ارزیابی توزیع مکانی و تعیین نقاط بحرانی آلودگی کادمیم در بخشی از زمین‌های کشاورزی غرب شیراز به روش کریجینگ

علی کسراییان[1] نجفعلی کریمیان[2] وحید غفوری[3]

(دریافت ۹۱/۸/٤ پذیرش ۹۱/۱۲/۱۵)

چکیده

توسعه صنعتی، سبب پراکندگی فلزات سنگین از جمله کادمیم در محیط زیست و به‌ویژه در خاک شده است. استفاده از پساب و لجن فاضلاب و همچنین ناخالصی کودهای فسفاته، امکان گسترش آلودگی کادمیم در زمین‌های کشاورزی را بیشتر کرده و لزوم پیمایش این آلودگی را جدی‌تر می‌نماید. اهمیت پیمایش آلودگی این عنصر همراه با کارایی روش‌های زمین آمار برای تعیین و پهنه‌بندی آلودگی کادمیم در ۸۰۰ هکتار از منطقه کشاورزی غرب شیراز (بیضا) با ۱۹ نمونه تصادفی انجام شد. با مقایسه روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ به‌عنوان مناسب‌ترین روش شناخته شد. نتایج حاصل بیانگر این بود که آلودگی منطقه به درجات مختلفی از کادمیم ۸۰ درصد و بیشتر در بخش جنوبی متمرکز بوده است. تجزیه و تحلیل واریوگرام به‌دست آمده نشان داد که ۵۵ درصد از تغییرات، ناشی از جز ساختاری و باقیمانده از بخش تصادفی است. با توجه به عدم وجود آلودگی‌های نقطه‌ای در منطقه از یک طرف و وسعت کم منطقه همراه با ضریب تغییرات زیاد اندازه‌گیری شده (٦۰ درصد) از طرف دیگر به نظر می‌رسد که احتمالاً منشا اصلی کادمیم خاک، انسان‌زاد بوده و در این میان، فعالیت‌های کشاورزی عامل اصلی آلودگی خاک‌های این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی کادمیم، زمین‌های کشاورزی، زمین آمار، کریجینگ، شیراز

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

A. Kasraeian [1] *N. Karimian [2]* *V. Ghafouri [3]*

(Received Oct. 25, 2012 Accepted Feb. 23, 2013)

Abstract

Soil pollution, in general, and heavy metals contamination, in particular, are problems of modern life. In this context, surveying contaminated soils becomes essential for keeping away human food chains from dangerous heavy metals. This study was conducted to evaluate soil Cd-contamination in part of the arable lands in Bizaa, west of Shiraz. Soil samples were randomly collected from an area of 800,000 m^2, prepared, and analyzed for Cd concentration. Analysis of variograms showed that the structural component moderately dominated the randomized component and that the range of special dependency was 2300 m. Ordinary kriging was used for mapping and estimation variances were calculated. Based on the Cd contamination standard threshold (3mg/Kg), the map thus prepared indicated that about 80 percent of the study area was polluted and that the hot point was located in the southern stretches of the study area. The non-existence of industrial activities and the absence of point Cd distribution indicated that soil pollution in the area must have been caused by human activities such as farming. The excessive consumption of chemical fertilizers, especially phosphates, in agricultural activities and sludge application seem to be the main suspects of soil Cd contamination. Further investigation is needed into the agricultural history of the area to determine the main causes of Cd contamination in this area.

Keywords: Cadmium Pollution, Agricultural Lands, Geostatistic, Kriging, Shiraz.

۱- استادیار، گروه خاک‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۷۳۱۳۷۴۷۰ alkasra@yahoo.com
۲- استاد، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز

1. Assist. Prof. of Soil Sciences, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran (Corresponding Author) 09173137470 alkasra@yahoo.com
2. Prof. of Soil Sciences, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
3. Grad. MSc Student of Water Resources, Islamic Azad University, Shiraz

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد جهان به‌نحوی که کمتری تأثیر آلایندگی را بر محیط زیست بگذارد، با توجه به محدود بودن منابع آب و خاک، یکی از موضوعاتی است که مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است. فعالیت صنعتی با گسترش آلاینده‌های مختلف در طبیعت همراه شده که برایند آن تأثیر بر محیط زیست و سلامت انسان و سایر موجودات زنده است [۱].

در بین این آلاینده‌ها، آلایندگی فلزات سنگین به‌دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده در غلظت‌های کم می‌گذارند، حائز اهمیت است [۲].

