

## تجزیه و تحلیل زمین‌آماري غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک‌های حومه سپاهان‌شهر واقع در جنوب اصفهان

محمود دبانی<sup>۱</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۲\*</sup> - مهدی نادری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۳

### چکیده

فلزات سنگین به طور طبیعی در همه خاک‌ها وجود دارند ولی آلودگی خاک به دلیل فعالیت‌های بشری رو به افزایش است. نواحی اطراف معادن به دلیل فعالیت‌های حاصل از اکتشاف و استخراج در معرض آلودگی شدید این عناصر می‌باشند. این تحقیق با هدف ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌های حومه‌ی سپاهان‌شهر به فلزات سرب، روی و کادمیم صورت گرفت. در این تحقیق ۱۰۰ نمونه خاک به صورت تصادفی در نزدیکی معادن و اطراف سپاهان‌شهر در زمینی به وسعت ۹۰۰۰ هکتار برداشت شد. نمونه‌ها با اسید نیتریک ۴ مولار تیمار شدند و مقدار کل عناصر سرب، روی و کادمیم به کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت عناصر سرب و روی در بیشتر اراضی اطراف سپاهان‌شهر بالای آستانه‌ی خطر (۵۰ پی پی ام و ۱۲۵ تا ۱۵۰ پی پی ام به ترتیب برای سرب و روی) می‌باشد، ولی غلظت کادمیم زیر آستانه‌ی خطر (۱/۵ تا ۲/۵ پی پی ام) می‌باشد. اراضی اطراف معادن دارای آلودگی بیشتر و با افزایش فاصله از معدن میزان آلودگی کاهش می‌یابد. لذا لازم است تا توسعه فیزیکی شهر به سوی معادن مربوط و کلیه فعالیت‌های کشاورزی، اکتشاف و استخراج معادن با رعایت استانداردهای مربوطه انجام گرفته تا از افزایش آلودگی بیشتر جلوگیری گردد. نتایج تجزیه و تحلیل تغییرنماها نشان داد که مؤلفه‌ی ساختاری وابستگی مکانی بر مؤلفه‌ی تصادفی غالب است و دامنه این وابستگی مکانی برای هر سه عنصر تقریباً ۳/۳ کیلومتر می‌باشد. با استفاده از کریجینگ معمولی آلودگی خاک‌ها به این سه عنصر پهنه‌بندی شد و نقشه‌های واریانس تخمین کریجینگ در مورد عناصر مورد مطالعه نشان می‌دهد که در حاشیه منطقه و فواصل بین نمونه‌ها که تراکم نمونه‌برداری کاهش یافته است بیشترین واریانس تخمین وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، عناصر سنگین، زمین‌آمار، کریجینگ، پهنه‌بندی

### مقدمه

بر کیلوگرم و حد بحرانی آن ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۲۵). غلظت روی در خاک بین ۱۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مقدار متوسط آن ۵۰ و حد بحرانی آن ۱۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۹). در مورد کادمیم، به طور کلی اکثر خاک‌های غیر آلوده غلظت‌های کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم را دارند و غلظت بحرانی آن در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۷). هر کدام از این عناصر اگر بیش از حد معمول وارد چرخه غذایی انسان شوند از لحاظ سلامتی بسیار خطر ساز خواهند بود. به عنوان مثال سرب بعد از انتقال در خون به نقاط مختلف بدن منتقل شده و در اندام‌هایی مانند کلیه، کبد، طحال، سیستم‌های عصبی، مغز استخوان و غدد فوق کلیوی جمع می‌شود و بالا رفتن غلظت آن ایجاد سمیت شدیدی می‌کند که در اثر عدم درمان و جلوگیری از آلودگی بیشتر به مرگ منتهی می‌شود (۳). اگر غلظت روی در انسان از حد معمول آن (۲ میلی‌گرم در روز) بالاتر رود ایجاد مسمومیت می‌کند. تحت چنین

آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به شمار رفته و از میان آنها فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده در غلظت‌های کم حائز اهمیت شناخته شده‌اند (۵). از جمله این عناصر می‌توان به سرب، روی و کادمیم اشاره کرد که به خاطر توانایی بالقوه در آسیب رسانی به سلامت انسانها و حیوانات در چند دهه اخیر از نظر مسائل زیست محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و سعی شده از ورود آنها به چرخه محیط زیست تا حد امکان جلوگیری شود. غلظت سرب در خاکها بین ۱ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و به طور متوسط ۱۵ میلی‌گرم

۱- مربی گروه خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ورامین اهواز

۲ و ۳- دانشیار و استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهر کرد

\* - نویسنده مسئول (Email: drj\_mohammadi@yahoo.com)

