

توزیع مکانی کادمیوم در شالیزارهای جنوب غربی اصفهان با استفاده از زمین آمار و GIS

قاسم رحیمی^{*1} - امین چرخ آبی²

تاریخ دریافت: 1392/1/20

تاریخ پذیرش: 1393/6/10

چکیده

در اثر تخلیه و دفع کنترل نشده فاضلاب‌های صنعتی و شهری، کاربرد غیراصولی کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب، خاک‌های شالیزاری منطقه لنجان واقع در استان اصفهان بطور گسترده در معرض آلودگی قرار دارند. از آنجائیکه درباره وضعیت پراکنش کادمیوم در شالیزارهای این منطقه اطلاعات دقیقی وجود ندارد، این تحقیق با هدف بررسی تغییرات مکانی کادمیوم که به‌عنوان یکی از فلزات سمی مطرح است، انجام گردید. بدین منظور، تعداد 90 نمونه خاک سطحی (0-20 سانتی‌متر) از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند pH، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، بافت خاک، ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مقدار کادمیوم کل و قابل‌جذب در نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. ضمناً تخمین مکانی داده‌ها از طریق روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی و کریجینگ بلوکی و با استفاده از GIS صورت گرفت. میانگین غلظت کادمیوم کل و قابل‌جذب در منطقه مطالعاتی به ترتیب 1/747 و 0/073 میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد که بالاتر از حدود استاندارد تعریف شده است و در کلاس آلودگی زیاد قرار دارد. نتایج آنالیزهای زمین‌آمار نشان داد که بهترین مدل تغییرنا برای داده‌های غلظت کادمیوم کل و قابل‌جذب، بترتیب نمایی و کروی بودند. بیشترین دامنه تاثیر برای کادمیوم کل و قابل‌جذب به ترتیب 1011 و 1050 متر و نسبت همبستگی در این دامنه برای هر دو ضعیف بود. ارزیابی پارامترهای ضریب همبستگی، MEE و RMSE نشان داد که هر دو روش کریجینگ در تخمین داده‌ها نسبت به داده‌های واقعی به‌نجو مطلوبی عمل نموده‌اند. همچنین بر اساس نتایج این مطالعه، فعالیت‌های انسانی از قبیل ورود فاضلاب‌های صنعتی و شهری به منابع آب‌رسانی و کاربرد بیش از اندازه کودها در افزایش غلظت کادمیوم در منطقه مطالعاتی تاثیر بسزایی داشته است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، کادمیوم، تغییرات مکانی، کریجینگ، شالیزار

مقدمه

در دهه‌های اخیر با پیشرفت انقلاب صنعتی در کشورهای در حال توسعه‌ای مانند ایران، شهرنشینی در اطراف قطب‌های صنعتی توسعه پیدا کرده است. تخلیه‌شدن فاضلاب در مناطق صنعتی و شهری امری بدیهی است (42) و امکانات زیادی را برای آلوده شدن خاک‌ها فراهم می‌آورد (4). بنابراین برای نیل به توسعه پایدار به‌ویژه در بخش کشاورزی، جمع‌آوری اطلاعات پایه زیست محیطی برای منابع حیاتی از جمله خاک ضروری است. در این میان، تحقیقاتی که بتواند توزیع مکانی فلزات را در خاک به‌صورت نقشه‌های کاربردی نشان دهد، می‌تواند از جنبه مدیریتی بسیار مفید باشد.

به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین مناطق آلوده، استفاده از روش‌های زمین‌آمار بسیار مفید می‌باشد (13). زمین‌آمار به روش‌هایی اطلاق می‌گردد که بر مبنای تئوری و متغیرهای ناحیه‌ای به‌وجود آمده و امکان تخمین و یا شبیه‌سازی مقادیر یک متغیر را در مکان خاص و به کمک اطلاعات موجود در اطراف آن فراهم می‌نماید (5). از روش‌های تخمین در

از مشکلات عمده زیست محیطی در عصر حاضر می‌توان آلاینده‌ها و از جمله فلزات سنگین را نام برد که به‌دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده دارند، بسیار مورد توجه می‌باشند (16 و 20). از متداول‌ترین فلزات آلاینده محیط زیست می‌توان کادمیوم را نام برد. کادمیوم در خاک به‌طور طبیعی از هوادیدگی شیمیایی مواد مادری حاصل گردیده و در بسیاری از مناطق نیز در اثر فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاری، دفع ضایعات، کاربرد کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات در منابع آب و خاک وارد می‌گردد (41). آلودگی خاک توسط کادمیوم به‌علت مسائل ایمنی غذایی، یک نگرانی جهانی است (22).