صنایع فلزی، معدن‌کاری، حمل و نقل جاده‌ای، سوزاندن پسماندها و به‌ویژه استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی، از منابع بسیار مهم ورود فلزات سنگین در خاک و آب در اکوسیستم‌های سطحی به شمار می‌روند [۳ و ۴]. از جمله این عناصر می‌توان به کادمیم اشاره کرد که پتانسیل بالقوه‌ای در آلودگی محیط زیست و به‌ویژه زمین‌های کشاورزی داشته و با وارد شدن به چرخه غذایی موجودات زنده، به‌ویژه انسان، آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به‌جا می‌گذارد. مقدار طبیعی آن درخاک‌های غیر آلوده کمتر از ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده ولی غلظت بحرانی آن در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در بعضی منابع دیگر تا ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم نیز بیان شده است [۵ و ۶]. هنگامی که غلظت این عنصر در جیره غذایی انسان و سایر موجودات زنده از مرز خاصی بالاتر رود (مرز بحرانی)، از لحاظ سلامتی بسیار خطرناک می‌شود. مهم‌ترین اثرات زیانبار کادمیم، تجمع آن در قشر کلیه بوده و هنگامی که غلظت آن به ۲۰۰ میکروگرم در هر کیلوگرم وزن تر کلیه برسد، سبب از کار افتادن آن می‌شود. نرم شدن استخوان یکی از نتایج تجمع کادمیم در استخوان‌ها و به هم زدن موازنه کلسیم در آن است [۷]. از آنجا که مسیر اصلی انتقال کادمیم به رژیم غذایی انسان، گیاهان کاشته شده در خاک‌های آلوده است، لذا پیمایش آلودگی خاک‌ها برای نیل به توسعه پایدار در بخش کشاورزی ضروری است [۱].

پهنه‌بندی و تهیه نقشه کادمیم در خاک و شناسایی مکان‌های آلوده، کمک زیادی در مدیریت این عنصر و شناسایی و درجه‌بندی مناطق آلوده نموده و از گسترش این آلاینده در محیط زیست و موجودات زنده جلوگیری به‌عمل می‌آورد. ازطرف دیگر، این نقشه‌ها با مشخص کردن مناطق آلوده یا در معرض آلودگی، می‌تواند اطلاعات مهمی در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب برای کاربری‌های مختلف از جمله مصرف لجن فاضلاب ارائه دهند.

یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی مناطق مختلف، عدم امکان و همچنین هزینه سنگین نمونه‌برداری و آزمایش از تمامی نقاط است. زمین آمار[1] از راهکارهای مناسب برای تعمیم نتایج به‌دست آمده از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط است. این علم در اواسط قرن بیستم پا به عرصه گذاشته و کمک شایانی به مطالعات محیطی نموده است. در اینجا علاوه بر توصیف و صورت‌بندی الگوی تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها، اقدام به تخمین و تهیه نقشه‌های کمّی پراکنش آلودگی با حداقل واریانس نیز می‌نماید [۸].

مطالعات متعددی در کشورهای مختلف و ایران برای درون‌یابی و تعیین توزیع مکانی غلظت عناصر سنگین در خاک صورت گرفته است. بقایی و همکاران به کمک زمین آمار نقشه آلودگی، سرب و نیکل قابل جذب را در اراضی اطراف دو کارخانه فولاد مبارکه و ذوب آهن اصفهان تهیه نمودند. این محققان ساختار مکانی متغیرها را به کمک تغییرنما مورد بررسی قرار داده و برای کنترل اعتبار تغییرنماهای ترسیم شده، از روش کریجینگ- جک نایف استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که غلظت سرب در اطراف ذوب‌آهن و نیکل در اطراف هر دو کارخانه، نسبت به سایر نقاط بالاتر بوده است [۹]. جیاچون و همکاران در سال ۲۰۰۶ از راهکار زمین آمار برای تعیین پراکنش مکانی برخی از عناصر سنگین استفاده نمودند و در پژوهش خود در منطقه زیجیانگ چین بیان داشتند که عناصر مس و سرب دارای وابستگی مکانی زیادی هستند و علت آن را به عوامل طبیعی از قبیل مواد مادری، توپوگرافی و تنوع خاک مربوط دانستند. آنها در ادامه بیان داشتند که عناصر ارسنیک، کروم، کادمیم و جیوه از وابستگی مکانی متوسطی برخوردار بودند و در نهایت نتیجه گرفتند که دخالت انسان در طبیعت در قالب کاربرد پساب‌های صنعتی، کودهای شیمیایی و دیگر اعمال مدیریتی موجب افزایش وابستگی مکانی در یک فاصله زمانی کوتاه خواهد شد [۸]. زیگ می و همکاران در پژوهش خود بر روی تعدادی از عناصر سنگین در منطقه هانزونگ در چین اظهار داشتند که دخالت‌های انسان در طبیعت عامل تعیین کننده‌ای در تغییرات مکانی عناصر کادمیم، سرب، کروم، روی و مس در منطقه شده است [۱۰]. در مورد بررسی آلودگی در خاک‌ها به تحقیقات محمدی در سال ۱۹۹۷، رودریگز و همکارن در سال ۲۰۰۸ و لادو و همکاران در سال ۲۰۰۸ می‌توان اشاره کرد که همگی به نوعی از همبستگی مکانی به‌دست آمده در تعیین گسترش و پهنه‌بندی آلودگی در مناطق مختلف کمک گرفتند[۴، ۷ و ۱۱].

خداکرمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ در پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل با استفاده از فناوری‌های GIS و

[1] Geostatistic

www.SID.ir
Archive of SID

زمین آمار نقشه‌های آلودگی خاک‌های سه زیر حوزه آبخیز استان همدان را تهیه نمودند[۱]. آنها این نقشه‌ها را با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمائی تهیه کردند. ایشان در تجزیه و تحلیل این نقشه‌ها بیان داشتند که نقشه این آلودگی‌ها نسبت به الگوی کاربری کشاورزی زمین‌ها، با الگوی زمین‌شناسی تطابق بیشتری دارد. دیانی و همکاران در سال ۱۳۸۸ در مطالعه دیگری به تجزیه و تحلیل زمین آماری غلظت سرب، روی و کادمیم در خاک‌های حومه سپاهان‌شهر در جنوب اصفهان پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که اراضی اطراف معادن، دارای آلودگی بیشتر و با افزایش فاصله از معدن میزان آلودگی کاهش می‌یابد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که آلودگی این سه عنصر در مناطق یاد شده بیشتر تحت تأثیر مؤلفه‌های ساختاری بوده تا تصادفی و دامنه وابستگی مکانی برای هر سه عنصر تقریبا ۳/۳ کیلومتر بوده است [۲].

امروزه نیاز به افزایش تولید در بخش کشاورزی برای تأمین نیاز غذایی مردم جهان و کمبود زمین‌های قابل کشت همراه با افزایش قیمت جهانی محصولات غذایی، سبب فشار بیشتر بر زمین‌های کشاورزی برای افزایش تولید در واحد سطح شده است. یکی از راه‌های افزایش تولید در واحد سطح، استفاده از کودهای کشاورزی است، به‌طوری که بدون آنها، تولیدات کشاورزی برای جمعیت رو به رشد کافی نیست. از سوی دیگر، کودهای کشاورزی که اصولاً نمک‌های طبیعی عناصر غذایی هستند، همراه خود ناخالصی‌هایی نیز دارند. استفاده مکرر از این کودها سبب افزایش تدریجی این ناخالصی در خاک می‌شود. در این بین، ناخالصی‌هایی مانند عناصر سنگین از جمله کادمیم به دلیل بقای طولانی و تأثیر آن بر موجودات زنده، اهمیت خاصی دارد.

در این تحقیق منطقه بیضا که از جمله مراکز تولید محصولات کشاورزی، مانند برنج و گندم، در استان فارس است، انتخاب شد و مقدار کادمیم کل در آن اندازه‌گیری و به روش‌های زمین آماری پهنه‌بندی شد. تهیه این نقشه دست‌مایه‌ای برای مدیران است تا با محدود کردن کشت یا کاربرد مواد فاضلابی و یا کودهای شیمیایی ناخالص حاوی کادمیم، از آلوده کردن بیشتر خاک‌ها و درپی آن آب‌های زیرزمینی جلوگیری نمایند.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در غرب شیراز واقع در شهرستان بیضا است. این منطقه یکی از نقاط مهم کشاورزی در اطراف شیراز است که به‌دلیل نزدیکی به بازار این شهر، اکثر محصولات را به شیراز صادر می‌نماید. از جمله مهم‌ترین محصولات زمستانه این منطقه گندم و جو و محصولات بهاره بیشتر شامل برنج، ذرت، گوجه فرنگی و محصولات سیفی است. بخشی از این منطقه با طول‌های جغرافیایی 0 22 52 و 0 24 52، عرض‌های جغرافیایی 0 0 30 و 0 2 30 و به مساحت ۸۰۰ هکتار برای این مطالعه انتخاب شد (شکل ۱).