ولورهمپتون<sup>۲</sup> در انگلستان تهیه کردند. الگوی کروی بهترین مدل برازش داده شده برای داده‌های آنها بود. آنها از تخمینگر کریجینگ معمولی برای تخمین غلظت سرب در نواحی نمونه‌برداری نشده استفاده کردند. این محققین از نقشه‌های خطای کریجینگ به عنوان کنترل کننده اعتبار نقشه‌های بدست آمده استفاده کردند. زینگ می و همکاران (۲۴) تغییرات مکانی Cd, Cr, Pb, Zn, Cu را در منطقه هانگزونگ<sup>۳</sup> چین مورد بررسی قرار دادند و از کریجینگ معمولی و کریجینگ لوگ نرمال برای تهیه نقشه آلودگی این عناصر استفاده کردند. آنها گزارش کردند که دخالت‌های انسان در طبیعت تعیین عامل تعیین کننده‌ای در تغییرات مکانی این عناصر در خاک می‌باشد. در ضمن از بین پنج عنصر بالا Cu, Zn, Cr بیشترین خطر آلودگی را برای سلامتی انسان داشتند. زیانگ دونگ و همکاران (۲۳) نیز مطالعه مشابهی را در اراضی اطراف هونگ-کونگ<sup>۴</sup> انجام دادند. آنها گزارش کردند که دخالت‌های انسان در طبیعت و فعالیت‌های صنعتی از مهمترین دلایل آلودگی این عناصر در مناطق شهری و مسکونی می‌باشد. در همین راستا محمدی (۱۶)، رودریگز و همکاران (۱۸) و گونزالز و همکاران (۱۱) مطالعات گسترده‌ای را در زمینه کاربرد زمین‌آمار در بررسی تغییرات مکانی عناصر سنگین انجام داده‌اند. منطقه مورد مطالعه در جنوب شهر اصفهان و در حومه‌ی سپاهان شهر، در پایین دست کوه ایرانکوه که غنی از رگه‌های سرب و روی است قرار دارد. گسترش فعالیت‌های معدنی مانند استخراج، تغلیظ و حمل و نقل در قسمت جنوب و جنوب غربی منطقه امکان آلودگی اراضی این ناحیه را فراهم کرده است. لذا این مطالعه در راستای بررسی زمین‌آمار سرب، روی و کادمیم کل در خاک‌های حومه سپاهان شهر و تهیه نقشه‌های هم مقدار معرف مقادیر کمی فلزات سنگین و تعیین نقاط آلوده و بحرانی انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب اصفهان و در شمال جاده اصفهان - شیراز واقع شده است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی حد فاصل طولهای جغرافیایی "۳۸ ۴۰' ۵۱° و "۲۴ ۳۵' ۵۱° شرقی و عرضهای جغرافیایی "۷۹ ۳۰' ۳۳° و "۴۷ ۳۳' ۳۲° شمالی قرار دارد. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰۵ متر و مساحت آن ۹۰۰۰ هکتار می‌باشد. در قسمت‌های جنوبی اراضی منطقه مسکونی سپاهان شهر، معدن دولتی باما و چند معدن خصوصی دیگر وجود دارد که غنی از رگه‌های سرب و روی می‌باشند و از سال‌های قبل فرآیند استخراج از آنها شروع شده و تا کنون هم ادامه دارد.

شرایطی دستگاه ایمنی بدن خوب کار نمی‌کند و احتمال ابتلا به آسم بسیار زیاد می‌باشد. تهوع، استفراغ و سرطان پوست از دیگر علائم مسمومیت روی است (۲). مهمترین اثرات سوء کادمیم، تجمع مزمن آن در قشر رویی کلیه بوده و زمانی که غلظت آن به ۲۰۰ میکروگرم در هر کیلوگرم وزن تر کلیه برسد، سبب از کار افتادن مجاری کلیوی می‌شود. نرم شدن استخوان‌ها به واسطه اختلال در موزانه کلسیم و فسفر از دیگر علائم مسمومیت کادمیم می‌باشد (۱۷). بنابراین پهنه‌بندی این عناصر در خاک و شناسایی مکان‌های آلوده کمک بسیار زیادی را در انجام مدیریت‌های لازم برای جلوگیری از گسترش آلودگی می‌کند.

