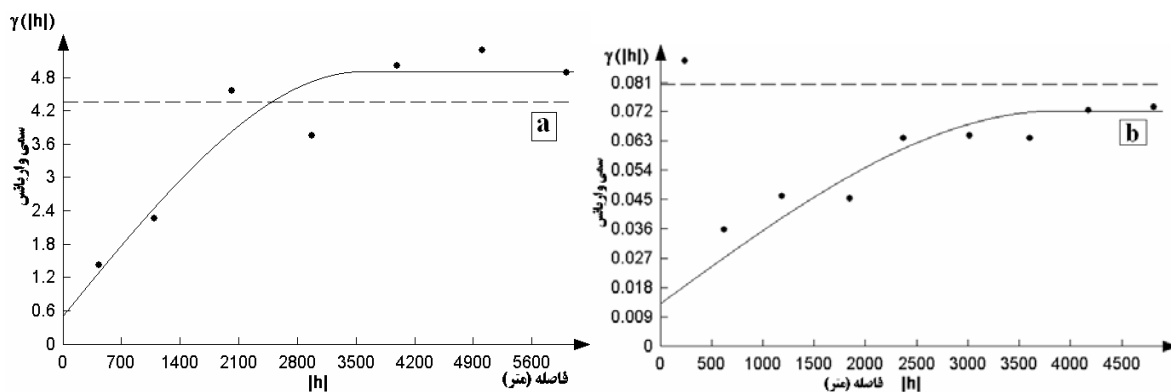
متغیر	تعداد	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	چولگی	حداقل	حداکثر
سرب	۲۰۸	۱/۸	۱/۴	۱/۳	۱/۴	۲/۶	۰/۱	۸/۲
نیکل	۲۰۸	۰/۵	۰/۵	۴/۳	۰/۲	۱/۸	۰/۲	۱/۵



شکل ۲- پراکنش نقطه‌ای سرب (a) و نیکل قابل جذب (b) (میلی‌گرم بر کیلوگرم).

- 1 - Spherical
- 2 - Block kriging

تحلیل قرار می‌دهد. در این تحقیق روند و ناهمسانگردی خاصی در داده‌ها مشاهده نگردید، لذا الگوی همه جانبه جهت مطالعه ساختار این دو عنصر در نظر گرفته شده است. علی‌رغم اینکه در پدیده‌های آلودگی از نوع نقطه‌ای انتظار می‌رود با افزایش فاصله از منبع آلاینده نقطه‌ای، غلظت آلاینده کاهش یابد، عدم مشاهده چنین رفتاری در منطقه مورد مطالعه می‌تواند ناشی از نزدیکی دو منبع به یکدیگر و تداخل اثرات آلاینده‌گی آنها تحت تأثیر توپوگرافی و عوامل اقلیمی همچون وزش باد غالب باشد. شکل ۳ و جدول ۲ به ترتیب تغییرنمای همه جهته و پارامترهای مربوط به آن را در مورد دو عنصر سرب و نیکل قابل جذب نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییر نمای تمام جهت سرب (a) و نیکل قابل جذب (b) در خاک.

جدول ۲- پارامترهای تغییرنمای متغیرهای سرب و نیکل قابل جذب در خاک.

متغیر	مدل	دامنه (متر)	حد آستانه*	اثر قطعه‌ای*
سرب	کروی	۳۵۷۲	۴/۴	۰/۵۲
نیکل	کروی	۳۸۶۴	۰/۰۳۸۵	۰/۰۱۳۳

\* واحد بر حسب <sup>۲</sup> (میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.

استفاده از پارامترهای میانگین خطای تخمین و میانگین مجذور خطای کاهش یافته صحت الگوی برازش داده شده بررسی شده است که این مطلب در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین خطای تخمین و میانگین مجذور خطای کاهش یافته به ترتیب به مقادیر ایده‌آل شان که به ترتیب برابر صفر و یک می‌باشد نزدیک می‌باشد که این

به نظر می‌رسد زمین‌های اطراف ذوب‌آهن اصفهان نسبت به اطراف مجتمع فولاد مبارکه غلظت بالایی از سرب را دارا می‌باشد و در مورد نیکل زمین‌های اطراف فولاد مبارکه نیز غلظت نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند، علی‌رغم اینکه هنوز هم غلظت سرب و نیکل در منطقه زیر حد استاندارد می‌باشد. وجود باد غالب منطقه (شمال شرق - جنوب غرب) نیز می‌تواند عامل مؤثری در پراکنش این عنصر باشد. از آنجائی که به نظر می‌رسد ذوب‌آهن اصفهان و فولاد مبارکه به عنوان دو منبع آلاینده نقطه‌ای باعث ورود فلزات سنگین به منطقه باشند، لذا اطلاع از پراکنش مکانی آنها ضروری به نظر رسیده و آمار کلاسیک نمی‌تواند پاسخگوی این مطلب باشد. علم زمین‌آمار مقدار کمیت را در ارتباط با موقعیت مکانی متغیر یک‌جا مورد