1 و 2- استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا

(Email: ghasemr@gmail.com)

* - نویسنده مسئول:

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری به روش تصادفی (6) و بر اساس منابع آلاینده ورودی در منطقه‌ای به وسعت 15 کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی $51^{\circ} 18' 33''$ و $51^{\circ} 25' 35''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ} 22' 57''$ و $32^{\circ} 21' 41''$ شمالی، از چهار منطقه شالی-کاری صورت گرفت: 1- زمین‌شهر (متاثر از کارخانه صنعتی ذوب آهن، فاضلاب شهری و زاینده‌رود) 2- چمگردان (متاثر از فاضلاب شهری و کارخانه صنعتی ذوب آهن) 3- ورنامخواست (متاثر از فاضلاب شهری) و 4- سده لنجان (متاثر از فاضلاب شهری و زاینده-رود). در مجموع 90 نمونه از عمق 0-20 سانتی‌متری خاک با فواصل 150 تا 500 متری برداشته شد و موقعیت آن‌ها توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت گردید (شکل 1). قابل ذکر است که در منطقه لنجان گندم، جو، سیب زمینی (در منطقه سده) و غیره نیز کشت می‌شود. همچنین به منظور بررسی تاثیر آلودگی کادمیوم ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی وارد شده به رودخانه زاینده‌رود و کانال‌های آبرسانی منطقه، از محل ورود آب‌هایی که وارد شالیزارها می‌شدند نیز نمونه‌برداری به عمل آمد. نقطه اول در مکانی بود که آب زاینده‌رود از بالادست زمین‌ها وارد مزارع می‌شد و منطقه دوم از کانالی بود که فاضلاب‌های شهری (عمدتاً جمع شده از منطقه سده لنجان) مستقیماً وارد کانال‌های آبرسانی مزارع می‌شدند که از هر منطقه 3 نمونه جمع‌آوری گردید.

نمونه‌های خاک هواخشک شد و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات خاک مانند بافت خاک بر پایه قانون استوکس و به روش هیدرومتر (10)، pH خاک، در عصاره 1:5 آب به خاک (38)، هدایت الکتریکی در عصاره 1:5 آب به خاک، به کمک دستگاه هدایت‌سنج در دمای 25 درجه سانتی‌گراد، (32)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (35)، ماده‌آلی به روش والکلی-بلک (33) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از روش استات آمونیوم اندازه‌گیری شد (33). غلظت کل (36) و قابل‌جذب (23) کادمیوم نیز پس از هضم اسیدی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی مدل واریان 220 اندازه‌گیری شد.

نرمال کردن داده‌ها

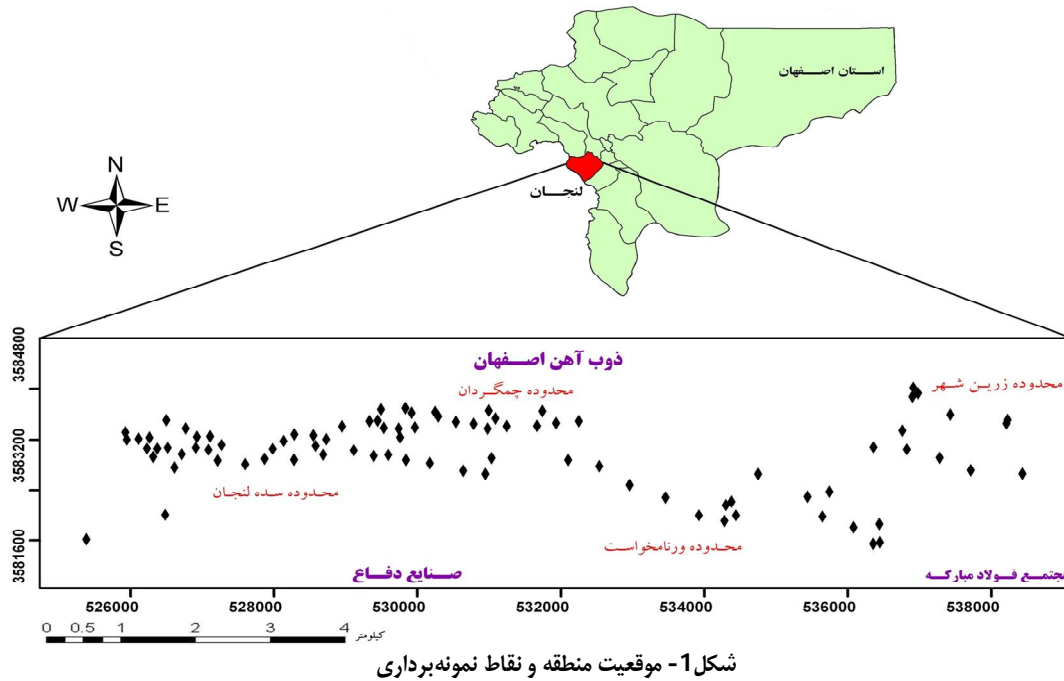
اولین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماري بررسی نرمال بودن داده‌هاست (5). روش‌های بررسی توزیع نرمال داده‌ها شامل رسم نمودارهای فراوانی، استفاده از پارامترهای آماری مانند ضریب چولگی و استفاده از آزمون‌های آماری مانند آزمون کلموگروف اسمیرنوف می‌باشند (3) که در این مطالعه هر سه روش مورد استفاده واقع شدند. در بین داده‌های کادمیوم کل، یک داده به صورت نامتعادل بود که از جمع داده‌ها حذف گردید.

