مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره دهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۴

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

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات مکانی پراکنش سرب و کادمیوم با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و GIS (مطالعه موردی: اراضی اطراف مجتمع فولاد مبارکه)

شقایق خالدان[۱]، لعبت تقوی[۱،*]، پروانه پیکان پورفرد[۲،۳]

۱- گروه آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات محیط زیست انسانی و توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران
۳- گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی هسته‌ای و علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۰۳
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۳۱
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۶/۲۹

واژگان کلیدی: آلودگی، تهدید، سرب، کادمیوم، مجتمع‌های صنعتی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
Taghavi_lobat@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش روزافزون نیازهای بشری منجر به گسترش روزبه‌روز صنایع شده و مدیریت نادرست بخش‌های صنعتی منجر به آلودگی هر چه بیشتر اراضی و در نتیجه آسیب‌های جبران‌ناپذیر به طبیعت و موجودات زنده می‌گردد. لذا بررسی نقش مراکز صنعتی در آلودگی خاک یکی از مهم‌ترین اقدامات در زمینه کنترل آلودگی‌ها است.

روش بررسی: مجتمع صنعتی فولاد مبارکه نیز از این امر مستثنا نبوده، بدین منظور اراضی اطراف مجتمع فولاد مبارکه اصفهان انتخاب و در یک شبکه منظم ۲ km در یک بافر ۱۰ km اقدام به نمونه‌برداری از خاک سطحی گردید. تعداد ۴۹ نمونه از نقاط مختلف برداشت شد. پارامترهای خاک از جمله بافت، اسیدیته و شوری اندازه‌گیری شد و همچنین میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: آنالیز داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری نشان داد که داده‌ها نرمال هستند و با توجه به میزان RMS (Root mean square) کمتر مدل کروی مدلی مناسب برای بررسی تغییرات مکانی سرب و کادمیوم است. بیشترین و کمترین میزان غلظت سرب به ترتیب ۵۰/۸۸ mg/kg و ۲۶/۷۱ mg/kg و برای کادمیوم نیز ۶ mg/kg و ۱/۲۶ mg/kg بوده است. نتایج همچنین گویای آن است که بین غلظت عناصر مذکور و ویژگی‌های خاک ارتباط معنی‌داری وجود ندارد ($p>0/05$)؛ اما بین غلظت دو عنصر با یکدیگر ارتباط معنی‌داری دیده شد ($p<0/001$) همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده آن است که جهت باد غالب نقش مهمی در پراکنش سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه داشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده نقش مجتمع صنعتی در آلودگی محیط را نشان می‌دهد. چرا که کانون اصلی سرب در شرق و جنوب غربی کارخانه فولاد مبارکه و برای کادمیوم نیز در شرق و غرب کارخانه بوده است. لذا انجام اقدامات مدیریتی و پایش دقیق‌تر جهت حفاظت از محیط‌زیست در صنعت مذکور الزامی است.

Please cite this article as: Khaledan Sh, Taghavi L, Paykanpour Fard P. Investigation of spatial distribution of lead and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex). Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(2):151-64.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

مقدمه

افزایش جمعیت، گسترش صنعت و مدیریت نادرست منابع در سال‌های اخیر، سبب افزایش آلودگی‌های زیست‌بوم شده است. از عمده‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌توان به فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی اشاره کرد که آن‌ها را نمی‌توان به راحتی از بین برد (۱). آلودگی خاک به فلزات سنگین مشکلی جهانی و تهدیدی جدی برای انسان، اکوسیستم‌های طبیعی، منابع آبی و تاسیسات است (۲) و تهدید عمده‌ای برای سلامتی بشر و محیط‌زیست در حال و آینده بشمار می‌رود. این آلودگی‌ها حاصل عملیات روزافزون کشاورزی، شهرسازی و پروژه‌های صنعتی است (۳). حضور فلزات سنگین در بدن انسان می‌تواند موجب بروز مشکلات عدیده‌ای گردد. حضور فلزات به میزان کم در بدن موجب حفظ سلول‌ها شده (آهن، روی، مس، ید، کروم، فسفر و ...) وجود میزان بیش از حد این فلزات است که موجب آسیب دیدن ارگان‌های گیاهی و جانوری می‌شود (۲).

فلزات سنگین دو منبع اصلی دارند: منابع طبیعی و انسانی. منبع طبیعی از طریق فرسایش سنگ مادری و ورود این فلزات به خاک است. مهم‌ترین منابع انسانی تولیدکننده فلزات سنگین عبارت‌اند از صنایع فولادی، معدن‌کاوی، حمل و نقل جاده‌ای، سوزاندن پسماندها و استفاده از کودها و سموم کشاورزی (۴). یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی خاک مراکز صنعتی از جمله تاسیسات تولید فولاد هستند. در خصوص آلوده شدن منابع خاک از طریق صنعت فولاد، بیشترین خطر آلودگی در محصولات کشاورزی مربوط به خروج عناصر سنگین به صورت گردوغبار یا به همراه پساب از واحدهای مختلف تولید و ورود این عناصر به منابع خاک منطقه است که آلوده شدن احتمالی لایه‌های سطحی خاک را به همراه دارد (۵). منابع اصلی ورود انسان زاد فلزات سنگین به جو بیشتر شامل کارخانه‌های ذوب و تصفیه فلزات، کوره‌های احتراق زغال‌سنگ و زباله‌ها است که منجر به آلودگی منابع خاک و آب در منطقه تاثیرپذیر از این کارخانه‌ها می‌گردد (۶). از این جهت شناسایی تاثیر مراکز صنعتی چون مجتمع‌های فولادی بر آلودگی خاک بسیار حائز اهمیت است.

نمونه‌برداری از خاک اطراف مناطق صنعتی جهت تعیین میزان غلظت فلزات سنگین یکی از روش‌های تعیین اثر این مراکز بر آلودگی خاک است؛ اما اینکه تا چه اندازه بتوان از خاک نمونه‌برداری انجام داد بستگی به هزینه و دوره مطالعاتی دارد که در این زمینه یکی از مشکلات مهم در ارزیابی وضعیت آلودگی مناطق اطراف مراکز صنعتی عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط به دلیل هزینه بسیار بالا است (۷). بدین منظور استفاده از روش‌هایی که بتوان با دقت مناسبی میزان آلودگی نقاط را بررسی کرد راهکار مناسبی است. در واقع توسعه تکنیک‌های درون‌یابی این مشکل را تا حد زیادی مرتفع نموده است یکی از این روش‌ها استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی آلودگی قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی نیز است (۸). در خلال دو دهه اخیر استفاده از روش‌های زمین‌آماری به‌منظور بررسی تغییرات مکانی آلودگی خاک بسیار گسترش یافته است. این روش‌ها تبیین و صورت‌بندی کمی الگوی مکانی آلاینده‌ها را تسهیل بخشیده و محققان را قادر ساخته تا اقدام به درون‌یابی مکانی و پهنه‌بندی غلظت آلاینده‌های مختلف نمایند (۹). علم زمین‌آمار یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس است (۷). زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت موردنظر در مکانی که نمونه‌برداری نشده، با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری شده است. زمین آمار در بیان کمی تغییرات مکانی و زمانی متغیرها یک ابزار قدرتمند به حساب می‌آید. کاربردهای رایج آن در علوم محیطی چون هیدروژئولوژی و آلودگی هوا، آب و خاک به خوبی نمود پیدا کرده است. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان مقادیر عظیمی از داده‌ها را با سرعت زیاد و هزینه بسیار کم، نگهداری و بازیابی نمود. همچنین استفاده از GIS، امکان تحلیل‌های زمین آماری را برای کاربر فراهم می‌کند. محققین زیادی در این زمینه تاکنون مطالعاتی را انجام داده‌اند که می‌توان مواردی را نام برد. از این جمله می‌توان Khodakarami و