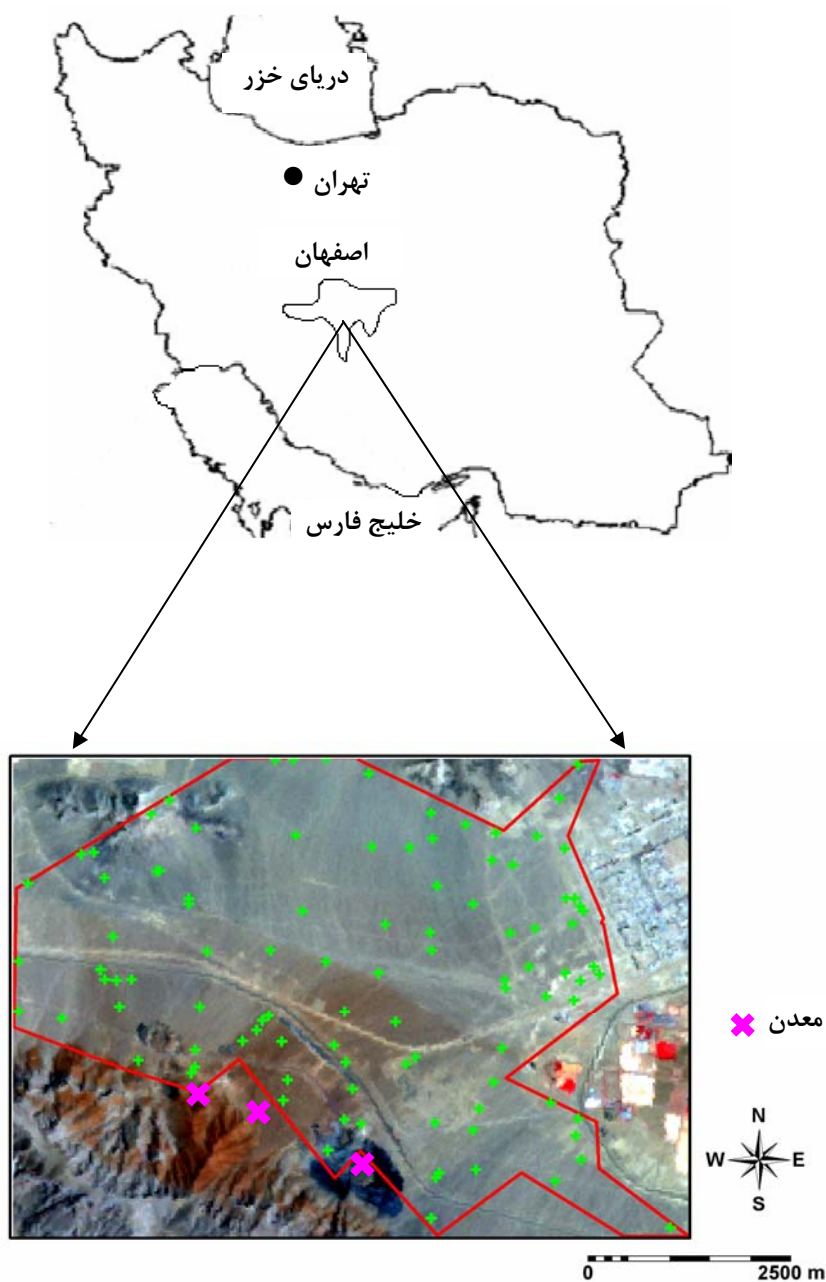
یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی منطقه عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط می‌باشد. بدین منظور استفاده از راهکار مناسب جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط توصیه می‌گردد. یکی از راهکارهای تجزیه و تحلیل‌های مکانی داده‌های ژئوشیمیایی محیطی، استفاده از روش‌های میانابایی برای مطالعه الگوی توزیع مکانی این داده‌ها و تهیه نقشه‌های مورد نظر می‌باشد. از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار بنام زمین‌آمار پا به عرصه علوم نهاد که امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آنها را فراهم آورد. به کمک زمین‌آمار علاوه بر توصیف و صورت‌بندی الگوی تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها می‌توان اقدام به تخمین و تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس نمود (۱۳). بقایی و همکاران (۱) نقشه‌های آلودگی سرب و نیکل قابل جذب را در اراضی اطراف دو کارخانه مجتمع فولاد مبارکه و ذوب آهن اصفهان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بدست آوردند. نتایج اولیه نشان داد که غلظت عنصر سرب در اطراف ذوب آهن و نیکل در اطراف زمین هر دو کارخانه نسبت به سایر نقاط بالاتر بوده است. این محققین ساختار مکانی متغیرها را به کمک تغییرنما مورد بررسی قرار دادند و برای کنترل اعتبار تغییرنماهای ترسیم شده از روش کریجینگ - جک نایف استفاده کردند. آنها گزارش نمودند که تخمین آلودگی، مخصوصاً برای نیکل با دقت خوبی صورت گرفته است. جیاچون و همکاران (۱۴) جهت تعیین پراکنش مکانی برخی از عناصر سنگین در منطقه زیجیانگ<sup>۱</sup> چین از تکنیک‌های زمین‌آمار استفاده کردند. آنها گزارش دادند که هر دو عنصر Cu و Pb دارای وابستگی مکانی زیادی هستند و علت آن را مرتبط با عوامل طبیعی از قبیل مواد مادری، توپوگرافی و تنوع خاک دانستند. همچنین عناصر As, Cr, Cd, Hg وابستگی مکانی متوسطی از خود نشان دادند. علاوه بر آن، آنها خاطر نشان کردند که دخالت‌های انسان در طبیعت در قالب کاربرد پساب‌های صنعتی، کودهای شیمیایی و دیگر اعمال مدیریتی، موجب افزایش وابستگی مکانی در یک فاصله زمانی کوتاه می‌شود. هوکر و ناتانیل (۱۲) نقشه آلودگی و نقشه خطر عنصر سرب را در اطراف شهر

2- Volverhampton

3- Hangzoung

4- Hong-kong

1- Zhejiang



(شکل ۱) - موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری

مدل پرخین المر<sup>۲</sup> تعیین شدند (۲۱). توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Statistica صورت گرفت (۲۲). تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده‌ها از طریق محاسبه نیم تغییرنما و با استفاده از بسته نرم افزاری Variowin, 2.2 (۱۹) انجام شد. تغییرنما یک تابع ریاضی است که تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر ناحیه‌ای را صورت بندی می‌کند (۴).

نمونه‌برداری به صورت تصادفی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری به کمک دستگاه GPS<sup>۱</sup> انجام گرفت. حداقل فاصله نمونه‌ها ۶۰ متر و حداکثر فاصله آنها ۸ کیلومتر بود. الگوی نمونه‌برداری و موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نمایش داده شده است. غلظت عناصر سنگین سرب، روی و کادمیم کل جمعاً به تعداد ۱۰۰ نمونه پس از انحلال در اسید نیتریک ۴ مولار به وسیله دستگاه جذب اتمی

2- Atomic Absorption – Perkin Elmer 3030

1- Global Positioning System

دیگر تخمین‌گرها متمایز می‌سازد ویژگی حداقل‌سازی واریانس خطا است. عمل کریجینگ توسط معادله (۳) انجام گرفت:

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

که در آن،  $\lambda_i$  وزن متغیر در نقاط اندازه‌گیری شده و  $Z(x_i)$  مقدار متغیر در نقاط اندازه‌گیری شده است. نقشه‌های کریجینگ و همچنین نقشه‌های خطای تخمین هر یک از خصوصیات مورد مطالعه با استفاده از سیستم محاسباتی کریجینگ معمولی<sup>۶</sup> و بسته نرم افزاری (Surfer, 7.02, 2000) تهیه شد (۱۰).

## نتایج و بحث

خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است. میانگین غلظت سرب، روی و کادمیم کل به ترتیب ۱۰/۱۸۷، ۲۵۰/۳۳ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. همانطور که قبلاً گفته شد مقدار متوسط سرب و روی گزارش داده شده در اکثر خاکها به ترتیب ۱۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۹ و ۱۵). بنابراین در این مطالعه مقدار متوسط سرب و روی در خاک بالاتر از مقادیر گزارش داده شده می‌باشد. با توجه به نتایج آماری جدول (۱) و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۷</sup> داده‌های سرب، روی و کادمیم کل انحراف اندکی از توزیع نرمال از خودشان نشان دادند و لذا کلیه پردازش‌های زمین‌آماري با استفاده از داده‌های اصلی انجام شدند. شین و همکاران (۲۰) در بررسی برخی از عناصر سنگین در خاک دریافتند که دقت تغییرنماهای بدست آمده و داده‌های حاصل از تخمین زمانی که از داده‌های تبدیل نیافته استفاده شد بسیار بالاتر از داده‌های تبدیل یافته بود.