زمین‌آمار می‌تواند کریجینگ را نام برد که برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک دارای پتانسیل بالایی می‌باشند (28). همچنین پراکنش مکانی آلودگی فلزات سنگین می‌تواند بر اساس تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه گردد. نقشه‌های تولید شده توسط GIS قادر است تمام اطلاعات را در یک فضای جغرافیایی به تصویر بکشد و برای ارزیابی کیفیت خاک در منطقه بکار برده شوند (25).

نخستین تجربه‌های بکارگیری زمین‌آمار در علوم خاک، بررسی تغییرات مکانی pH و میزان شن خاک توسط کمپیل در سال 1978 بود. شی و همکاران (34) تغییرات مکانی برخی فلزات سنگین را توسط فنون زمین‌آمار و GIS بکار بردند و از کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه‌های توزیع مکانی استفاده نمودند. ژانگ و همکاران (41) در تشخیص منابع فلزات سنگین در شهر فایانگ¹ چین نشان دادند که کادمیوم توسط عوامل بیرونی به خاک اضافه شده است؛ به طوری که 46/14 درصد از نمونه‌ها توسط کادمیوم از متوسط تا شدید آلوده شده بود. به علاوه، آنالیزهای مکانی نشان داد که کارخانه‌های مختلف از جمله کارخانه‌های ذوب فلزات در منطقه مورد مطالعه منابع اصلی غلظت کادمیوم در خاک‌ها می‌باشند.

در ایران اولین بار حاج رسولیها (18) در سال 1980 به منظور بررسی تغییرات مکانی شوری خاک از این روش استفاده نمود. در دهه‌های اخیر به دلیل صنعتی شدن استان اصفهان، تهیه نقشه‌های آلودگی خاک در مناطقی از این استان که پتانسیل آلوده شدن را دارند اجتناب‌ناپذیر است. تاکنون تحقیقاتی در خصوص توزیع مکانی فلزات سنگین در این استان صورت گرفته است. امینی و همکاران (9) با بررسی پراکنش مکانی عناصر سنگین در اصفهان دریافتند که خاک سطحی بیشتر مناطق مورد مطالعه توسط کادمیوم آلوده است. غلظت کادمیوم اندازه‌گیری شده در بیشتر از 80 درصد نمونه‌ها از مقدار مرجع سوئیس (17) بالاتر بود.

لنجان که شامل شهرهای مبارکه، زرین‌شهر و روستاهای این شهرهاست به‌عنوان قطب شالی‌کاری استان اصفهان در امتداد رودخانه زاینده‌رود و در مجاورت کارخانه‌های ذوب آهن و مجتمع فولاد مبارکه قرار دارد. با توجه به اهمیت و سابقه کشت محصولات در منطقه لنجان و از طرفی مجاورت آن با کارخانه‌های صنعتی و مصرف غیراصولی کودهای فسفاته، پتانسیل ورود و تجمع کادمیوم در خاک دور از انتظار نیست. با این وجود، تحقیقی که بتواند توزیع مکانی کادمیوم را در شالیزارهای منطقه لنجان به‌صورت کاربردی نشان دهد، در دسترس نیست. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی توزیع مکانی کادمیوم با استفاده از روش‌های زمین‌آماري و GIS صورت پذیرفت.