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

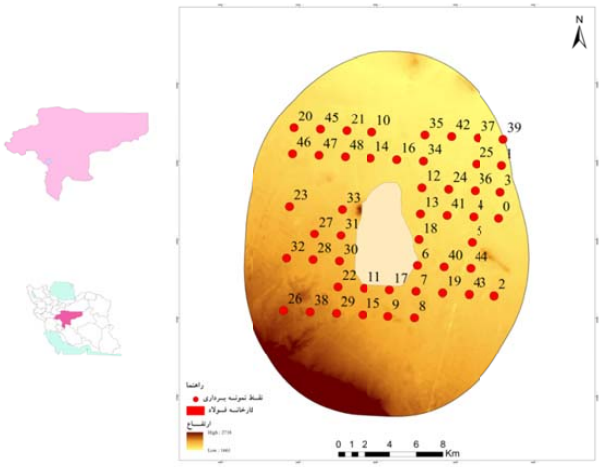
همکاران(۴) در استان همدان، Tavakoli و همکاران (۱۰) در استان زنجان، Khosheghbal و همکاران (۱۱) در انزلی، Rahimpour و همکار (۱۲) در استان اردبیل، Lee و همکاران (۱۳) در کشور چین _هنگ کنگ، Jiachun و همکاران (۱۴) در چین و Dragovic و همکاران (۱۵) در صربستان را نام برد. این محققین مدل‌های مختلفی را برای پیش‌بینی غلظت فلزات سنگین ارائه کرده‌اند که مدل کروی و نمایی از آن جمله است. در ارتباط با همبستگی بین فلزات سنگین نیز Facchinelli و همکاران (۱۶) در ایتالیا پی بردند که مقدار کروم، نیکل و کبالت در خاک با یکدیگر ارتباط دارند و از یک منشا (سنگ مادر) تاثیر می‌پذیرند، درحالی‌که مس و سرب بیشتر در اثر فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شوند. Reza و همکاران (۱۷) هم آلودگی فلزات سنگین در اطراف معادن زغال‌سنگ در هندوستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مناطق اطراف معادن، آلودگی بسیار بالایی دارند. همچنین نتایج نشان داد بین سرب و کادمیوم همبستگی بالایی وجود دارد و دلیل این ارتباط منشا یکسان برای هر دو فلز است.

بنابراین با توجه به خطرات جدی آلودگی دو فلز سنگین سرب و کادمیوم بر روی سلامتی انسان و وجود اراضی کشاورزی در اطراف مجتمع فولاد مبارکه که ارتباط مستقیم با مصرف‌کنندگان محصولات این اراضی دارد باید میزان آلودگی این فلزات در خاک اطراف مجتمع مورد بررسی قرار گیرد و کانون‌های بحرانی آن شناسایی گردد. از طرف دیگر به دلیل عدم امکان نمونه‌برداری از اراضی با وسعت زیاد به دلیل هزینه‌های بسیار زیاد نمونه‌برداری و آنالیزهای شیمیایی می‌توان از روش‌های میان‌یابی با هزینه کمتر و دقت بالا استفاده کرد. در نتیجه ضرورت این تحقیق از جنبه خطرات جدی فلزات سنگین سرب و کادمیوم برای انسان و نیز یافتن روشی کم هزینه‌تر که نتایج با دقت مناسب ارائه کند مطرح می‌گردد. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات پراکنش دو فلز سنگین سرب و کادمیوم در منطقه اطراف مجتمع فولاد مبارکه اصفهان با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آماری جهت یافتن کانون‌های بحرانی آنها و نیز بررسی تاثیر باد غالب در پراکنش عناصر آلاینده شکل گرفته است. در این مطالعه روش‌های مختلف میان‌یابی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا بهترین روش برای پیش‌بینی پراکنش سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردد. همچنین ارتباط بین غلظت فلزات سنگین مذکور با برخی پارامترهای خاک بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای به شعاع ۱۰ km پیرامون مجتمع فولاد مبارکه با توجه به جهت باد غالب (گلباد منطقه) تعیین شد (اداره هواشناسی اصفهان). این کارخانه در جنوب غربی شهرستان مبارکه در استان اصفهان واقع شده است. محل قرارگیری آن در ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی است. این مجتمع در ۷۵ km جنوب‌غربی شهر اصفهان، در زمینی به وسعت $35\,km^2$ استقرار یافته است. میانگین دمای این منطقه $12\,^0C$ است و بادهایی که از سمت جنوب غربی می‌وزد باعث ایجاد تعادل در هوای آن منطقه می‌گردد. زمستان‌ها سرد و مرطوب و تابستان‌ها گرم و خشک است. متوسط ۳۰ ساله بارندگی حدود ۳۰۰ mm بوده است. متوسط ارتفاع منطقه ۳۰۰ m از سطح دریا است (اداره هواشناسی اصفهان) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه، محدوده مطالعه و شبکه نقاط نمونه‌برداری

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

نمونه‌برداری و تعداد نمونه

بـرای تعیین مقدار نمونـه لازم با اسـتفاده از منابع (۱۳، ۱۵) از یـک طرح سیسـتماتیک تصادفی به صورت شـبکه‌های ۲ در ۲ کیلومتـری اسـتفاده گردید. در ایـن روش منطقه به ۵۶ سـلول ۴ کیلومترمربعی تقسـیم گردید. نمونه‌برداری در محل تلاقی سـلول‌های شـبکه طراحی شده انجام شـد (شکل ۱). نمونه‌بـرداری به صـورت مرکب و از اختـلاط ۴ نمونه خاک سطحی در عمق cm ۱۵– ۰ که در راس‌های سه‌گانه یک مثلث متسـاوی‌الاضلاع با طول هر ضلـع برابر با m ۳۰ و یک نمونه مرکزی انجام گرفت (۹). شـایان ذکر اسـت که موقعیت نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS ثبت و وارد GIS شد. به‌طورکلی به دلیل محدودیت در بعضی نقاط مسـکونی و عدم امکان نمونه‌برداری تعداد ۴۹ نمونه برداشت گردید.

آزمایشات خاک و فلزات سنگین

بافت خاک بـه روش هیدرومتری تعییـن و پارامترهای میزان EC و pH نیز از عصاره اشباع تهیه شده برای نمونه‌ها قرائت شد. برای تعیین میزان و غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم نیز از دسـتگاه جذب اتمی شعله استفاده شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها مقدار g ۲ از هر نمونه با اسـید نیتریک M ۴ مخلوط شـده و عصاره تهیه شـده با اسـتفاده از دسـتگاه جذب اتمی (Perkin Elmer AAnalyst 800) قرائت شد (۵).

مقدار lod و loq دسـتگاه به ترتیب ppm ۰/۳ و ۱ شـد که به ترتیب با اسـتفاده از معادلات ۱ و ۲ به‌دست آمد. s انحراف معیار شاهد و B شیب خط منحنی کالیبراسیون است (۱).

$$LOD = \frac{۳S}{B} \qquad (۱)$$

$$LOQ=۳\times LOD \qquad (۲)$$

روش آنالیز آماری و زمین‌آماری

به‌منظور آنالیز داده‌های قرائت شـده ابتدا داده‌هـا وارد نرم‌افزار SPSS شده و نرمال بودن آنها با استفاده از روش آماری شاپیرو – ویـک Shapiro–Wilk مورد بررسـی قـرار گرفت. برای تشریح مقدار میانگین (mean)، چولگی (Skewness)، مقدار بیشـینه (Max)، مقدار کمینه (Min)، واریانس (Variance) و انحراف معیـار (Standard Deviation) از آنالیز توصیفی (Descriptive Analysis) اسـتفاده شـد. در صورت نرمال بـودن داده‌هـا با موقعیـت جغرافیایـی مربوطـه وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و با استفاده از توابع زمین‌آماری نرم‌افزار مربوطه آنالیز روند گردید تا نوع روش کریجینگ (Kriging) مشخص شـود. سپس انواع مدل‌های مختلف شامل کروی، مدور، نمایی، گوسی و خطی بر داده‌ها برازش داده شد.