در پدیده‌های آلودگی از نوع نقطه‌ای انتظار می‌رود با افزایش فاصله از منبع آلاینده نقطه‌ای، غلظت آلاینده کاهش یابد. مشاهده چنین رفتاری در مورد سرب، روی و کادمیم (شکل ۲) در منطقه مورد مطالعه صحت مطلب فوق را تأیید می‌کند. همانطور که شکل (۲) نشان می‌دهد غلظت سرب، روی و کادمیم در اطراف معادن (جنوب و جنوب غربی منطقه) حداکثر و هر چه به سمت شهر (شرق و جنوب شرقی منطقه) نزدیک می‌شویم، کاهش می‌یابد. از آنجا که به نظر می‌رسد فعالیت‌های استخراج از معادن باعث ورود فلزات سنگین به منطقه می‌شود و با توجه به نتایج جدول ۱ که میانگین غلظت‌های سرب و روی در منطقه بالای حد متوسط و بحرانی آن در خاک می‌باشد، لذا اطلاع از پراکنش مکانی این عناصر در منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین آماری، هر متغیر جهت تحلیل همسان‌گردی مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل همسان‌گردی با استفاده از تغییرنمای رویه<sup>۱</sup> انجام شد. برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آنها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس برای تمام موقعیت‌ها می‌توان، توان دوم این اختلاف را تحت عنوان نیم‌تغییرنما به صورت معادله (۱) محاسبه کرد:

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

که در آن،  $N(h)$  تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام  $(h)$ ،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه  $X_i$  و  $Z(x_i + h)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی  $X_{i+h}$  است (۴). یک تغییرنمای ایدال دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای<sup>۲</sup>، حد آستانه<sup>۳</sup> و دامنه موثر<sup>۴</sup> می‌باشد. اثر قطعه‌ای بیان‌کننده مؤلفه غیرساختاری (تصادفی) واریانس می‌باشد. حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارائه نموده و مقدار دامنه بیان‌گر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (۴). شدت و درجه‌ی وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) به دست آورد. گاهی اوقات این نسبت در عدد ۱۰۰ ضرب و به صورت درصد بیان می‌شود. اگر نسبت مزبور کمتر از ۲۵٪ باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵٪ باشد، آنگاه متغیر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط می‌باشد. اگر نسبت بیش از ۷۵٪ باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی ضعیفی خواهد بود (۶). در مطالعه حاضر، از مدل نظری کروی<sup>۵</sup> جهت برآزش واریوگرام‌های تجربی سرب، روی و کادمیم استفاده شد:

$$\gamma(h) = C_0 + \begin{cases} c \left( \frac{3h}{2a} + \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) & \text{for } h \leq a \\ c & \text{for } h > a \end{cases} \quad (2)$$

که در آن  $\gamma(h)$  مقدار تغییرنما،  $C_0$  اثر قطعه‌ای،  $c$  حد آستانه،  $h$  فاصله و  $a$  دامنه می‌باشد (۴). در مرحله‌ی بعد، پس از محاسبه و مدل‌سازی واریوگرام‌های تجربی، اقدام به پهنه‌بندی متغیرهای مورد نظر با استفاده از تخمینگر کریجینگ گردید. بطور کلی کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کلیه روش‌های آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه‌ای است. مهمترین ویژگی کریجینگ که آن را از

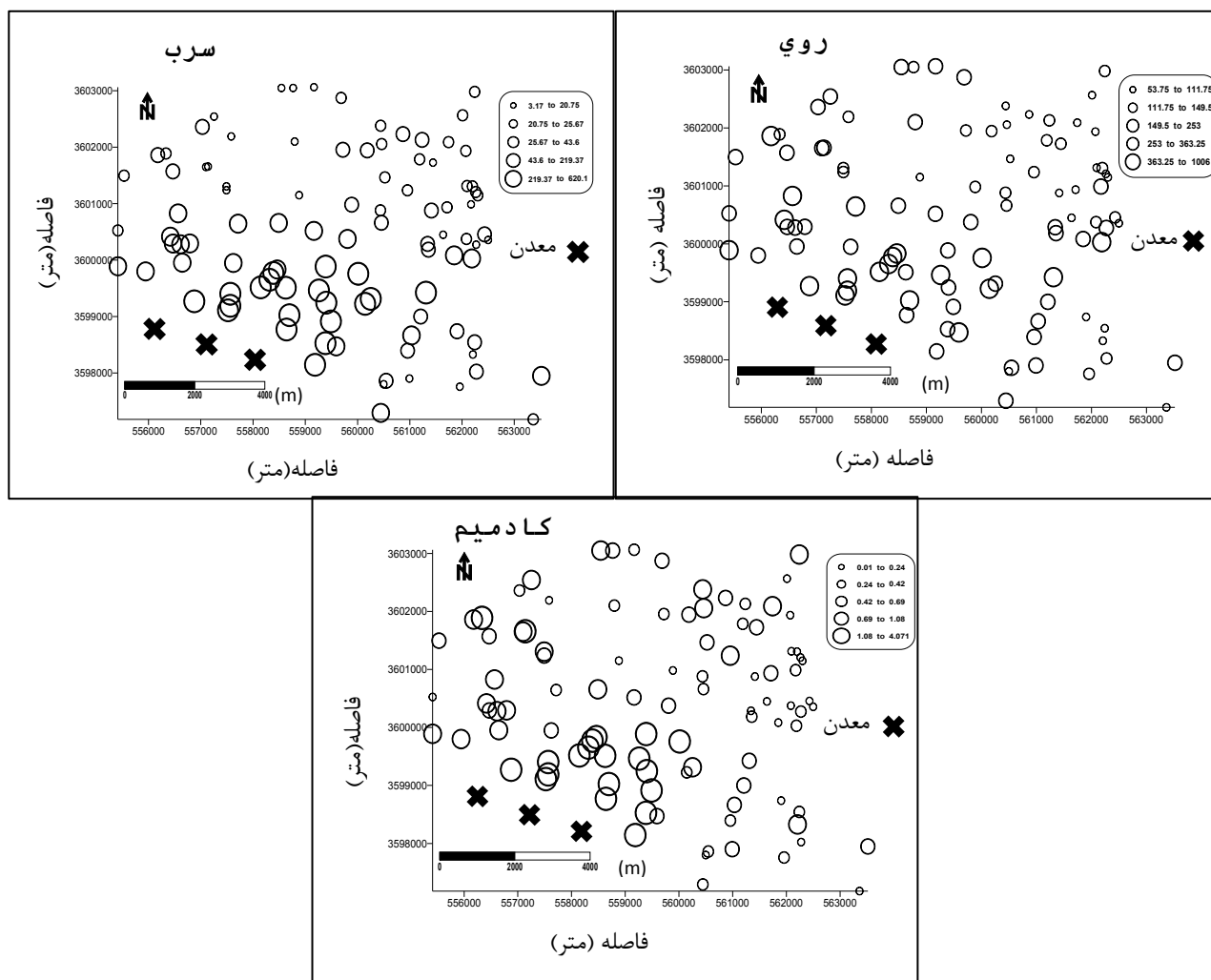
- 1- Surface variogram
- 2- Nugget effect
- 3- Sill
- 4- Range
- 5- Spherical model