شکل 1- موقعیت منطقه و نقاط نمونه برداری

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که در این معادله $Z^*(x_0)$ و λ_i به ترتیب تخمین متغیر در نقطه X_0 و وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط X و n تعداد نمونه بکار رفته در کریجینگ است (5).

در کریجینگ معمولی² فرض می‌شود که مقدار میانگین مستقل از مختصات بوده و برای یافتن آن، شرط ناریب بودن و یا عاری بودن از خطای سیستماتیک طوری اعمال می‌شود که میانگین، بخشی از جواب مسئله باشد، ولی در کریجینگ بلوکی³ تخمین بدین گونه است که ناحیه مورد نظر را به بلوک‌های زیادی تفکیک کرده، سپس متوسط تمام نقاط برای محاسبه متوسط ناحیه در نظر گرفته می‌شود (6). هدف از تخمین توسط کریجینگ بلوکی، ارائه‌ی برآوردی از میانگین فرایند و یا پدیده‌ی مورد نظر در یک محدوده‌ی محلی، به جای یک نقطه، است (5). در مطالعه حاضر به منظور مقایسه دو روش میان‌بایی و دستیابی به یک روش تخمین مناسب‌تر، از کریجینگ بلوکی نیز استفاده گردید. ابعاد هر بلوک بصورت 2×2 در نظر گرفته شد.

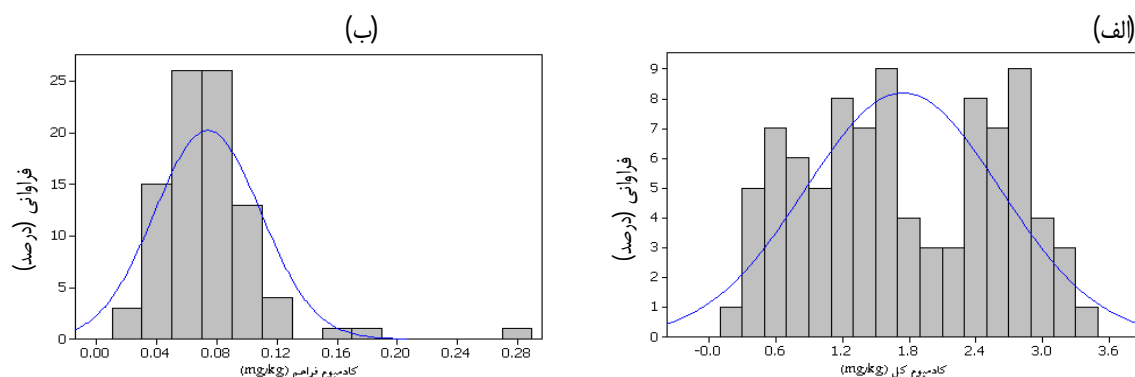
سپس توسط روش نرمال اسکور¹ توزیع داده‌ها نرمال گردید. ضریب تبیین بالای بدست آمده بین داده‌های تبدیل یافته با داده‌های اولیه ($r^2=0.98$)، و شکل توزیع یکنواخت آنها بیانگر توزیع مناسب داده‌های تبدیل یافته می‌باشد (37) که از طریق فرمول ($Y=1.102X - 1.926$) نیز، قابل تبدیل به یکدیگرند. در این معادله، Y نشان‌دهنده مقدار مشاهده شده و X نشان‌دهنده مقدار تخمین زده شده می‌باشد. این فرمول از همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و تبدیل یافته با روش مذکور حاصل شد. همچنین آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و نمودار توزیع فراوانی کادمیوم قابل جذب نشان داد که توزیع داده‌های آن نرمال نیست (شکل 2-ب) که با حذف چهار داده پرت و تبدیل لگاریتمی، نرمال گردیدند.

کریجینگ

درون‌بایی فرآیندی است که بر اساس تخمین مدل‌های آمار فضایی صورت می‌گیرد و طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. پیشرفته‌ترین تخمین‌گر آمار فضایی، روش کریجینگ است که این روش بر منطق "میانگین متحرک وزن‌دار" استوار می‌باشد (5). کریجینگ یک برآوردگر خطی به شکل زیر است:

2- Ordinary kriging
3- Block kriging

1- Normal Scores



شکل 2- نمودار توزیع فراوانی کادمیوم کل (الف) و کادمیوم قابل جذب (ب) در منطقه مورد مطالعه

می‌باشد. پاتل و همکاران (30) ذکر کردند که کاربرد کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی به افزایش شوری خاک منجر می‌گردد. همچنین بیشترین میزان ضریب چولگی و ضریب تغییرات مربوط به هدایت الکتریکی بود که نشان‌دهنده تغییرات عمده این پارامتر در اثر فعالیت‌های انسانی در منطقه است (40). زیرا آبیاری با آب آلوده یا کاربرد غیر اصولی کودها می‌تواند غلظت کل و فراهم فلزات در خاک را دچار تغییرات گسترده نماید و میزان ضریب تغییرات و توزیع غلظت فلزات را تحت تاثیر قرار دهد (34).