روش کریجینـگ: کریجینـگ یک روش تخمین اسـت که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و بهترین تخمین‌گر خطـی نااریـب (Best Linear Unbiased Estimator) اسـت. درصورتی‌که $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شـده متغیر در مـکان x_i، Z_0 مقدار تخمین زده شـده متغیـر در نقطه X_0 از ترکیب خطی (معادله ۳) است:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۳)$$

که در آن:

λ: وزن داده شـده بـه متغیر x در نقطـه i، n: تعداد نقاطی که متغیر در آنها اندازه‌گیری شـده اسـت. این نـوع کریجینگ را کریجینـگ خطی می‌نامند. زیرا ترکیب خطی از n داده اسـت. شرط استفاده از این تخمین‌گر نرمال بودن متغیر است.

بـرای اعتبار سـنجی مدل‌هـا از روش Cross-Validation کـه در GIS ارائـه می‌شـود اسـتفاده شـده اسـت. در این روش دو آمـاره RMS (Root mean square) و RMSS (Root mean square standardized) برای ارزیابی مدل‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. هر چه RMS کمتر و RMSS به ۱ نزدیک‌تر باشد مدل از کارایی بیشتری برخوردار است. برخی از محققان RMS را به‌عنوان پارامتر مهمی جهت نشـان دادن دقت تحلیل مکانـی در GIS و RS می‌دانند. در این روش در هر مرحله یک نقطه مشـاهده‌ای حذف شده و با

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌گردد. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌گردد و در پایان به ازای هر نقطه مشاهده‌ای یک نقطه برآورد وجود خواهد داشت.

به‌منظور بررسی همبستگی بین عناصر مورد مطالعه و برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک در این مطالعه از آزمون همبستگی پیرسون Pearson و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها نیز از آزمون Shapiro–Wilk در محیط نرم‌افزار SPSS 17 استفاده گردید.

یافته‌ها

باد غالب

گلباد ایستگاه هواشناسی مبارکه اصفهان در دوره آماری ۳۰ ساله و در کل ساعات دیده‌بانی شده، نشان می‌دهد، باد غالب اول جنوب غربی با ۱۴/۵ درصد کل بادها و باد نائب غالب شمال شرقی با ۱۱ درصد کل بادها که بیشتر مربوط به وزش باد در طول شب است.

آمار توصیفی

بررسی داده‌های سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشترین مقدار سرب در منطقه mg/kg ۵۰/۶۶ و کمترین مقدار آن mg/kg ۲۶/۷۱ بوده است. همچنین برای کادمیوم بیشترین مقدار آن mg/kg ۶/۰۶ و کمترین مقدار mg/kg ۱/۲۶ بود. میزان واریانس داده‌های سرب ۳۶/۰۲ و انحراف معیار آن ۶ بود. این آماره‌ها برای کادمیوم به ترتیب ۰/۳۱۵ و ۰/۵۶۱ بوده‌اند. چولگی سرب ۰/۲۸۳ و کادمیوم ۰/۲۳۷ بود. نتایج کل نقاط نمونه‌برداری نشان می‌دهد بیشترین مقدار سرب در نقطه ۴۴ و کمترین آن در نقطه شماره ۱۴ وجود دارد. نتایج کادمیوم نیز نشان می‌دهد بیشترین و کمترین این عنصر به ترتیب در نقاط ۲۴ و ۱۴ وجود داشته است (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج میزان آلودگی، بافت و موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری

شماره نمونه بر روی نقشه	x	y	Pb	Cd	EC	pH	Clay	Silt	Sand
۰	۵۴۸۶۷۱	۳۵۷۰۵۷۰	۳۴/۴۵	۲/۸۸	۰/۵۲	۸/۲	۲۸	۲۶	۴۶
۱	۵۴۸۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۳۴/۶۲	۲/۷۲	۱/۵	۷/۸۸	۲۸	۲۶	۴۶
۲	۵۴۸۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۳۴/۶	۲/۵۴	۰/۳	۸/۹۳	۲۲	۲۲	۵۶
۳	۵۴۸۶۷۱	۳۵۷۲۵۷۰	۳۳/۹	۱/۷۶	۰/۵۳	۸/۰۴	۲۰	۴	۷۶
۴	۵۴۶۶۷۱	۳۵۷۰۵۷۰	۳۵/۲۳	۲/۶۴	۱	۸/۱۴	۱۸	۲۶	۵۶
۵	۵۴۶۶۷۱	۳۵۶۸۵۷۰	۲۹/۶۲	۲/۱	۰/۳۵	۸/۰۴	۲۸	۱۶	۵۶
۶	۵۴۲۶۷۱	۳۵۶۶۵۷۰	۳۷/۴	۲/۶۷	۲	۸/۳۶	۲۸	۲۲	۵۰
۷	۵۴۲۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۴۵/۱۹	۲/۳۴	۰/۴۲	۷/۹۳	۳۲	۱۸	۵۰
۸	۵۴۲۶۷۱	۳۵۶۲۵۷۰	۳۵/۵	۲/۱	۰/۷۵	۷/۸۷	۲۲	۲۰	۳۰
۹	۵۴۰۶۷۱	۳۵۶۲۵۷۰	۳۳/۱۹	۲/۶۷	۲/۹	۸/۳۸	۱۸	۲۶	۳۲
۱۰	۵۳۸۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۲۹/۶۷	۲/۶	۰/۳	۸/۳	۲۸	۱۶	۵۶
۱۱	۵۳۸۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۴۱/۳۵	۲/۵۷	۰/۴۹	۸/۱۹	۲۰	۲۴	۵۶
۱۲	۵۴۲۶۷۱	۳۵۷۲۵۷۰	۳۵/۲۵	۲/۳۶	۶/۵	۷/۶۳	۲۸	۱۶	۵۶
۱۳	۵۴۲۶۷۱	۳۵۷۰۵۷۰	۳۶	۲/۲۲	۰/۶۴	۸/۱	۲۸	۱۶	۵۶
۱۴	۵۳۸۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۲۶/۷۱	۱/۲۶	۰/۹	۷/۶۸	۲۲	۲۰	۵۸
۱۵	۵۳۸۶۷۱	۳۵۶۲۵۷۰	۳۲/۹۸	۲/۴۲	۰/۹۵	۸/۳	۲۸	۲۰	۵۲

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

ادامه جدول ۱- نتایج میزان آلودگی، بافت و موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری

شماره نمونه بر روی نقشه	x	y	Pb	Cd	EC	pH	Clay	Silt	Sand
۱۶	۵۴۰۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۴۱/۹۲	۲/۶۳	۳/۵	۷/۹۸	۲۰	۴۴	۳۶
۱۷	۵۴۰۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۳۹/۹۶	۳/۱	۰/۳۳	۸/۳۶	۱۸	۳۶	۴۶
۱۸	۵۴۲۶۷۱	۳۵۶۸۵۷۰	۳۷/۲	۱/۷۷	۰/۷	۷/۵۸	۳۰	۱۸	۵۲
۱۹	۵۴۴۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۴۰/۹	۲/۲۹	۰/۴	۸/۴۳	۲۸	۲۶	۴۶
۲۰	۵۳۲۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۳۰/۴۶	۲/۳۱	۰/۵	۸/۴۲	۳۶	۳۲	۳۰
۲۱	۵۳۶۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۳۲/۲۷	۲/۶۶	۰/۷۵	۷/۸۹	۲۲	۲۲	۵۶
۲۲	۵۳۶۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۴۱/۶۷	۳/۱۱	۰/۲	۸/۳۶	۳۸	۱۶	۴۶
۲۳	۵۳۲۶۷۱	۳۵۷۰۵۷۰	۳۰/۴۲	۵/۳۴	۰/۵	۸/۴۶	۲۶	۲۰	۵۴
۲۴	۵۴۴۶۷۱	۳۵۷۲۵۷۰	۴۹/۸۵	۶/۰۶	۴	۷/۳۸	۲۰	۲۴	۵۶
۲۵	۵۴۶۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۴۰/۶۳	۴	۱/۷	۷/۵۶	۲۲	۲۲	۵۶
۲۶	۵۳۲۶۷۱	۳۵۶۲۵۷۰	۴۱/۲۳	۲/۴	۰/۲	۸/۳۵	۳۰	۳۴	۳۶
۲۷	۵۳۴۶۷۱	۳۵۶۸۵۷۰	۳۸/۹۴	۲/۶۷	۰/۱۵	۸/۳	۴۲	۳۰	۲۸
۲۸	۵۳۴۶۷۱	۳۵۶۶۵۷۰	۴۴/۴۳	۲/۲۵	۰/۳	۸/۲۴	۴۲	۳۰	۲۸
۲۹	۵۳۶۶۷۱	۳۵۶۲۵۷۰	۵۰/۸۸	۳/۴	۰/۲	۸/۱۸	۳۶	۱۶	۴۶
۳۰	۵۳۶۶۷۱	۳۵۶۶۵۷۰	۴۵/۱۷	۲/۸۶	۱/۷	۸/۲۷	۲۰	۱۴	۶۶
۳۱	۵۳۶۶۷۱	۳۵۶۸۵۷۰	۳۹/۸۱	۲/۹۲	۱/۷	۸/۱۷	۲۰	۱۴	۶۶
۳۲	۵۳۲۶۷۱	۳۵۶۶۵۷۰	۳۹/۵۴	۲/۳۵	۰/۵	۸/۴۶	۳۸	۳۲	۳۰
۳۳	۵۳۶۶۷۱	۳۵۷۰۵۷۰	۴۴/۳۲	۲/۸۷	۰/۱	۸/۳۶	۶۲	۱۰	۲۸
۳۴	۵۴۲۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۳۶/۷۵	۲/۵۵	۳/۷	۷/۹۶	۲۲	۱۲	۶۶
۳۵	۵۴۲۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۳۶/۹۸	۲/۳	۴/۵	۷/۷۳	۲۰	۲۴	۵۶
۳۶	۵۴۶۶۷۱	۳۵۷۲۵۷۰	۴۴/۳	۳/۰۲	۱	۷/۹۳	۳۴	۲۰	۴۶
۳۷	۵۴۶۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۴۵/۲۸	۲/۷	۱/۷	۷/۵۷	۲۸	۱۸	۵۴
۳۸	۵۳۴۶۷۱	۳۵۶۲۵۷۰	۴۲/۴۳	۲/۷۳	۰/۳	۸/۲۴	۲۶	۲۲	۵۴
۳۹	۵۴۸۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۳۷/۵۵	۲/۸۲	۷/۷	۷/۳۹	۱۸	۶	۷۶
۴۰	۵۴۴۶۷۱	۳۵۶۶۵۷۰	۴۹/۹۸	۳/۱۷	۰/۲۷	۸/۳۸	۲۰	۲۴	۴۶
۴۱	۵۴۴۶۷۱	۳۵۷۰۵۷۰	۴۸/۵	۳/۵۲	۱/۴	۷/۹۹	۲۸	۲۶	۴۶
۴۲	۵۴۴۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۳۸/۹۸	۲/۵	۱/۶	۷/۹۸	۲۴	۴۴	۷۲
۴۳	۵۴۶۶۷۱	۳۵۶۴۵۷۰	۴۳/۷۷	۳/۰۲	۰/۷	۷/۷۲	۲۸	۱۶	۵۶
۴۴	۵۴۶۶۷۱	۳۵۶۶۵۷۰	۵۰/۶۶	۲/۵۲	۰/۳	۸/۱۸	۲۸	۳۶	۳۶
۴۵	۵۳۴۶۷۱	۳۵۷۶۵۷۰	۳۱/۵۲	۱/۴۵	۰/۲	۸/۳۶	۳۸	۱۶	۴۶
۴۶	۵۳۲۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۳۶/۷۸	۱/۸۷	۰/۲	۸/۲	۲۶	۲۰	۵۴
۴۷	۵۳۴۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۳۳/۹۲	۳/۲۶	۰/۳	۸/۲۴	۳۶	۱۶	۳۶
۴۸	۵۳۶۶۷۱	۳۵۷۴۵۷۰	۳۳/۴۴	۳/۵۸	۰/۷۳	۷/۸۸	۶۲	۱۰	۲۸

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

آنالیز کریجینگ

آزمون نرمالیته داده‌ها

نتایج آزمون Shapiro–Wilk نشان داد که داده‌های سرب و کادمیوم برداشت شده از منطقه مورد مطالعه دارای توزیع نرمال بوده است چرا که میزان معنی‌داری آنها بالاتر از ۰/۰۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

انتخاب مدل

براساس درصد وابستگی مکانی (نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه) مدل‌های کروی و نمایی به این دلیل که کمترین درصد وابستگی مکانی را دارند، مدل‌هایی مناسب برای پیش‌بینی مقدار سرب در منطقه مورد مطالعه هستند (جدول ۲). بر این اساس هر کدام از این دو مدل که در نتایج Cross-Validation خطای کمتری داشته باشد، بعنوان بهترین مدل انتخاب می‌گردد. نتایج Cross-Validation نشان می‌دهد مدل کروی میزان RMS کمتر (۵/۶۱) دارد و بنابراین بهترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش سرب است (جدول ۱). از نظر میزان خطا (RMS=۵/۶۷) بدترین مدل برای پیش‌بینی سرب در خاک‌های منطقه مورد مطالعه مدل خطی است.

جدول ۲- نتایج برازش مدل‌های مختلف بر روی‌داده‌های عنصر سرب در منطقه مورد مطالعه

مدل	دامنه	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی	RMS	RMSS
کروی	۳۷۲۴/۳۶۴	۰	۳۶/۱۱	۰	قوی	۵/۶۱	۰/۹۸۶
نمایی	۴۳۹۰/۴۳۷	۰	۳۶/۶۷	۰	قوی	۵/۶۳	۰/۹۸۳
گوسی	۳۷۲۴/۳۶۴	۱۱/۸۰	۲۴/۵۸	۴۸	متوسط	۵/۶۶	۱/۰۰۳
دایره‌ای	۳۷۲۴/۳۶۴	۶/۸۴	۲۹/۳۹	۲۳/۲۷	قوی	۵/۶۵	۱/۰۰۵
خطی	۳۷۲۴/۳۶۴	۱۲/۵۶	۲۳/۶۸	۵۳/۰۴	متوسط	۵/۶۷	۰/۹۹۹