تعداد ۱۹ نقطه به شکل تصادفی در منطقه انتخاب و نمونه‌برداری از هر نقطه به شکل مرکب انجام پذیرفت؛ به این ترتیب که در هر نقطه انتخابی تعداد چهار نمونه از رئوس یک مربع ۲ × ۲ و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برداشته، پس از ترکیب شدن، یک نمونه مرکب به وزن حدود یک کیلوگرم به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و برای تجزیه آماده شدند.

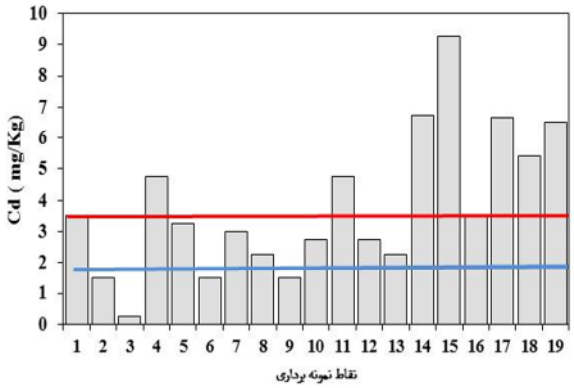
بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر، مقدار ماده آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فروسولفات آمونیم و دی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ، قابلیت هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت سنج، واکنش خاک با دستگاه pH متر، غلظت کادمیم کل و فسفر کل پس از هضم با مخلوط اسیدها به‌ترتیب با دستگاه جذب اتمی و روش رنگ‌سنجی قرائت شدند.

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه برداری

Archive of SID
www.SID.ir

۳- نتایج و بحث

غلظت کادمیم کل در نقاط مختلف نمونه‌برداری در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به مرز قابل قبول غلظت این عنصر در خاک‌های کشاورزی (۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، تنوع غلظت کادمیم در خاک منطقه بسیار متفاوت و از کمینه ۰/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تا بیشینه ۹/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تفاوت پیدا می‌کند. از کل ۱۹ نقطه مورد مطالعه، آلودگی ۸ نقطه کمتر از مرز استاندارد، ۱ نقطه در مرز و ۱۰ نقطه باقیمانده همگی به درجات مختلف آلوده به کادمیم بودند.



شکل ۲- مقدار کادمیم کل (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در نقاط نمونه‌برداری و مرزهای آلودگی ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم

توصیف آماری غلظت کادمیم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق نمونه‌برداری شده در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین غلظت کادمیم ۳/۷۹ و میانه آن ۳/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است. با توجه به مرز استاندارد آلودگی خاک‌ها، این مقدار بیشتر از مرز مجاز بوده و این می‌تواند به نوعی بیانگر آلودگی کلی منطقه به کادمیم باشد.

با توجه به نتایج آماری جدول ۱ و آزمون کولوموگروف- اسمیرنوف، غلظت کادمیم کل، در منطقه، از توزیع نرمال پیروی کرده و این می‌تواند در تخمین دقیق‌تر پراکنش کادمیم مفید باشد. شین و همکاران در سال ۲۰۰۰ در بررسی آلودگی خاک‌ها به برخی از عناصر سنگین، متوجه شدند که دقت تغییرنماهای به‌دست آمده و داده‌های حاصل از تخمین هنگامی که از داده‌های تبدیل نیافته استفاده شد، بسیار بالاتر از داده‌های تبدیل یافته بود [۱۲].

تخمین زمین آمار شامل دو مرحله است که مرحله اول، شناخت و مدل‌سازی ساختاری فضایی متغیر است که به‌وسیله تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما قابل بررسی است و مرحله دوم، تخمین متغیر مورد نظر بوده که وابسته به مرحله اول است. نتایج نیم‌تغییرنما نشان داد که روند ناهمسانگردی در کادمیم کل خاک وجود ندارد. شکل نیم‌تغییرنما و پارامترهای آن به ترتیب در شکل ۳-الف و جدول ۲ نشان داده شده است. در بین مدل‌های مختلف برازش شده بر نیم‌تغییرنمای کادمیم کل، مدل کروی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل شناخته شد و ساختار مکانی کادمیم کل خاک تا فاصله ۲۳۰۰ متری ادامه داشت [۲]. در تجزیه و تحلیل زمین آماری غلظت سرب، روی و کادمیم در جنوب اصفهان، مدل کروی به نیم تغییرنمای این عناصر برازش داده شد. امینی و همکاران در سال ۲۰۰۵ در مطالعه مشابه در غرب اصفهان و بر روی پراکنش آلودگی سرب و کادمیم مدل کروی را برازش دادند [۱۳].