غلظت کادمیوم در کانال‌های آبرسانی

غلظت کادمیوم در آب رودخانه زاینده رود 0/005 میلی‌گرم بر لیتر و در فاضلاب‌های شهری وارد شده به کانال‌های آبرسانی 0/002 میلی‌گرم بر لیتر بود. غلظت کادمیوم در آب رودخانه در مقایسه با حد استاندارد (27) نزدیک به حد بحرانی برای مصارف آبیاری (0/01 میلی‌گرم بر لیتر) و آشامیدن (0/005 میلی‌گرم بر لیتر) بود و در فاضلاب شهری نیز غلظت آن زیر حد استاندارد بود. البته استفاده مستمر، می‌تواند باعث تجمع این فلز در خاک گردد. تحقیقات نشان داده که کاربرد دراز مدت پساب‌های شهری و فاضلاب‌های صنعتی در اراضی زراعی باعث افزایش غلظت کادمیوم به مقدار چندین برابر حد مجاز در خاک و محصولات زراعی شده است (7).

غلظت کادمیوم کل در منطقه مورد مطالعه

دامنه تغییرات غلظت کادمیوم کل 3/185 به ترتیب با کمینه و بیشینه 0/275 و 3/46 و میانگین 1/747 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول 2). منطقه سده لنجان نیز با بالاترین میانگین 2/363 میلی‌گرم بر کیلوگرم و منطقه ورنامخواست با کمترین میانگین 0/628 میلی‌گرم بر کیلوگرم میزان کادمیوم را به خود اختصاص دادند. بیشترین غلظت کادمیوم کل بدست آمده در سده لنجان بوده که در

روش و معیار ارزیابی

به منظور ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی می‌توان به روش مجذور میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) و ضریب همبستگی بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده‌ای (r^2) و میانگین خطای تخمین (MEE) اشاره نمود (5). برای محاسبه از معادلات ذیل استفاده می‌شود:

$$MEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z - Z^*)^2} \quad (4)$$

که در این معادلات، Z مقدار متغیر در نقاط نمونه برداری شده و Z^* مقدار تخمین زده شده متغیر می‌باشد. از نظر تئوری هر گاه این دو معیار برابر صفر شوند یعنی مقدار تخمین زده شده با کمیت واقعی دقیقاً برابر است.

نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها

خلاصه‌ای از وضعیت آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول 1 نشان داده شده است. تمام خصوصیات خاک‌های مورد بررسی با 3 تکرار انجام گردید تا دقت لازم اعمال گردد. pH خاک‌ها در منطقه مطالعاتی کمی قلیائی با میانگین 7/68 بوده و مقدار ماده آلی با میانگین 2/49 درصد بدست آمد. دلیل وجود مقدار نسبتاً بالای ماده آلی در خاکهای منطقه، استفاده بیش از حد و غیراصولی از کودهای حیوانی توسط کشاورزان محلی می‌باشد. میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک 20/81 سانتی‌مول بر کیلوگرم و میانگین کربنات کلسیم معادل در منطقه 24/8 درصد بود. حداکثر مقدار هدایت الکتریکی در منطقه سده لنجان برابر با 3/2 دسی‌زیمنس بر متر بود که احتمالاً به دلیل افراط در کاربرد کودهای شیمیایی

بر کیلوگرم و مقادیر کمینه و بیشینه آن نیز به ترتیب 0/02 و 0/276 میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. کادمیوم قابل جذب نسبت به کادمیوم کل دارای ضریب تغییرات بیشتری بود. این بدین معنی است که غلظت کادمیوم قابل جذب در سطح منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییرات بیشتری است. منطقه سده لنجان علاوه بر داشتن حداکثر میزان کادمیوم کل (2/36 میلی‌گرم بر کیلوگرم)، بیشترین میزان کادمیوم قابل جذب را نیز دارا بود (0/0783 میلی‌گرم بر کیلوگرم) که البته تفاوت آن از لحاظ آماری (توسط آزمون دانکن در سطح 0/05) نسبت به سایر مناطق معنی‌دار نشد.