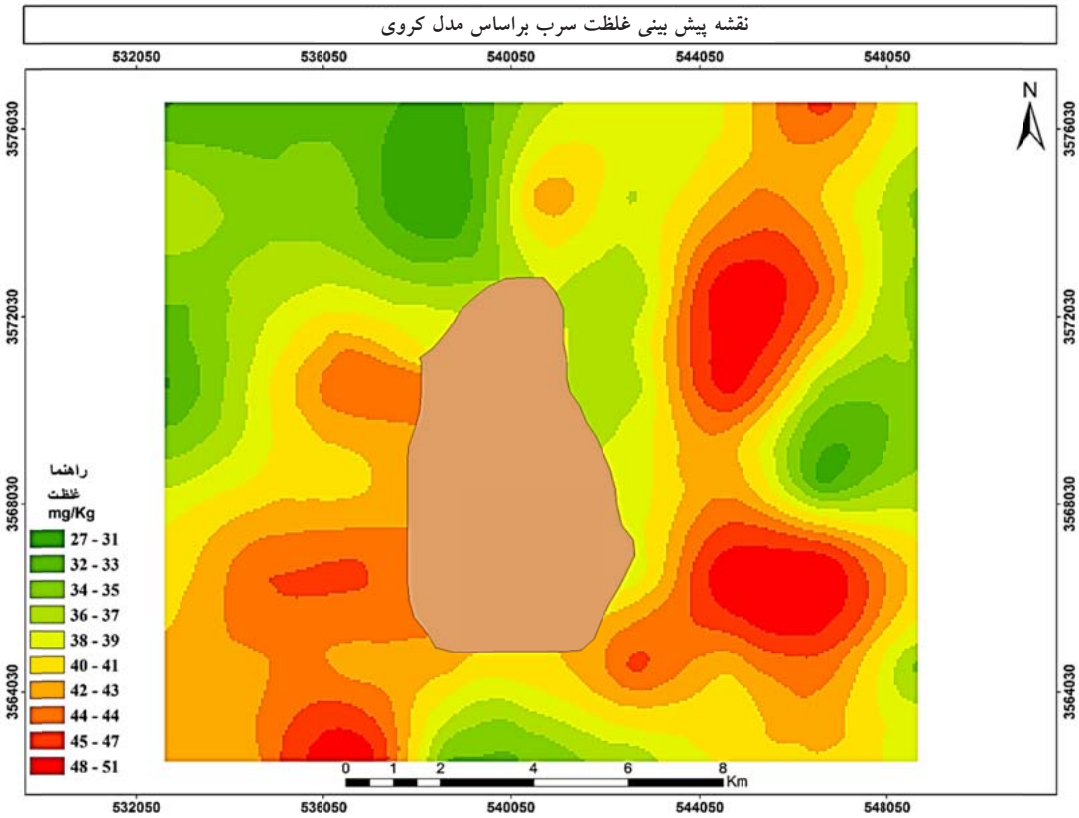
نتایج برازش مدل‌های مختلف برای عنصر کادمیوم نیز نشان می‌دهد که دو مدل کروی و نمایی دارای کمترین میزان نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه هستند و بنابراین مدل‌های مناسبی برای پیش‌بینی توزیع کادمیوم خواهند بود (جدول ۳). برای انتخاب برترین مدل از بین این مدل‌ها از نتایج Cross-validation استفاده می‌شود. با توجه به نتایج Cross-Validation مدل کروی با میزان RMS برابر با ۰/۷۹ و RMSS برابر با ۱/۰۶ به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی میزان کادمیوم در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (جدول ۳). بیشترین میزان RMS در بین مدل‌ها به مدل گوسی اختصاص دارد و نشان می‌دهد که این مدل بیشترین خطا را دارد (جدول ۳). مدل‌های دایره‌ای و خطی نیز به ترتیب میزان RMS برابر با ۰/۸۲ و ۰/۸۱ دارند و بنابراین از مدل کروی خطای بیشتری داشته‌اند.

جدول۳- نتایج برازش مدل‌های مختلف بر روی داده‌های عنصر کادمیوم در منطقه مورد مطالعه

مدل	دامنه	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی	RMS	RMSS
کروی	۳۹۳۴/۳۲۹	۰	۰/۶۵	۰	قوی	۰/۷۹	۱/۰۶
نمایی	۳۸۲۷/۹۰۷	۰	۰/۶۵	۰	قوی	۰/۸۱	۱/۰۵
گوسی	۳۷۲۴/۳۶۴	۰/۱۴	۰/۵۱	۲۷/۴۵	متوسط	۰/۸۳	۰/۹۹
دایره‌ای	۳۷۲۴/۳۶۴	۰/۰۰۲	۰/۶۵	۰/۳۰	قوی	۰/۸۲	۱/۱۱
خطی	۳۷۲۴/۳۶۴	۰/۱۴	۰/۵۱	۲۷/۴۵	متوسط	۰/۸۱	۱/۰۵

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

درون‌یابی داده‌های سـرب براسـاس مدل کروی نشان می‌دهد کانون‌های اصلی آلودگی سـرب در شـرق منطقه مورد مطالعه قرار دارند (مناطقی که بر روی نقشه به رنگ قرمز تیره نشان داده شده‌اند). در این مناطق میزان آلودگی سرب بین ۴۸ mg/kg تا ۵۱ mg/kg خاک بوده اسـت. یکی دیگر از کانون‌های اصلی نیز در جنوب غربی شکل گرفته است (شکل ۲). کمترین میزان آلودگی سـرب در منطقه مورد مطالعه در شمال غربی است که تحت تاثیر بادهای غالب منطقه قرار ندارد. در این مناطق میزان سـرب بین ۲۷ mg/kg تـا ۳۱ mg/kg خاک بود که با رنگ سبز بر روی نقشه نشان داده شده است.



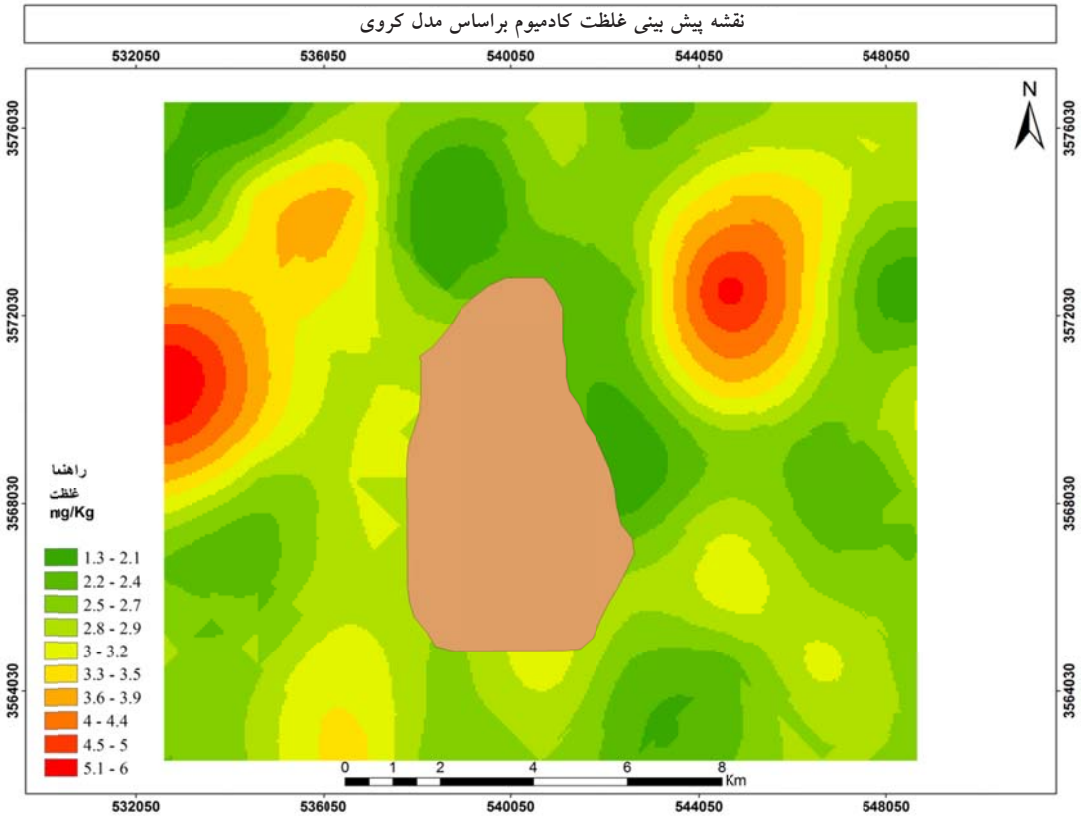
شکل ۲- پیش‌بینی پراکنش سرب براساس مدل کروی

تهیه نقشـه پراکنش کادمیوم براساس مدل کروی نشان می‌دهد دو کانـون اصلی (مناطقی که بر روی نقشـه به رنگ تیره دیده می‌شوند) در شرق و غرب کارخانه فولاد مبارکه برای آلودگی این عنصر بوده است (شکل ۳). در این دو کانون میزان آلودگی کادمیوم ۵/۱ mg/kg تا ۶ mg/kg خاک بود. نقاط با کمترین آلودگی در جنوب شرقی و جنوب غربی کارخانه قرار دارند.