دقت بالای تخمین از محاسبه میانگین خطای استاندارد تخمین (MS) و میانگین مجذور خطای کاهش یافته[1] محاسبه می‌شود (روابط ۱ و ۲)

$$MS = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\hat{Z}(s_i) - z(s_i)) / \hat{\delta}(s_i)}{n} \qquad (۱)$$

$$RMSS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (\hat{Z}(s_i) - z(s_i)^2}{n}} \qquad (۲)$$

که در این روابط

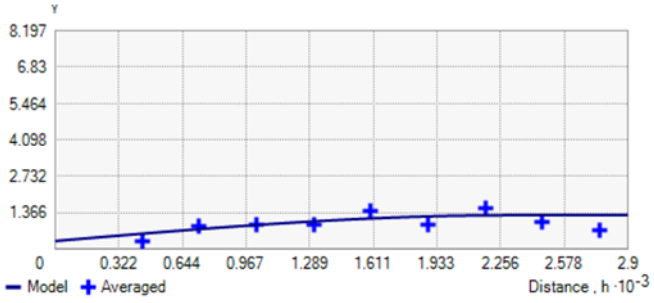
MS میانگین خطای استاندارد تخمین، $\hat{Z}(s_i)$ مقدار پیش‌بینی از ارزیابی متقابل، $\hat{z}(s_i)$ مقدار مشاهده شده، $\hat{\delta}(s_i)$ مقدار خطای استاندارد کریجینگ برای موقعیت s_i و RMSS میانگین مجذور خطای کاهش یافته است.

هرچه مقدار MS به صفر و مقدار RMSS به یک نزدیک‌تر باشد، تخمین از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود. بنابراین همانطور که از جدول ۲ مشاهده می‌شود، تخمین از دقت مناسبی برخوردار است.

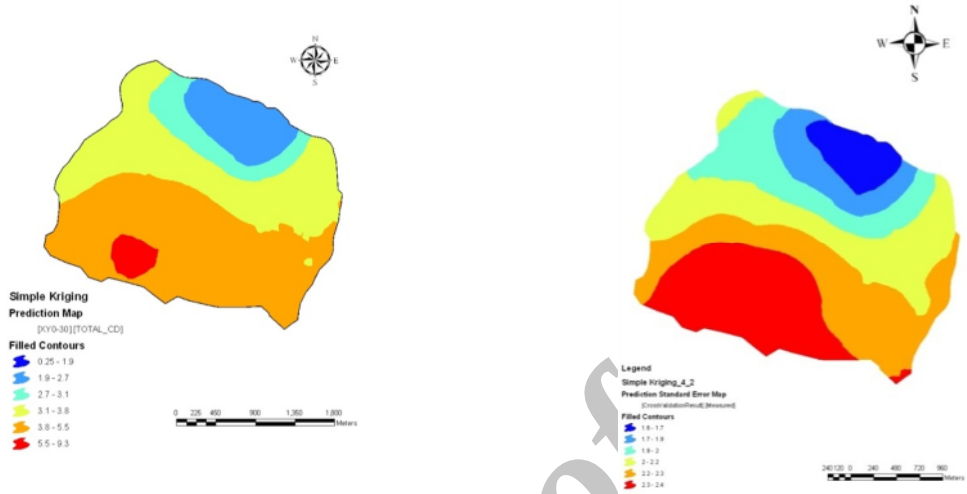
وابستگی مکانی بیانگر استحکام فضایی مدل برازش شده است که برای محاسبه آن از نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه استفاده می‌شود. غلبه بیشتر واریانس بخش ساختاری تغییرنما بر واریانس بخش تصادفی، دلیلی بر مناسب بودن الگوی نمونه‌برداری، فواصل مناسب نمونه‌برداری و دقت آزمایشگاهی است [۲]. کلاس وابستگی مکانی مدل برازش شده در این مطالعه متوسط است که می‌تواند متأثر از فاصله‌های نمونه‌برداری یا الگوی نمونه‌برداری در منطقه باشد. دیانی و همکاران در برازش مدل کروی بر نیم‌تغییرنماهای عناصر سرب، روی و کادمیم در منطقه جنوب اصفهان، کلاس