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است ساختار کروی به عنوان بهترین مدل بر روی نقاط برازش داده شده و دو عنصر تا فاصله ۳/۵ تا ۴ کیلومتر را ساختار وابسته به مکان نشان می‌دهد. جهت کنترل اعتبار تغییرنماهای ترسیم شده روش کریجینگ-جک نایف بکار گرفته و سپس با استفاده از آنالیز خطای تخمین و با

می‌دهد مناطق اطراف ذوب‌آهن اصفهان نسبت به مجتمع فولاد مبارکه دارای غلظت سرب بالاتری نسبت به سایر نقاط می‌باشد که این نقشه هماهنگی خوبی با شکل ۲ که پراکنش نقطه‌ای سرب قابل جذب در خاک را نشان می‌دهد، دارد. شکل b-۴ واریانس تخمین حاصل کریجینگ قطعه‌ای را نشان می‌دهد.

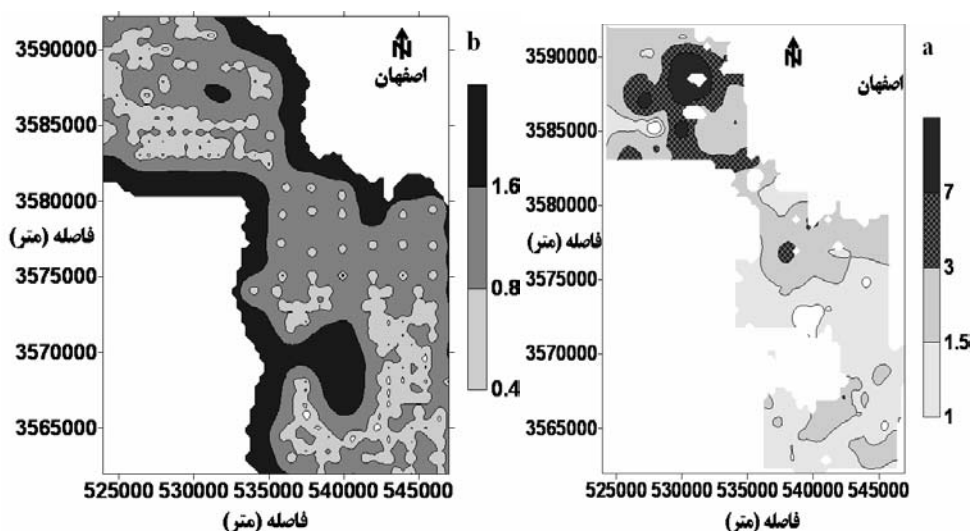
حاکی از دقت بالای تخمین که در مورد نیکل از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

کریجینگ قطعه‌ای سرب قابل جذب با استفاده از بلوک‌هایی به ابعاد  $1000 \times 1000$  متر صورت گرفته و در داخل ناحیه جستجو حداکثر ۱۶ نقطه و حداقل ۴ نقطه به منظور میانمایی به کاررفته است. شکل a-۴ حاصل کریجینگ قطعه‌ای سرب در خاک می‌باشد که نشان

جدول ۳- الگوی تغییرنمای انتخاب شده عناصر سرب و نیکل قابل جذب جهت کریجینگ.

متغیر	مدل	دامنه (متر)	حد آستانه*	میانگین خطای تخمین	میانگین مجذور خطای کاهش یافته تخمین
سرب	کروی	۳۵۷۲	۴/۴	۰/۰۰۳	۳/۴۵
نیکل	کروی	۳۸۶۴	۰/۰۳۸۵	۰/۰۰۴	۲/۵

\*واحد بر حسب (میلی گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.