علی‌رغم اینکه در منطقه ورنامخواست کادمیوم کل کمتر از منطقه زرین‌شهر بود ولی کادمیوم قابل جذب بیشتری را نشان داد، که می‌تواند به علت بیشتر بودن ماده‌آلی، درصد رس و سیلت در منطقه ورنامخواست باشد، زیرا کادمیوم قابل جذب با ماده‌آلی (در سطح 1 درصد) و رس (در سطح 5 درصد) همبستگی معنی‌دار و مثبتی (جدول 5) دارد (41). آکوستا و همکاران (8) مقدار کادمیوم قابل جذب در شهر مورسیا در جنوب شرقی اسپانیا را بسیار بالا عنوان کردند.

کلاس آلودگی خیلی زیاد (14) قرار می‌گیرد (جدول 3). با توجه به مساحت نسبتاً کم و یکسان بودن مواد مادری در منطقه مطالعاتی، می‌توان بالاتر بودن میزان کادمیوم را به سیستم کشت این منطقه (سده لنجان) که علاوه بر برنج غالباً سیب‌زمینی است که نیاز به مصرف بالای کودهای حیوانی و کود فسفاته دارد، ارتباط داد. در منطقه لنجان، مصرف کودها بر اساس سلیقه کشاورزان بوده و معیار علمی ندارد. بنابراین با توجه به ناهمگن بودن استفاده از این کودها انتظار می‌رود که میزان انباشت کادمیوم ناهمگن و در برخی از اراضی دارای تنوع زیاد باشد. امینی و همکاران (1) میزان ورود کادمیوم از طریق استفاده از کودهای فسفاته را 1/4 گرم در هکتار در سال و میانگین نرخ ورود کادمیوم از طریق کاربرد لجن فاضلاب را 0/12 گرم در هکتار در سال محاسبه نمودند. بنابراین کاربرد کودها از مهمترین مسیره‌های ورود کادمیوم در منطقه مطالعاتی بوده است.

غلظت کادمیوم قابل جذب در منطقه مورد مطالعه

نتایج آمار توصیفی غلظت کادمیوم قابل جذب در جدول 4 دیده می‌شود. میانگین غلظت کادمیوم قابل جذب در خاک 0/073 میلی‌گرم

جدول 1- پارامترهای آماری ویژگی‌های خاک

متغیر	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضرایب آماری		درصد تغییرات
						چولگی	کشیدگی	
pH (1:5)	-	7/68	7/025	8/24	0/18	-0/04	1/7	2/3
EC (1:5)	dSm ⁻¹	0/49	0/152	3/27	0/4	3/9	19/1	90/8
CEC	Cmolkg ⁻¹	20/81	10/10	47/56	6/71	1/9	4/9	32/2
کربنات کلسیم معادل	(%)	24/8	17/91	36/83	3/94	1/03	1/3	15/9
ماده‌آلی	(%)	2/49	0/76	4/14	0/6	-0/2	-0/14	27/4
رس	(%)	23	16	31	3/8	0/06	-0/78	16/4
سیلت	(%)	34	16	48	5/8	-0/3	0/44	17/5
شن	(%)	43	27	57	7/2	-0/2	-0/48	16/7

جدول 2- توصیف آماری کادمیوم کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

منطقه	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	ضرایب آماری		درصد تغییرات
							چولگی	کشیدگی	
زرین شهر	19	0/42	3/27	1/32	0/51	0/71	1/28	1/12	54/1
سده لنجان	47	0/95	3/46	2/36	0/35	0/59	2/45	-0/59	25/07
ورنامخواست	10	0/27	0/98	0/62	0/06	0/24	0/62	-0/12	39/2
چمگردان	14	0/37	1/57	1/05	0/15	0/39	1/14	-0/44	37/4
کل	90	0/27	3/46	1/74	0/76	0/87	1/61	0/06	50/2

جدول 3- کلاس‌های آلودگی کادمیوم (غلظت بر حسب میکروگرم بر گرم) (14)

غیرآلوده	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد	آلودگی خیلی زیاد
0/3	1	2	3	5

جدول 4- توصیف آماری کادمیوم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)

منطقه	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	انحراف معیار	میان	ضرایب آماری		ضریب تغییرات
								چولگی	کشییدگی	
زرین شهر	19	0/02	0/27	0/06	0/003	0/055	0/056	3/17	11/58	82/59
سده لنجان	47	0/02	0/18	0/078	0/001	0/032	0/074	1/02	2/01	40/85
ورنامخواست	10	0/05	0/108	0/076	0/0003	0/019	0/076	0/3	-1/35	25/19
چمگردان	14	0/03	0/08	0/064	0/0001	0/014	0/067	-0/45	-0/27	21/72
کل	90	0/02	0/27	0/073	0/001	0/035	0/070	2/55	11/7	48/09