6- Ordinary Kriging

7- Kolomogrov - Semirnov

جدول ۱- خلاصه آماری داده های مربوط به غلظت سرب، روی و کادمیم کل (برحسب پی پی ام) در منطقه مورد مطالعه

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	میان	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)
سرب کل	پی پی ام	۳/۱۷	۶۲۰	۱۰۱/۸۷	۹۷/۳۳	۱۴۳/۶۸	۷۳
روی کل	پی پی ام	۵۳/۷۵	۱۰۰۵	۲۵۰/۳۳	۱۹۴/۲۵	۱۸۲/۰۹	۷۲/۷۳
کادمیم کل	پی پی ام	۰/۰۱	۴/۰۷	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۸۴	۹۵



شکل ۲- نمایش نقطه ای سرب، روی و کادمیم کل در منطقه مورد مطالعه (بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم)

### تجزیه و تحلیل ساختار مکانی

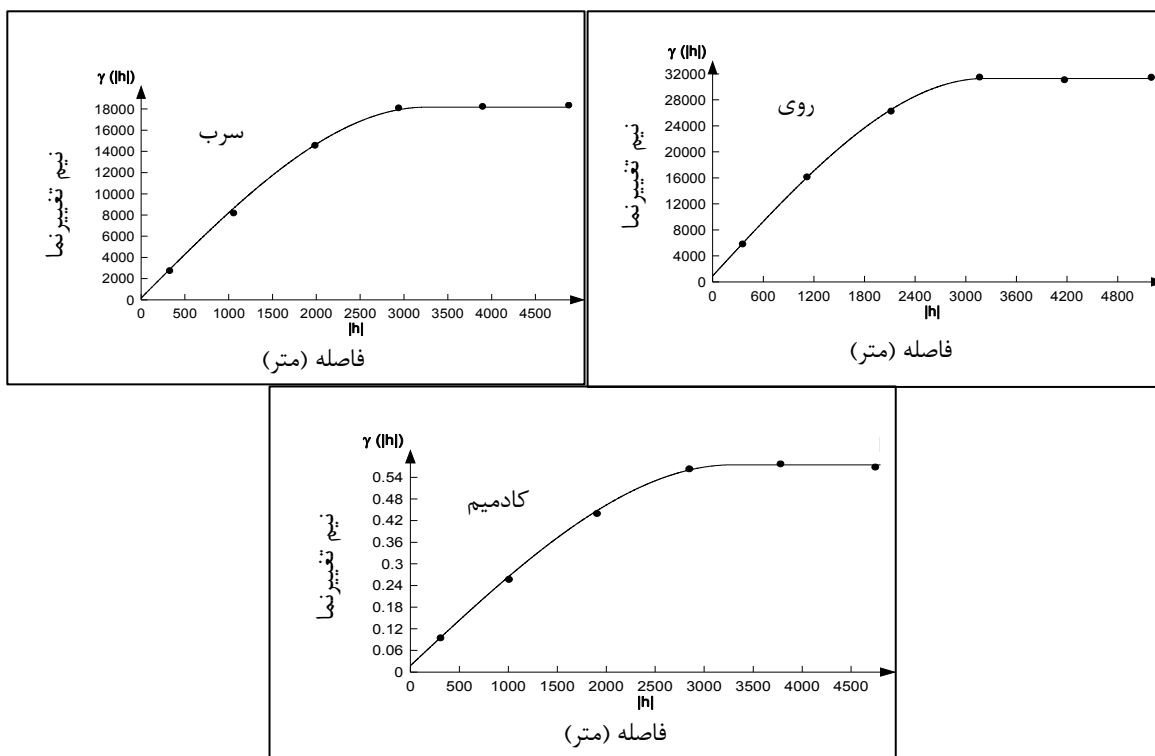
نتایج تغییرنماهای رویه ای نشان داد که روند ناهمسانگردی خاصی در متغیرها وجود ندارد. تغییرنماهای متغیرهای مورد مطالعه در شکل ۳ و پارامترهای آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است ساختار کروی به عنوان بهترین مدل برازش داده شده برای داده ها می باشد. هر سه عنصر تا فاصله ای حدود ۳/۳ کیلومتری ساختار وابسته به مکان را نشان می دهند. طبق