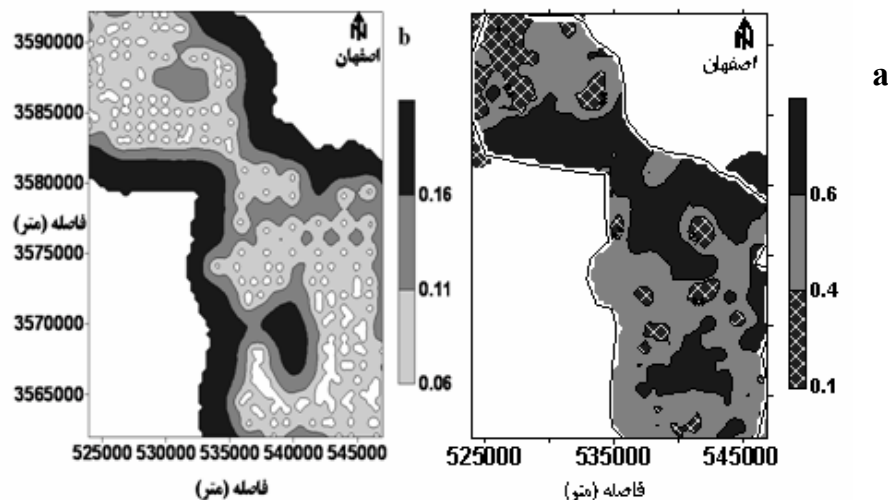
شکل ۴- کریجینگ قطعه‌ای (a) و واریانس تخمین (b) سرب قابل جذب در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم).

علی‌رغم اینکه هنوز غلظت سرب در منطقه زیر حد استاندارد (تیلر و مری، ۱۹۷۶) می‌باشد، ولی با توجه به فعالیت‌های وسیع کشاورزی در قسمت جنوبی ذوب آهن بایستی با اقدامات لازم از ورود بیشتر این عنصر سمی به منطقه جلوگیری کرد. نیکل قابل جذب حداقل ۰/۲ تا حداکثر ۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد و بیشترین کلاس آلودگی در زمین‌های قسمت جنوب ذوب آهن و تا حدودی اطراف مجتمع فولاد مبارکه مشاهده می‌شود. نقشه کریجینگ توانسته است مقادیر بالای نیکل قابل

مناطق داخل مجتمع فولاد مبارکه دارای بیشترین واریانس تخمین بوده که این امر را می‌توان به دلیل عدم امکان نمونه برداری از داخل مجتمع فولاد مبارکه دانست. سایر محققین (بوروکا و همکاران، ۲۰۰۵؛ تریاک و همکاران، ۲۰۰۵) با استفاده از تکنیک زمین آمار توانسته‌اند منشأ عناصر سنگینی نظیر سرب و نیکل را مورد ارزیابی قرار دهند. اکثر مطالعات آنها نشان‌دهنده این است که منشأ اصلی سرب و نیکل در خاک‌های مورد مطالعه از مواد مادری و سنگ‌های منطقه بوده است.

نشان دهد که منشاء آنها بایستی در مطالعات بعدی دقیق تر مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۵).

جذب را در قسمت های شمال شرقی مجتمع فولاد مبارکه و اراضی کشاورزی واقع در قسمت های جنوب ذوب آهن



شکل ۵- کربجینگ قطعه ای (a) و واریانس تخمین (b) نیکل قابل جذب در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم).

پیشنهاد می گردد تا در پاک سازی مناطق آلوده، امکان استفاده از روش های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از جمله گیاه پالائی<sup>۱</sup> با استفاده از گیاهان ابر جذب کننده مورد مطالعه قرار گیرد. گیاه پالائی فرآیندی است که در آن برخی گیاهان قادرند آلودگی های مختلف خاک از جمله عناصر سنگین را به وسیله جذب عناصر کاهش دهند. جمع آوری گیاهان مزبور و احتمالاً معدوم کردن آنها این عناصر را به طور موقت از چرخه حیاتی خارج می سازد (هنری، ۲۰۰۰؛ پنوار و همکاران، ۲۰۰۲) در فرآیند گیاه پالایی، با کشت گیاهان مرتعی و غیر متمر که توانایی بالایی در جذب عناصر سنگین نظیر سرب و نیکل دارند می توان به طور موقت خاک را از خطر آلودگی حفظ کرد.