جدول 5- ضریب همبستگی بین کادمیوم کل و قابل جذب با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

رس	سیلت	شن	ظرفیت تبادل کاتیونی	EC (dsm ⁻¹)	pH	ماده آلی (%)	آهک (%)	
0/061	-0/034	-0/0043	0/0576	0/0417	0/0407	0/163	-0/27**	کادمیوم کل
0/22*	0/19	-0/27**	0/337**	0/532**	-0/052	0/532**	-0/23*	کادمیوم قابل جذب
							0/05	* - رابطه معنی دار در سطح
							**	- رابطه معنی دار در سطح 0/01

می باشد (27).

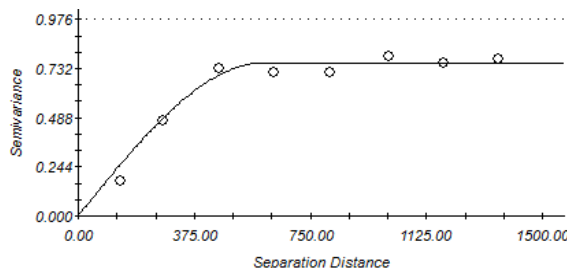
همسانگردی و ناهمسانگردی

ترسیم تغییرنمای همه جهته برای عنصر مورد مطالعه نشان داد که توزیع کادمیوم کل در منطقه دارای همسانگردی (شکل 3) و توزیع کادمیوم قابل جذب دارای ناهمسانگردی است. برای فاکتورهای دارای ناهمسانگردی، تغییرنما در چهار جهت (صفر، 45، 90 و 135 درجه) به صورت جداگانه و توسط نرم افزار GS⁺ و Variowin صورت گرفت. برای کادمیوم کل، مدل نمایی بهترین مدل برازش داده شده تشخیص داده شد.

بهترین مدل برازش داده شده بر واریوگرام همه جهته غلظت کادمیوم کل به همراه پارامترهای آن، در جدول 6 نشان داده شده است. داده‌های کادمیوم کل در منطقه مطالعاتی تا دامنه 1011 متری دارای همبستگی مکانی بوده و در فراتر از آن مستقل از یکدیگرند. کارانلیک و همکاران (21) نیز در تحقیقی روی توزیع مکانی کادمیوم در خاکهای ترکیه در مقیاسی بزرگ، دامنه تاثیر را برای کادمیوم کل 5800 متر بدست آوردند.

آنها در تحقیق خود نتیجه گرفتند که قابلیت جذب کادمیوم به مقدار زیادی تحت تاثیر مقدار ماده آلی است، بطوریکه با افزایش مقدار ماده آلی خاک غلظت قابل جذب این عنصر افزایش یافت. در تحقیق حاضر همبستگی غلظت کادمیوم کل با ماده آلی معنی دار نگردید که در این ارتباط می توان نقش فعالیتهای انسانی را نسبت به مواد مادری در غلظت کادمیوم در منطقه مورد مطالعه موثرتر دانست (41). با توجه به جدول 5، کادمیوم فراهم با هدایت الکتریکی همبستگی مثبت و معنی داری را نشان داد. محققان گزارش کردند که افزایش شوری خاک تاثیر مثبتی بر زیست‌فراهمی کادمیوم دارد، بنحوی که برای گیاه بیشتر در دسترس قرار می گیرد و این امر احتمالاً به دلیل کاهش جذب کادمیوم توسط ذرات خاک می باشد (26).

از طرفی ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به منابع آبرسانی (زاینده رود و کانال‌های آبرسانی مزارع) در منطقه مورد مطالعه در بالا بردن زیست‌فراهمی کادمیوم تاثیر بسزایی دارند (24). برای مثال پورمقدس (2) در بررسی غلظت فلزات در آب چاههای منطقه زرین شهر نتیجه گرفت که غلظت کادمیوم محلول (قابل جذب) در آب این چاهها به میزان 0/04-0/015 میلی گرم بر لیتر بوده که حدود 1/5 تا 4 برابر بیشتر از حد استاندارد آن در آبها (0/01 میلی گرم بر لیتر)