[1] Root Mean Sum Square (RMSS)

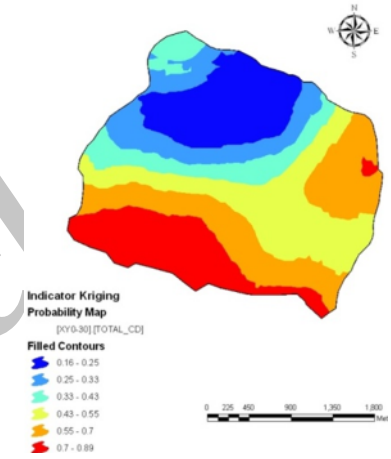
Archive of SID
www.SID.ir



(الف)



(ج) (ب)



(د)

شکل ۳- تغییرنمای همه جهته (الف)، نقشه کریجینگ، (ب) و کریجینگ شاخص (بر اساس مرز آلودگی ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) (ج) و واریانس خطا (د) غلظت کادمیم کل

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و غلظت کادمیم و فسفر کل در منطقه

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	دامنه	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
ماده آلی (٪)	۰/۶۸	۱/۹۶	۱/۰۵	۱/۲۸	۱	۰/۲۸	۲۶
کربنات کلسیم (٪)	۳۴/۳۰	۷۵	۴۸/۶۴	۴۰/۷	۴۷/۵۰	۹/۸۸	۲۰
pH	۷/۲	۸/۱	۷/۷۲	۰/۹	۷/۷۲	۰/۲	۲
فسفر کل*	۰/۰۳۹	۰/۲۹۴	۰/۰۹۳	۰/۲۵۵	۰/۰۷	۰/۰۶۳	۶۸
کادمیم کل*	۰/۲۵	۹/۲۵	۳/۷۹	۹	۳/۲۵	۲/۲۹	۶۰

*غلظت بر حسب میلی گرم در کیلوگرم خاک است

www.SID.ir

جدول ۲- پارامترهای تغییرنمای کادمیم با مدل کروی نتایج آنالیز همبستگی مکانی کادمیم و مدل بردازش داده شده و دقت مدل

روش درون‌یابی	مدل	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی	میانگین	MS	RMSS
کریجینگ معمولی	کروی	۰/۳	۰/۶۶	۴۵/۴۵	متوسط	۰/۴۵	-۰/۰۱	۱/۰۸

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های خاک

	کربنات کلسیم	کادمیم کل	فسفر کل	شن	سیلت
کادمیم کل	-۰/۰۳۱				
فسفر کل	۰/۱۴۵	۰/۲۴۱			
شن	۰/۲۶۸	-۰/۲۱۲	۰/۲۳۳		
سیلت	۰/۰۲۳	۰/۳۹۲	-۰/۲۳۸	-۰/۳۹	
رس	۰/۲۵۵	۰/۱۸۴	-۰/۰۲۲	-۰/۵۰**	۰/۶۰**

وابستگی قوی برای متغیرها را نشان دادند؛ آنها اثر فعالیت‌های اکتشاف و استخراج معدن، به‌عنوان منابع آلودگی نقطه‌ای، بر آلودگی خاک‌های نواحی اطراف را بررسی کردند، اما امینی و همکاران کلاس وابستگی مکانی متوسط را برای پراکنش سرب و کادمیم در غرب اصفهان گزارش نمودند [۱۳]. جیاچون و همکاران در مطالعه پراکنش آلودگی خاک به عناصر سنگین از نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به حد آستانه به‌عنوان معیاری برای بررسی ساختار فضایی متغیرها استفاده کردند [۸].