اطلاعات مربوط به غلظت بالای فلزات سنگین قابل جذب حاکی از افزایش این عناصر در اطراف زمین های دو کارخانه مجتمع فولاد مبارکه و ذوب آهن بوده است، گرچه هنوز هم مقدار مشاهده شده زیر حد استاندارد می باشد. پیشنهاد می شود در بررسی های بعدی به طریق مقتضی برآورد دقیقی از میزان فلزات سنگین که از طریق خروجی های قطب های صنعتی وارد اکوسیستم از جمله آب و خاک می شود صورت گیرد و در صورت افزایش غلظت آلاینده ها با نظرات سازمان های مربوطه از جمله سازمان حفاظت محیط زیست، فعالیت های صنعتی در این مناطق با رعایت استانداردهای لازم صورت گیرد تا از افزایش آلودگی احتمالی جلوگیری به عمل آید. همچنین با توجه به آلودگی بخش هایی از منطقه مورد بررسی

## منابع

۱. مدنی، ح.، ۱۳۷۳. مبانی زمین آمار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۶۵۹ص.
۲. وهاب زاده، ع.، ۱۳۷۲. مبانی محیط زیست، چاپ اول، جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۳۵ص.
3. Atteia, O., and Dubois, J.P., 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. *Env. Pollution*. 86: 315-327.
4. Boruvka, L., Vacak, O., and Jeilicka, J., 2005. Principle Component Analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. *Geoderma*. 28: 289-300.
5. Facchinelli, A., Sachi, E., and Mallen, L., 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*. 114: 313-324.

6. Gonzalez, A., Taboada, M.T., and Vieira, S.R., 2001. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-ha plot under natural vegetation in a serpentine area. *Can. J. Soil Sci.* 81: 469-479.
7. Hernry, R.J., 2000. An overview of the lead and mercury. National network of Environmental Management studies. U.S. Environmental protection Agency Washington, D.C., 55pp.
8. Issaks, E.H., and Srivastava, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics, Oxford University Press, New York, pp. 540-565.
9. Koutev, V., and Julien, P., 2001. Spatial variability total and bioavailable Zn in the Canton of Fribourg Switzerland. Swiss Federal Institute of Technology. pp:189-190.
10. Lindsay, W.L., 1987. Development of a DTPA soil test for Zinc, iron, manganese and copper, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, pp.421-428.
11. Mohammadi, J., 1997. Geostatistical mapping of environmental soil hazards. Ph.D. Thesis, Gent University, Belgium. 196p.
12. Pannatier, Y., 1993. Variowin, version: 1.2. Institute of Mineralogy, University of Lausanne, Switzerland.
13. Panwar, B.S., Ahmed, K.S., and Mittal, S.B., 2002. Phytoremediation of Nickel-Contaminated Soils by Brassica Species. *Environment, Development and Sustainability*. 4: 1- 6.
14. Tiller, K.G., and Merry, R.H., 1976. Heavy metal contamination of soil around a lead smelter. *Aust. J. Soil Res.* 15: 69-81.
15. Traiq, S.R., Shah, M.H., Shaheen, N., Khalique, A., and Jaffar, M., 2005. Multivariate analysis traces metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: A case study from Peshawar, Pakistan. *Journal of Environmental management*. In press.
16. Van Meirvenne, M., 1993. Geostatistical analysis of the cadmium pollution in north-west Limburg. Belgium, *Biom. & Praxim.* 33: 45-56.
17. Webster, R., and Oliver, M.A., 2000. *Geostatistics for environmental sciences*, Wiley press, ISBN: 0-41-96553-7, 271pp.
18. Webster, R., Atteia, O., and Dumois, J.P., 1994. Coregionalization of trace metals in the Swiss Jura. *European Journal of Soil Science*. 45: 205-218.



## **Geostatistical analysis of spatial variability of Lead and Nickel around two industrial factories in Isfahan province**

**A.H. Baghaie<sup>1</sup>, H. Khademi<sup>2</sup> and J. Mohammadi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Instructor of Islamic Azad Univ., Arak Branch, <sup>2</sup>Assoc. Prof. of Soil Science, Isfahan University of Technology,

<sup>3</sup>Assoc. Prof. of Soil Science, Shahrekourd Univeristy

---

---

### **Abstract**

Industrial activity may result in the accumulation of heavy metals in soils and increase the uptake of these metals by plants. This research was conducted to evaluate the map of soil contamination with Pb and Ni around the Isfahan Steel plant and Mobarakeh Steel complex, as the major industrial area of the Isfahan province. In this research, 208 soil samples were collected in a regularly spaced grid pattern with an interval of 4 km. The sampling distance was decreased to a minimum of 500 m as the sampling point got closer to the industrial plants. The plant available Pb and Ni concentration were determined using DTPA extracting solution. The results showed that the concentration of Pb increased around the Isfahan Steel plant and Ni around two factories. Variograms were best fitted by the spherical model. To determine the estimation accuracy, mean error (ME), mean of sum of square error (MSE) were calculated. The result of validation revealed that high accuracy of estimation for all of the heavy metals especially for Ni.

**Keywords:** Pollution; Isfahan Steel Melt; Mobarakeh Steel Complex; Spatial variability