آنالیز همبستگی

نتایج آنالیز همبسـتگی بین فلزات و برخی پارامترهای فیزیکی و شـیمیایی خـاک منطقه نشـان می‌دهد بیـن پراکنش فلزات سنگین و درصد شن، سیلت و رس هیچ همبستگی معنی‌داری وجود ندارد. همچنین بین آلودگی سـرب و کادمیوم و اسیدیته و شـوری هـم ارتباط معنی‌داری وجود نـدارد؛ اما بین دو فلز سـرب و کادمیوم همبسـتگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد با ضریب همبسـتگی Pearson ۰/۵۵۲ دیده می‌شـود (جدول ۴). بین اسـیدیته، شـوری، میزان رس، سیلت و شن با غلظت سرب ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. در مورد کادمیوم نیز بین شـوری، اسـیدیته خاک و غلظت آن رابطـه معنی‌داری وجود ندارد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]



شکل ۳- نقشه پیش‌بینی پراکنش کادمیوم براساس مدل کروی

جدول ۴- نتایج آنالیز همبستگی بین فلزات سنگین و برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

متغیر	Pb	p	Cd	p	EC	p	pH	p	رس	p	سیلت	p	شن	p
Pb	۱	۰												
Cd	۰/۵۵۲	**۰/۰۰۰	۱	۰										
EC	-۰/۰۰۴	۰/۹۸	۰/۱۴۱	۰/۳۳۴	۱	۰								
pH	-۰/۰۹۸	۰/۵۰۳	-۰/۱۵۱	۰/۳۰۱	-۰/۵۷۵	**۰/۰۰۰۱>	۱	۰						
رس	۰/۰۵۰	۰/۷۳۵	۰/۰۸۸	۰/۵۴۶	-۰/۳۵۸	*۰/۰۱۱	۰/۱۸۷	۰/۱۹۹	۱	۰				
سیلت	۰/۱۸۵	۰/۲۰۲	۰/۰۱۵	۰/۹۱۶	-۰/۱۲۸	۰/۳۸۱	۰/۲۲۲	۰/۱۲۵	-۰/۱۷۰	۰/۲۴۳	۱	۰		
شن	-۰/۱۱۴	۰/۴۳۵	-۰/۰۹۳	۰/۵۲۶	۰/۳۷۳	*۰/۰۰۸	-۰/۳۴۷	*۰/۰۱۵	-۰/۶۱۴	**<۰/۰۰۰۱	-۰/۳۷۳	**۰/۰۰۸	۱	۰

بحث

پراکنش سرب

نتایج بـرازش مدل‌های مختلف برای عنصر سـرب در منطقه مورد مطالعه نشـان داد که بهترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش سـرب بـا کمترین میزان خطـا مدل کریجینگ کروی اسـت. سـمی واریوگرام این مدل نشـان می‌دهد عنصر سرب دارای همبستگی مکانی زیادی است و تغییرات آن در فواصل مختلف از کارخانه معنی‌دار اسـت. نقشـه پراکنش تهیه شده براساس این مدل نشـان می‌دهد آلودگی در حاشـیه شـرقی کارخانه و جنوب آن بیشتر است. از حیث مناسب بودن مدل کروی برای

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

عنصر سرب نتایج این تحقیق با نتایج Dyani و همکاران (۱۸)، Baghayi و همکاران (۴)، Shabazi و همکاران (۱۹)، Jiachun و همکاران (۱۴) و Amini و همکاران (۲۰) مطابقت دارد. Dragovic و همکاران (۱۵) در بررسی تاثیر فاکتورهای جغرافیایی در پراکنش برخی فلزات سنگین در اطراف مجتمع فولاد تاکید کردند که مدل نمایی برای برآورد غلظت سرب مدل مناسبی است که در این مطالعه مدل کروی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد که از این حیث در تناقض با نتایج تحقیق آنها است.

در سال ۱۳۸۳ مطالعه‌ای بر روی میزان آلایندگی فولاد مبارکه از نظر روی و سرب توسط Hodaji و همکار (۵) صورت گرفت که نتایج آنها نیز نشان داد که غلظت حداکثر سرب در غرب کارخانه دیده می‌شود که در این مطالعه نیز پس از گذشت ۱۲ سال هنوز اکثر غلظت در غرب کارخانه وجود دارد. نتایج مطالعه آنها حداکثر غلظت ثبت شده در منطقه در غرب مجتمع فولاد را ۱۴/۳ mg/kg ذکر کرده که در این مطالعه پس از گذشت یک دوره زمانی ۱۲ ساله این غلظت به ۵۰/۸۸ mg/kg رسیده است که تفاوت بسیار چشمگیری دیده می‌شود و نشان‌دهنده سیر میزان آلایندگی کارخانه فولاد مبارکه است. نتایج این مطالعه نشان داد عنصر سرب دارای همبستگی مکانی بسیار بالایی است که این با نتایج تحقیق Hooker و همکار (۲۱) و Lado و همکاران (۲۲) مطابقت دارد.

پراکنش کادمیوم

نتایج نشان داد پس از بررسی مدل‌های مختلف بر روی داده‌های فلز کادمیوم مدل کروی بهترین برازش را داشته و به‌عنوان بهترین مدل پیش‌بینی پراکنش این فلز پیشنهاد می‌گردد که از این نظر نتایج این تحقیق با نتایج Khosheghbal و همکاران (۱۱)، Amini و همکاران (۲۰)، Dyani و همکاران (۱۸)، Dragovic و همکاران (۱۵)، Mahmudi و همکاران (۹)، Kasrayian و همکاران (۲۳) و Yang و همکاران (۲۴) مطابقت دارد. نتایج این مطالعه از نظر مدل مناسب برای پراکنش کادمیوم با نتایج Shahbazi و همکاران (۱۹) و Liu همکاران (۲۵) که مدل نمایی و Jiachun و همکاران (۱۴) که مدل خطی را مدل مناسبی دانسته‌اند همخوانی ندارد. سمی واریوگرام مدل نشان می‌دهد همبستگی مکانی قوی در ارتباط با کادمیوم وجود دارد که از این حیث با نتایج Dyani و همکاران (۱۸)، Dragovic و همکاران (۱۵)، Liu و همکاران (۲۵) و Kasrayian و همکاران (۲۳) مطابقت دارد. نتایج مطالعات گذشته در این منطقه مثل Hodaji و همکار (۵) نشان می‌دهد حداکثر کادمیوم در شمال شرقی کارخانه وجود داشته است که میزان آن ۰/۱۶ mg/kg خاک بوده است. اما در مطالعه حاضر که حدود ۱۲ سال بعد از مطالعه آنها شکل گرفته حداکثر میزان کادمیوم ثبت شده مربوط به شمال شرق کارخانه و مقدار آن برابر با ۶/۰۶ mg/kg بوده است که نشان‌دهنده روند بسیار افزایشی میزان آلایندگی این کارخانه از حیث کادمیوم است.