روش‌های کریجینگ در تخمین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک، پتانسیل بالایی دارند و به‌عنوان روش مناسب برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند [۱۴]. بعد از ارزیابی روش‌های مختلف کریجینگ، مدل کریجینگ معمولی مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی انتخاب شد. نتایج نقشه پیش‌بینی پراکنش کادمیم کل و همچنین خطای تخمین آن در شکل ۳ نشان داده شده است. خداکرمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ در پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سه زیر حوزه استان همدان با هدف بررسی تأثیر کاربری اراضی کشاورزی و زمین‌شناسی بر میزان و پراکنش این عناصر نیز از کریجینگ معمولی استفاده کردند [۱]. دیانی و همکاران در سال ۱۳۸۸ نیز در بررسی اثر آلودگی‌های نقطه‌ای حاصل از فعالیت‌های استخراج معدن از روش کریجینگ معمولی برای پیش‌بینی گسترش آلاینده‌های معدنی استفاده کردند [۲]. لادو و همکاران در سال ۲۰۰۸ در بررسی خود بر گسترش آلودگی خاک با فلزات سنگین و مقایسه روش کریجینگ رگرسیون و کریجینگ معمولی بیان داشت که روش کریجینگ رگرسیون از صحت بالاتری نسبت به کریجینگ معمولی برخوردار نیست [۴]. همان‌طور که از شکل ۲ و جدول ۳ مشخص است و با توجه به تعیین غلظت ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌عنوان مرز آلودگی، پهنه وسیعی از منطقه دچار آلودگی به کادمیم است. همان‌طور که از نقشه پیش‌بینی کریجینگ و کریجینگ شاخص مشاهده می‌شود، از ۸۰۰۰ هکتار وسعت منطقه، تقریباً در ۲۰ درصد آن مقدار کادمیم کل کمتر از حد آلایندگی بوده و ۸۰ درصد باقیمانده با درجات مختلف به این عنصر آلوده است (شکل ۳-ب و ۳-ج).

بیشترین مقدار آلودگی در جنوب منطقه متمرکز است در صورتی که بخش غیر آلوده در قسمت شمالی واقع شده است. این گسترش و پهنه آلودگی از روند خاصی تبعیت نکرده و این بیانگر غیر نقطه‌ای بودن منبع آلوده کننده است. نبودن فعالیت‌های صنعتی و استخراج معدن درمنطقه، خود تأکیدی بر الگوی پراکندگی غیر نقطه‌ای کادمیم است. به رغم آلودگی کادمیم در منطقه، به‌دلیل وجود مقدار فراوان کربنات کلسیم و pH قلیایی، به نظر نمی‌رسد که حلالیت و قابلیت استفاده آن در خاک چندان زیاد باشد. این موضوع از جنبه انتقال این آلاینده به آبهای زیرزمینی و جذب توسط گیاهان اهمیت دارد. خداکرمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ نیز در تفسیر آلودگی منطقه مورد مطالعه خود به کادمیم با اشاره به آهکی بودن خاک‌ها اظهار داشتند که پتانسیل انتقال این آلاینده کم است [۱]. همانطور که از نقشه خطای تخمین مشخص است، بیشترین خطا در بخش جنوبی منطقه مورد بررسی اتفاق افتاده که این می‌تواند از فاصله نامناسب نمونه‌ها یا الگوی نمونه‌گیری تأثیر گرفته باشد (شکل ۳-د). دیانی و همکاران در بررسی پراکنش آلاینده‌های فلزی به چنین موردی اشاره کردند. آنها دقت تخمین نقشه‌های حاصل از پیش‌بینی کریجینگ را با نقشه خطای تخمین ارزیابی نمودند [۲].

وسعت محدود منطقه، پراکندگی یکنواخت نقاط نمونه‌برداری همراه با ضریب تغییرات زیاد کادمیم اندازه‌گیری شده، بیانگر تأثیر کم ماده مادری و سنگ بستر بر روی غلظت این عنصر است. به بیان دیگر به‌نظر می‌رسد در صورتی که منشأ کادمیم خاک، مواد

Archive of SID
www.SID.ir

مادری و یا سنگ بستر باشد، با توجه به غیر محلول بودن نمک‌های این عنصر در خاک‌های آهکی منطقه، گسترش یکنواخت‌تری را نشان می‌دهد که در این پژوهش چنین نشد.

جورجیو و همکاران در سال ۱۹۹۹ در پژوهش خود با اشاره به اثر منشأ مواد مادری در آلودگی منطقه به عناصر سنگین، احتمال تأثیر نهاده‌های کشاورزی به ویژه کودهای کشاورزی را در آلوده کردن خاک‌ها بررسی نمودند [۱۵]. خداکرمی و همکاران در پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در حوزه آبخیز استان همدان با اشاره به تأثیر سنگ بستر و مواد مادری در آلودگی خاک‌ها با اشاره به کاربری کشاورزی اراضی مورد بررسی، سهم فعالیت کشاورزی در آلوده کردن خاک‌ها را نیز بررسی نمودند [۱]. لادو و همکاران در سال ۲۰۰۸ نیز به سهم کشاورزی در آلودگی خاک به عناصر سنگین اشاره کردند. ایشان بیان نموده‌اند که استفاده از کودها و مواد شیمیایی در اراضی کشاورزی منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین و از جمله کادمیم می‌شود[۴].