نظر جیاچون و همکاران (۱۴) این امر می تواند ناشی از یکسان بودن منشأ این عناصر در منطقه مورد مطالعه باشد. امینی و همکاران (۶) در بررسی آلودگی سرب و کادمیم در غرب اصفهان، مدل کروی را بر تغییرنمای این عناصر برازش دادند. مک گراس و همکاران (۱۵) در طی یک مطالعه ای در خاک های اطراف معادن نقره در ایرلند بر تغییرنمای غلظت سرب مدل کروی را برازش دادند که دامنه ای معادل ۳/۴ کیلومتر داشت. جیاچون و همکاران (۱۴) در طی یک مطالعه ای

**پهنه‌بندی غلظت عناصر سرب، روی و کادمیم**

از تخمین‌گر کریجینگ معمولی بر اساس تغییرنماهای همسانگرد برای تخمین مقادیر هر یک از عناصر سنگین مورد مطالعه در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده گردید. پارامترهای کریجینگ بر اساس نتایج حاصل از اعتبارسنجی دو طرفه بهینه‌سازی شدند. برای سرب، روی و کادمیم حداقل ۱ و حداکثر به ترتیب ۷، ۱۱ و ۸ داده همراه با محدوده‌ی جستجوی دایره‌ای برای حل سیستم کریجینگ معمولی استفاده شد. نقشه‌های تخمین و خطای تخمین سرب، روی و کادمیم در شکل (۴) نشان داده شده است.

در چین بر تغییرنماهای سرب و کادمیم مورد مطالعه به ترتیب مدل‌های نظری کرووی و خطی را برازش دادند و دامنه وابستگی مکانی را برای هر دو عنصر به ترتیب ۳۷ و ۸۲ کیلومتر گزارش دادند. چن و همکاران (۸) در طی یک مطالعه‌ای در چین بر تغییرنمای تجربی عنصر روی مدل کرووی را برازش دادند. تغییرنماهای برازش داده شده در این مطالعه کلاس وابستگی مکانی قوی را برای همه متغیرها نشان دادند. امینی و همکاران (۶) کلاس وابستگی مکانی متوسط را برای سرب و کادمیم بدست آوردند. این امر می‌تواند نشان دهنده غلبه بیشتر واریانس بخش ساختاری تغییرنما بر واریانس بخش تصادفی آن در مورد همه متغیرها در تحقیق حاضر باشد که خود می‌تواند دلیلی بر مناسب بودن الگوی نمونه‌برداری، فواصل کوچک‌تر نمونه‌برداری و دقت نسبتاً مناسب تجزیه‌های آزمایشگاهی باشد.