تاثیر باد غالب بر پراکنش عناصر

نتایج این تحقیق در خصوص فلز سرب نشان داد که غلظت سرب در جهت باد غالب منطقه بیشتر بوده است و باد غالب نقش مهمی در پراکنش این عنصر داشته است به‌طوری‌که کانون‌های اصلی تمرکز آلودگی سرب در منطقه در سمت شمال شرقی و جنوب غربی منطقه مستقر شده‌اند که به‌خوبی تاثیر باد بر پراکنش آلودگی سرب را نشان می‌دهد. در مورد عنصر کادمیوم نیز یکی از کانون‌های اصلی در جهت شمال شرقی منطقه واقع شده است که جهت باد غالب منطقه است. برخی از محققین از جمله Hodaji و همکار (۵)، Modis و همکاران (۲۶)، Li و همکاران (۲۷)، Dragovic و همکاران (۱۵) و Mahmudi و همکاران (۹) باد را به‌عنوان یکی از عوامل پراکنش فلزات سنگین عنوان کرده‌اند.

همبستگی سرب و کادمیوم با برخی پارامترهای خاک

نتایج نشان داد که عنصر سرب با هیچ کدام از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله اسیدیته، شوری و درصد سیلت، رس و شن همبستگی معنی‌داری ندارد که از این حیث با نتایج Mahmoudi و همکاران (۹) که تاکید کرده‌اند که الگوی پراکنش فلزات سنگین با الگوی مکانی برخی خصوصیات خاک مانند درصد شن و سیلت، pH و ماده آلی همخوانی دارد بدین معنی که ارتباط بین این خصوصیات با

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

پراکنش آلودگی معنی‌دار است، همخوانی ندارد. اگرچه برخی محققین از جمله Nasrazadani و همکار (۲۸)، Malik و همکاران (۲۹)، Mico و همکاران (۳۰)، Arfania و همکار (۳۱) و Behbahaniyai (۳۲) نیز ارتباط بین اسیدیته و میزان سرب را غیر معنی‌دار دانسته‌اند. در مورد شوری خاک ارتباط معنی‌داری با غلظت سرب یافت نشد که از این حیث و همچنین در زمینه بافت خاک با نتایج تحقیق Malik و همکاران (۲۹)، Mico و همکاران (۳۰) و Arfania و همکار (۳۱) همخوانی دارد.

بین کادمیوم و اسیدیته، شوری و بافت خاک در این مطالعه رابطه معنی‌داری یافت نشد که از این نظر نتایج تحقیق با نتایج Liu و همکاران (۲۵)، Mico و همکاران (۳۰)، Malik و همکاران (۲۹)، Behbahaniyai (۳۲) و Kasrayian و همکاران (۲۳) همخوانی دارد. نتایج این بخش نشان داد بین بافت خاک و میزان غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم خاک ارتباطی وجود ندارد. بنابراین نمی‌توان بافت خاک را عاملی برای تفاوت در مقادیر سرب و کادمیوم در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه دانست و در نتیجه اثر بافت خاک معنی‌دار نیست.

همبستگی بین سرب و کادمیوم

در این مطالعه نتایج نشان داد رابطه بین سرب و کادمیوم یک رابطه مثبت و معنی‌دار است یعنی حضور سرب و کادمیوم در کنار یکدیگر معنی‌دار است. در واقع وجود همبستگی بین فلزات مختلف نشان‌دهنده منبع مشترک آنها است (۳۱) که در مورد عناصر سرب و کادمیوم در منطقه مورد مطالعه یعنی اراضی اطراف کارخانه فولاد می‌توان ذکر کرد که منبع آلودگی یکسان یعنی کارخانه فولاد باعث آلایندگی منطقه به این فلزات سنگین شده است. در خصوص وجود همبستگی بین فلزات سنگین سرب و کادمیوم نتایج این مطالعه با نتایج Khosheghbal و همکاران (۱۱)، Afshari و همکاران (۳۳)، Parsafar و همکاران (۳۴)، Lado و همکاران (۲۲)، Lee و همکاران (۱۳) و Liu و همکاران (۲۵) مطابقت و با Arfania و همکار (۳۱) مطابقت نداشت. در نتیجه می‌توان بیان کرد عامل انسانی (۲۲) یعنی کارخانه فولاد مبارکه منبع مشترک این دو فلز در منطقه مورد مطالعه بوده است.

نتیجه‌گیری

برای یافتن مناطق که به آنها دسترسی وجود ندارد یا نمونه‌برداری از آنها هزینه بسیار بالایی دارد می‌توان از روش‌های زمین‌آماری که در این مطالعه نیز مورد تایید قرار گرفت استفاده نمود. بطورکلی مطالعه حاضر نشان داد که مدل کروی مدلی مناسب برای بررسی پراکنش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم است به گونه‌ای که بسیاری از محققین نیز این مدل را تایید نموده‌اند. به عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان عنوان نمود که با استفاده از تکنیک‌های زمین آمار با دقت قابل قبولی می‌توان به بررسی پراکنش مکانی غلظت فلزات سنگین پرداخت. به این دلیل که نمونه‌برداری از کل سطح یک منطقه به دلیل هزینه‌های بالا امکان‌پذیر نیست؛ می‌توان با استفاده از تکنیک‌های زمین آماری در محیط GIS با تعداد نمونه‌های قابل قبول، نتایج مورد تاییدی را کسب نمود. با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه می‌توان بیان کرد که تاثیر مرکز صنعتی مورد بررسی بر روی آلودگی خاک در اطراف مجموعه دیده می‌شود و در این بین نقش باد غالب بسیار چشمگیر است. در نتیجه خروج غبارات حاوی فلزات سنگین می‌تواند عاملی برای آلودگی خاک در اراضی اطراف باشد و پیشنهاد می‌گردد جهت کاهش میزان آلایندگی این‌گونه مراکز صنعتی گازها و غبارهای خروجی با استفاده از فیلترهای مناسب مورد تصفیه قرار گیرد و نیز تجهیزات مورد استفاده در مراکز بروزرسانی شود تا میزان آلایندگی کاهش یابد.

روش‌های بسیاری در زمینه بررسی پراکنش فلزات سنگین در زمین آمار وجود دارد که می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. همچنین می‌توان برای بالا بردن دقت مطالعه نمونه‌های با پراکندگی بیشتر و از سایر عمق‌های خاک را نیز مورد استفاده قرار داد که در تحقیقات آینده می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

تشکر و قدردانی

ایـــن مقاله حاصـــل پایان‌نامه با عنوان "ســـنجش غلظت فلزات ســـنگین ســـرب کادمیوم بر خاک اطراف کارخانه فولاد مبارکه اصفهان و پهنه‌بندی آن در محیط GIS" در مقطع کارشناســـی ارشد رشته مهندســـی منابع طبیعی گرایش آلودگی‌های محیط زیســـت در سال ۹۵ اســـت که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اجرا شده است.