کودهای کشاورزی به ویژه کودهای حاوی فسفر می‌توانند حاوی مقادیر متفاوت از آلودگی با عنصر کادمیم باشد. این موضوع مستقیماً به منابع سنگ فسفات و توانایی پالایش کادمیم در کارخانه‌های تولید کننده این کودها بر می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه که در بخشی از زمین‌های کشاورزی منطقه بیضا در استان فارس انجام شد، با محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی و برازش آن بر مناسب‌ترین مدل، در نهایت نقشه آلودگی خاک به کادمیم توسط مدل کریجینگ ترسیم شد. نتایج نشان داد که بیشتر منطقه به‌جز بخش شمالی با درجاتی آلوده به کادمیم است، اما با این حال، این آلودگی به‌دلیل pH بالای خاک و فراوانی کربنات کلسیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از بررسی جدول آنالیز همبستگی مکانی و همچنین نقشه‌های حاصل از مدل کریجینگ و نقشه خطای تخمین مشخص شد که غلظت کادمیم کل، از کلاس ساختار فضایی متوسطی برخوردار است. این موضوع همراه با ضریب تغییرات محاسبه شده این متغیر می‌تواند بیانگر اثر عواملی غیر از منشأ مادری، به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی، در آلودگی خاک‌ها باشد.

۵- مراجع

1. Khodakarami, L., Soffianian, A., Mirghafari, N., Afyuni, M., and Golshahi, A. (2002). "Concentration zoning of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-basin of the Hamadan province using GIS technology and the geostatistics." *JWSS - Isfahan University of Technology*, 15 (58), 243-254.
2. Dayani, M., Mohammadi, J., and Naderi, M. (2009). "Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan)." *J. of Water and Soil*, 23(4), 67-76. (In Persian)
3. Hutton, M., and de Meeus, C. (2001). *Analysis and conclusions from Member States' Assessment of the risk to health and the environment from cadmium in fertilizers*, Final Report European Commission- Enterprise DG, Environmental Resource Management, London
4. Lado, L. R., Hengl, T., and Reuter, H. I. (2008). "Heavy metal in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database." *Geoderma*, 148, 189-199.
5. Bolan, N.S., Adriano, B. C., and Mani, P. A. (2003). "Immobilization and phytoavailaibility of cadmium in variable charge soils. II. effect of lime addition ." *Plant and Soil*, 241, 187-198.
6. Salehi, M., Malakouti, M.J., and Samavat, S. (2005). *Distribution and critical levels of heavy metals in life cycle(Soil, Water, Plant, and livestocks),* Soil and Water Research Institute, Technical bulletin, No. 435., Thanjavru.
7. 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.
8. Jiachun, S., Hazian, W., Jianming, X., Jinjun, W., Xingmei, L., Haiping, Z., and Shunlan, J. (2006). "Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of Changing, China." *Environmental Geology Geol.*, 10, 245-264.
9. Baghaie, A.H., Khademi, H., and Mohammadi, J. (2007). "Geostatistical analysis of spatial variability of lead and nickel around two industrial factories in Isfahan province." *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 14 (2), 11-20. (In Persian)
10. XingMei, L., Jianjun, W. V., and Jiangming, X.U. (2006). "Characterizing the risk assessment of heavy metal and sampling uncertaintly analysis in paddy fields by geostatistics and GIS." *Enviromental Pollution*, 129, 113-124.
11. Mohammadi, J. (1997). "Geostatistical mapping of environmental soil hazards." PhD. Thesis, Gent University, Belgium.
12. Shin J.J., and Peneffen, M. (2000). "Determination of spatial continuity of soil lead levels in an urban residential neighborhood." *Environmental Research*, 82, 46-52.
13. 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.
14. Juang, K. W., Lee, D. Y., and Ellsworth, T. R. (2001). "Using rank-order geostatistics for special interpolation of highly skewed data in heavy metal contaminated site." *J. Environ. Qual.*, 30, 894-903.
15. Giorgio, S., Senesi, G., Baldassarre, A., Snesi, A., and Radina, B. (1999). "Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health." *Chemosphere*, 39 (2), 343-377.

Archive of SID
www.SID.ir