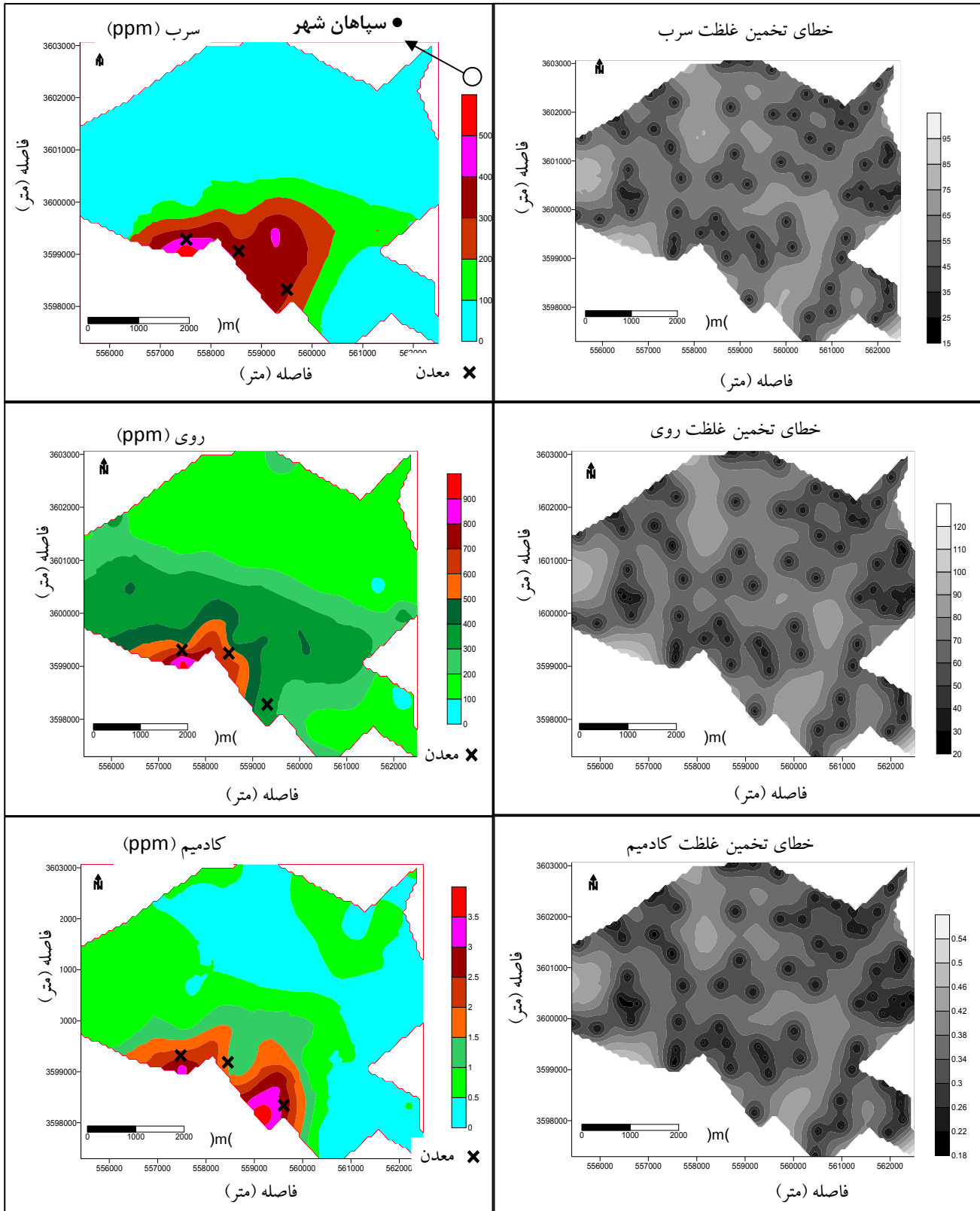


(شکل ۳) - تغییرنمای همه جهت‌های غلظت‌های سرب، روی و کادمیم در منطقه مورد مطالعه

**(جدول ۲) - پارامترهای تغییرنمای عناصر سنگین مورد مطالعه (سرب، روی و کادمیم)، با مدل کرووی**

متغیر	واحد متغیر	دامنه (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی*	کلاس وابستگی مکانی
سرب	پی پی ام	۳۳۸۸	۱۸۰	۱۸۰۰۰	۱	قوی
روی	پی پی ام	۳۳۵۰	۹۳۰	۳۰۳۸۰	۳	قوی
کادمیم	پی پی ام	۳۳۲۸	۰/۰۱۸	۰/۵۵۷	۳/۲	قوی

\* - نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس حد آستانه (C<sub>0</sub> / Sill)



(شکل ۴) - نقشه های کریجینگ و خطای کریجینگ غلظتهای سرب، روی و کادمیم در منطقه مورد مطالعه

آینده نزدیک اجتناب ناپذیر است. در شکل ۴ نقشه‌های واریانس تخمین کریجینگ در مورد غلظت‌های سرب، روی و کادمیم نشان داده شده است، در حاشیه منطقه و فواصل بین نمونه‌ها بیشترین واریانس تخمین وجود دارد که به دلیل کمتر بودن نقاط نمونه‌برداری و بیشتر بودن فاصله بین نمونه‌ها در این محل‌ها است.

### نتیجه‌گیری

مطالعه عناصر سنگین در منطقه نشان داد که این عناصر دارای وابستگی مکانی قوی هستند و دامنه این وابستگی برای هر سه عنصر تقریباً ۳/۳ کیلومتر می‌باشد که این امر می‌تواند ناشی از یکسان بودن منشأ این عناصر در منطقه مورد مطالعه باشد. تجزیه و تحلیل ساختارهای مکانی عناصر مورد مطالعه نشان داد که واریانس مؤلفه ساختاری بر واریانس مؤلفه تصادفی غلبه دارد که این مسئله نشان دهنده مناسب بودن الگوی نمونه‌برداری در منطقه می‌باشد. تغییرنماهای تجربی متغیرهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل کروی مدل سازی شدند. نقشه‌های واریانس تخمین کریجینگ در مورد عناصر مورد مطالعه نشان داد که در حاشیه منطقه و فواصل بین نمونه‌ها بیشترین واریانس تخمین وجود دارد. اطلاعات مربوط به غلظت بالای فلزات سنگین به خصوص در مورد سرب و روی حاکی از افزایش این عناصر در اراضی اطراف سپاهان شهر است. لذا پیشنهاد می‌شود با نظرات سازمان‌های مربوطه از قبیل سازمان حفاظت محیط زیست، فعالیت‌های اکتشاف و استخراج معادن با رعایت استانداردهای مربوطه انجام گرفته تا از افزایش آلودگی بیشتر جلوگیری شود و همچنین جلوی پیشروی شهر به سمت جنوب و جنوب غربی منطقه یعنی به سمت معادن گرفته شود. همچنین از کاشت سبزیجاتی نظیر کاهو و محصولات میوه‌ای پتانسیل تجمع فلزات سنگین هستند، در منطقه جدأ خودداری شود.

همانطور که نقشه‌ها نشان می‌دهند، حداکثر مقادیر سرب در اطراف معادن می‌باشد و با افزایش فاصله از معادن غلظت آن کاهش می‌یابد. در مناطق نزدیک شهر (شرق و شمال شرق منطقه) کلاس‌های ۰ تا ۱۰۰ پی پی ام و ۱۰۰ تا ۲۰۰ پی پی ام مشاهده می‌شود که غلظت سرب در آنها بالای مقادیر متوسط و بحرانی آن در خاک می‌باشد که این امر از لحاظ سلامتی برای انسان خطرناک می‌اشد. ضمناً باید توجه شود که کلاس‌های سوم و چهارم هم از نظر مکانی فاصله چندانی با شهر ندارند. این نقشه هماهنگی خوبی را با پراکنش نقطه‌ای سرب کل در خاک دارد (شکل ۲). در مورد روی نیز همانطور که نقشه‌ی مربوطه (شکل ۴) نشان می‌دهد، حداکثر مقادیر در اطراف معادن مشاهده و با افزایش فاصله غلظت آن کاهش می‌یابد. در این مورد نکته‌ای که حائز اهمیت است وضعیت قرار گرفتن کلاس‌های آلودگی روی در اطراف شهر می‌باشد، همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد بیشتر اراضی منطقه در کلاس ۷۰ تا ۲۰۰ پی پی ام قرار گرفته‌اند و این کلاس تا نزدیکی شهر توسعه یافته است. ضمن اینکه کلاس سوم با غلظت ۲۰۰ تا ۳۵۰ پی پی ام نیز در اطراف شهر مشاهده می‌شود. لذا با توجه به مقادیر متوسط و بحرانی روی در خاک آلودگی خاک‌های منطقه مسجل می‌باشد. نقشه پهنه-بندی روی (شکل ۴) هماهنگی خوبی را با پراکنش نقطه‌ای روی کل در خاک دارد (شکل ۲). شکل ۴ روند آلودگی کادمیم را در منطقه نشان می‌دهد. در این نقشه غلظت کادمیم خاک‌های اطراف معادن حداکثر و با افزایش فاصله از معدن میزان آلودگی کاهش می‌یابد. نقشه پراکنش کادمیم (شکل ۴) نشان می‌دهد که غالب خاک‌های منطقه (در اطراف شهر و سایر نقاط) در محدوده‌ی ۰ تا ۰/۵ پی پی ام و ۰/۵ تا ۱ پی پی ام قرار گرفته‌اند. لذا با توجه به حدود متوسط و بحرانی کادمیم در خاک خطر آلودگی خاک‌های منطقه در حال حاضر جدی نیست. با توجه به پیشروی شهر به سمت غرب و جنوب غربی منطقه و افزایش فعالیت‌های معدنی وجود خطر سمیت کادمیم در