منابع

1. Lasat M. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. Journal of Environmental Quality. 2002;31:109-20.
2. Green C, Hoffnagle A. Phytoremediation field studies database for chlorinated solvents, pesticides, explosives and metals. Washington DC: Office of Superfund Remediation and Technology, U.S. Environmental Protection Agency; 2004.
3. Vamerali T, Bandiera M, Coletto L, Zanetti F, Dickinson NM, Mosca G. Phytoremediation trials on metal- and arsenic-contaminated pyrite wastes (Torviscosa, Italy). Environmental Pollution. 2009;157(3):887-94.
4. Khodakarami L, Soffianian A, Mirghafari N, Afyuni M, Golshahi A. Concentration zoning of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-basin of the Hamadan Province using GIS technology and the geostatistics. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 2012;15(58):243-54 (in Persian).
5. Houdaji M, Jallalyan A. Distribution of iron, zinc and lead in soil and crops in the Mobarakeh steel plant region. Journal of Environmental Studies. 2004;30(36):15-26.
6. Yi H, Shu T, You-jian C. The role of arbuscularmycorrhiza on change of heavy metal speciation in rhizosphere of maize in wastewater irrigated agriculture soil. Journal of Environmental Sciences. 2005;17(2):276-80.
7. Baghaie AH, Khademi H, Mohammadi J. Geostatistical analysis of spatial variability of Lead and Nickel around two industrial factories in Isfahan province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2007;14(2):11-19 (in Persian).
8. Isaaks E, Srivastava M. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford: Oxford University Press; 1990.
9. Mahmoudi S, Mohammadi J, Naderi M. Statistical and spatial distribution of some heavy metals in surface soil particle size fractions in South of Isfahan. Journal of Water and Soil Conservation. 2013;20(2):1-22 (in Persian).
10. Tavakoli MR, Partany S, Marzban M. Investigation of the sources of heavy metal contamination in Zanjan province using GIS. 30th Symposium of Geosciences; 2012; Tehran, Iran (in Persian).
11. Khosheghbal MZ, Ghazban F, Sharifi F, Khoshrotehrani K. Using geostatistics and GIS to heavy metal pollution zonation in Anzali wetland sediments. Journal of the Earth. 2011;6(19):33-49 (in Persian).
12. Rahimpour F, Abbaspour RA. Mapping concentrations of heavy metals in soils using Kriging and RBF Case study: Harris Township. Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR). 2014;23(19):55-67 (in Persian).
13. Lee CS-l, Li X, Shi W, Cheung SC-n, Thornton I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. Science of the Total Environment. 2006;356(1–3):45-61 (in Persian).
14. Shi J, Wang H, Xu J, Wu J, Liu X, Zhu H, et al. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. Environmental Geology. 2007;52(1):1-10.
15. Dragović R, Gajić B, Dragović S, Đorđević M, Đorđević M, Mihailović N, et al. Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). Journal of Cleaner Production. 2014;84:550-62.
16. Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environmental Pollution. 2001;114(3):313-24.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

17. Reza SK, Baruah U, Singh SK, Das TH. Geostatistical and multivariate analysis of soil heavy metal contamination near coal mining area, Northeastern India. Environmental Earth Sciences. 2015;73(9):5425-33.
18. Dayani M, Mohammadi J, Naderi M. Geostatistical Analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). Journal of Water and Soil. 2009;23(4):67-76 (in Persian).
19. Shahbazi A, Soffianian AR, Afraz R, Khodakarami L. The spatial distribution of heave metals cadmium, copper and lead in soil and sources of these metals (Case study: Nahavand city). Journal of RS and GIS for Natural Resources. 2011;2(2):97-109 (in Persian).
20. Amini M, Afyuni M, Khademi H, Abbaspour KC, Schulin R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. Science of the Total Environment. 2005;347(1–3):64-77.
21. Hooker PJ, Nathanail CP. Risk-based characterisation of lead in urban soils. Chemical Geology. 2006;226(3–4):340-51.
22. Lado LR, Hengl T, Reuter HI. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. Geoderma. 2008;148(2):189-99.
23. Kasraeian A, Karimian N, Ghafouri V. Evaluation of spatial distribution of soil cadmium and cadmium hot points in a part of an Arable lands in west of Shiraz in Fars Province by Kriging method. Journal of Water and Wastewater. 2014;25(4):44-50 (in Persian).
24. Yang P, Mao R, Shao H, Gao Y. An investigation on the distribution of eight hazardous heavy metals in the suburban farmland of China. Journal of Hazardous Materials. 2009;167(1–3):1246-51.
25. Liu X, Wu J, Xu J. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. Environmental Pollution. 2006;141(2):257-64.
26. Modis K, Vatalis KI, Sachanidis C. Spatiotemporal risk assessment of soil pollution in a lignite mining region using a Bayesian maximum entropy (BME) approach. International Journal of Coal Geology. 2013;112:173-79.
27. Li X, Lee S-l, Wong S-C, Shi W, Thornton I. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. Environmental Pollution. 2004;129(1):113-24.
28. Nasrazadani A, Hoodaji M. Evaluation of the effect of an industrial wastewater sample on heavy metals contaminated soil. Journal of Environmental Sciences and Technology. 2015;16(1):437-50 (in Persian).
29. Malik RN, Jadoon WA, Husain SZ. Metal contamination of surface soils of industrial city Sialkot, Pakistan: a multivariate and GIS approach. Environmental Geochemistry and Health. 2010;32(3):179-91.
30. Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere. 2006;65(5):863-72.
31. Arfania H, Asadzadeh F. Heavy metals bio-availability (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in sediments of Abshinehriver. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 2016;4(5):133-46 (in Persian).
32. Behbahninia A. The investigation of metal pollution of fossil fuels in roadside of Tehran-Damavand. Plant and Ecosystem. 2009;5(17):45-56 (in Persian).
33. Afshari A, Khademi H, Delavar MA. Heavy metals contamination assessment in soils of different land uses in central district of Zanjan province using contamination factor. Water and Soil Science (Agricultural Sciences). 2016;25(4/2):41-52 (in Persian).
34. Parsafar N, Marofi S, Rahimi G, Marofi H. Assessment of pollution index (PI) of Cd, Zn, Cu and Pb in the soil irrigated with municipal wastewater. Water and Soil Science. 2015;25(1):1-12 (in Persian).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]

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

Original Article

Investigation of spatial distribution of lead and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex)

Sh Khaledan[1], L Taghavi[1,*], P Paykanpour Fard[2,3]

1- Environmental Pollution, Faculty of Environment and Energy of Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Environment, Human Environment and Sustainable Development Research Center, Islamic Azad University of Najafabad Branch, Najafabad, Iran

3- Department of Environment, Faculty of Basic Science and Nuclear Engineering, Islamic Azad University of Najafabad Branch, Najafabad, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 23 April 2017
Revised: 17 July 2017
Accepted: 22 July 2017
Published: 20 September 2017

Key words: Pollution, Threat, Lead, Cadmium, Industrial complex

***Corresponding Author:**
Taghavi_lobat@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Population explosion and human ever-increasing demands has been resulted in industrialization which its mismanagement led to land pollution and consequently irreversible harm to nature and living organisms. Thus, it is an important measure to investigate the role of industrial centers in soil pollution.

Materials and Methods: We studied Mobarakeh Steel Industrial Complex and surface soil samples were taken in a regular grid with a dimension of 2 km of a 10 km buffer zone. 49 samples were taken from different sites. Soil parameters such as texture, pH and salinity were analyzed and concentrations of heavy metals including lead and cadmium were measured using flame atomic absorption spectrometry.

Results: Data analysis in the GIS environment using geostatistical techniques showed that a spherical model is a good model to investigate the spatial variability of lead and cadmium. The lowest and highest lead concentrations were 88.50 and 71.26 mg/kg and that of Cd was 6 and 26.1 mg/kg, respectively. No significant relationship between the heavy metals and soil properties ($p>0.05$). However, the correlation between two elements was significant ($p<0.001$). Among the various parameters, it was realized that wind direction played a great role in the distribution of lead and cadmium in the area.

Conclusion: The results showed the role of the industrial complex in the environmental pollution. The hot spot for lead was eastern and southwestern parts of the steel complex and for Cd it was in eastern and western parts. Proper management and more accurate monitoring are necessary to protect the environment in the complex industry.

Please cite this article as: Khaledan Sh, Taghavi L, Paykanpour Fard P. Investigation of spatial distribution of lead and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex). Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(2):151-64.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-15]