### منابع

- ۱- بقایا ا.، خادمی ح. و محمدی ج. ۱۳۸۵. تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره دوم.
- ۲- دبیری م. ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست؛ هوا، آب، خاک. تهران، نشر اتحاد.
- ۳- صاحب‌قدم لطفی ع. ۱۳۶۷. متابولیسم سرب و مسمومیت‌های ناشی از آن. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۴- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری ۲ (آمار مکانی). انتشارات پلک، ۴۵۳ صفحه.
- ۵- وهاب زاده ع. ۱۳۷۲. مبانی محیط زیست. چاپ اول، جهاد دانشگاهی مشهد.
- 6- Amini M., Afyuni M., Khademi H., Abbaspour K.C., and Schulin R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. *Science of the Total Environment*. 347: 64-77,
- 7- Bolan N.S., Adriano B.C., and Mani P.A. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. II. Effect of lime addition. *Plant and Soil*. 251: 187-198,
- 8- Chen T., Xingmei L., and Muzhi Z. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in



- vegetable soil of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*. 151: 67-76
- 9- Gilmor, J. T. and Kittrick J. A., Solubility and equilibria of zinc in a flooded soil. *Soil Science Society of America journal*. Am. J. 43: 890-892, 1979.
- 10-Golden Software Inc., Surface Mapping System, Surfer 7.02, Colorado, 2000. Gonzalez, A., Taboada, M. T., Vieira, S. R., Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. *Soil Science*. J. 81: 469-479, 2001.
- 11-Hooker P.J., and Nathanail C.P. 2006. Risk-based characterisation of lead in urban soils. *Chem Geol*. 226:340-351.
- 12-Issak E.H. and Srivastava R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, pp. 540-565.
- 13-Jiachun S., Hazian W., Jianming X., Jinjun W., Xingmei L., Haiping Z., and Shunlan J. 2006. Spatial distribution of heavy metals in soil: A case study of Changning, China. *Environmental Geology*, 10:245-264.
- 14-McGrath, D., Chaosheng, B, and Carton, O. 2004. Geostatistical analysis and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environmental Pollution*, 127:239-248.
- 15-Mohammadi J. 1997. Geostatistical mapping of environmental soil hazards. Ph.D. Thesis, Gent University, Belgium. pp. 196
- 16-Oliver D.P., Hannam R., Tiller K.G., Wilhelm N.S., and Merry R.H. 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration of wheat grain. *Journal of Environmental Quality*, 23: 705-711.
- 17-Rodriguez J.A., Nanos N., Grav J.M., and Gil L. 2008. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere*, 70:1085-1096.
- 18-Pannatier Y. 1996. VARIOWIN: Software for spatial data analysis in 2D. *Statistics and computing series*, Springer-Verlag, Berlin.
- 19-Shin N.J., Cailles J., and Peneffen M. 2000. Determination of spatial continuity of soil lead levels in an urban residential neighborhood. *Environmental Research*, 82:46- 52.
- 20-Sposito G., Lund L.J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in air-zone field soils amended sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, Pb in solid phases. *Soil Science Society of America journal*. Soc. Am. J., 46:260-264.
- 21-StatSoft, Inc. STATISTICA, (data analysis software system), Version 6.0, 2001.
- 22-Xiangdong L., Siu L., Ewanzhong S. 2004. The study of heavy metal contamination in urban soil of Hong Kong using a GIS-base approach. *Environmental Pollution*, 129:113-124.
- 23-XingMei L., Jianjun W.V., and Jiangming X.U. 2006. Characterizing the risk assessment of heavy metal and sampling uncertainty analysis in paddy fields by geostatistics and GIS. *Environmental Pollution*. 41: 279-289.
- 24- Zimdahi R.L., and Skogerbo R.K. 1997. Behavior of lead in soil. *Journal of Environmental Science and Technology*. Sci Technol, 11:1202-1207.

## Geostatistical Analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan)

M. Dayani<sup>1</sup> - J. Mohammadi<sup>2\*</sup> - M. Naderi<sup>3</sup>

### Abstract

Generally heavy metals exist in all soils, but soil pollution is rising by time due to human activities. Soils in the proximity of mines are more prone to pollution of heavy metals due to mine exploring and excavation. This research was carried out to evaluate the soil pollution of Sepahanshahr Suburb with Pb, Zn and Cd. During a field work campaign 100 soil samples were selected randomly from 9000 ha area. The soil samples were treated with 4 M HNO<sub>3</sub>. Total amounts of Pb, Zn and Cd were measured using Atomic Absorption Spectrometer. The results indicated that concentration of Pb and Zn were beyond the defined soil pollution thresholds (<50 ppm and 125-150 ppm for Pb and Zn, respectively) but of Cd was below the threshold (1.5-2.5 ppm). Therefore, physical development of the town towards the three studied mining sites, agricultural and mining activities should be seriously taken into account based up on environmental regulation and standards. Analysis of variograms showed that structural component of spatial dependency dominates randomized component and the range spatial dependency was 3.3 km for all three elements. Spatial distributions of Pb, Zn and Cd were mapped using ordinary kriging. The kriging estimation variances for all three elements were calculated and delineated; the delineations indicated that variances were arised in the margins of the study area and in between the samples where, the density of sampling decreased.

**Key words:** Soil pollution, Heavy metals, Geostatistics, Kriging, Mapping

---

1,2,3- M.Sc. Student, Assoc. Prof. and Assist. Prof. of Soil Science, Respectively, College of Agric., Shahrekord University, Iran  
(\*- Corresponding author Email: drj\_mohammadi@yahoo.com)