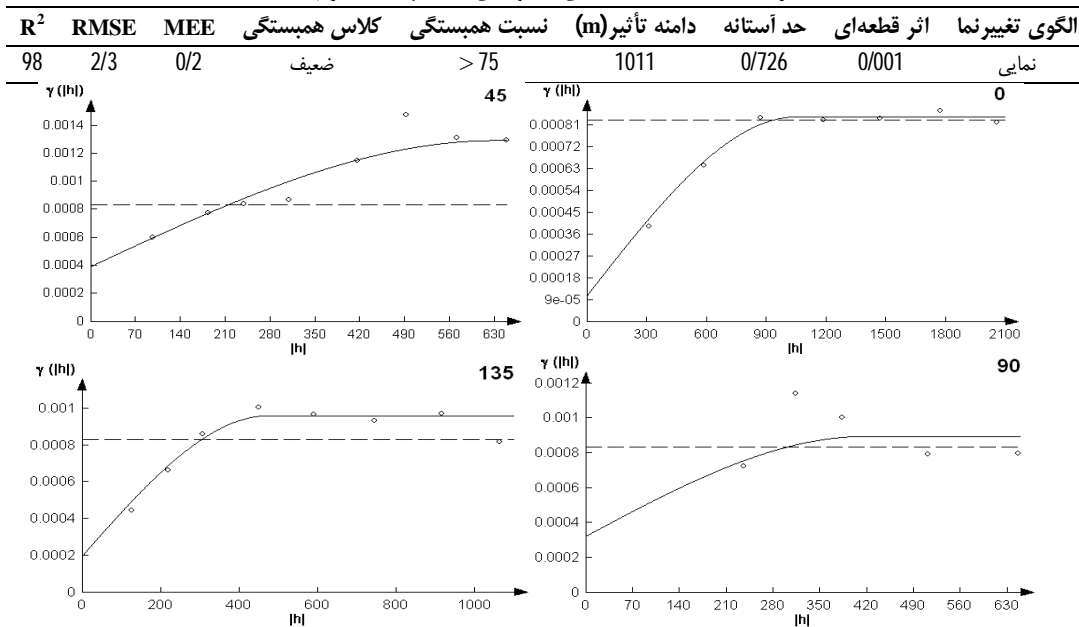
شکل 3- تغییرنمای همه جهته کادمیوم کل

پارامترهای مدل‌های منطبق بر تغییرنماهای ترسیم شده نیز در جدول 7 آورده شده است. با توجه به نتایج جدول، داده‌های کادمیوم قابل‌جذب دارای ناهمسانگردی بوده که قطر بزرگ بیضی ناهمسانگردی در امتداد صفر درجه و قطر کوچک آن در امتداد 90 درجه می‌باشد.

دامنه تاثیر تغییرنماهای جهتی برای کادمیوم قابل‌جذب از 418/1 متر در زاویه 90 درجه تا 1050 متر در زاویه صفر درجه متغیر است. کلاس همبستگی مکانی برای کادمیوم قابل‌جذب در جهت صفر درجه ضعیف و برای بقیه جهات متوسط بود. همچنین برای داده‌های کادمیوم قابل‌جذب در تمام جهات، مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده تشخیص داده شد. کارانلیک و همکاران (21) در بررسی غلظت کادمیوم قابل‌جذب دامنه تاثیر آن را در عمق صفر تا 20 سانتی‌متری خاک به میزان 18690 متر بدست آوردند و مدل نمایی را بعنوان بهترین مدل برازش داده شده معرفی نمودند.

به‌منظور تعیین کلاس‌های مختلف وابستگی مکانی متغیرهای خاک و محصول، از نسبت بین واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل استفاده می‌شود، که نسبت همبستگی نامیده می‌شود و معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌گردد. واریانس اثر قطعه‌ای به‌صورت درصدی از واریانس کل بیان شده و بدین وسیله می‌توان مقایسه‌ای در ارتباط با بزرگی اثر قطعه‌ای بین خصوصیات مختلف خاک و محصول انجام داد (11). چنانچه این نسبت کمتر از 25 درصد گردد نشان دهنده وابستگی مکانی قوی می‌باشد و اگر این نسبت بین 25 تا 75 درصد قرار گیرد بیانگر وابستگی مکانی متوسط و چنانچه این نسبت بزرگ‌تر از 75 درصد گردد نشان دهنده وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود. وابستگی مکانی قوی نشان‌دهنده تاثیر فاکتورهای ذاتی خاک و وابستگی مکانی ضعیف نشان‌دهنده تاثیر فعالیتهای انسانی در غلظت عنصر مورد نظر است (31). شکل 4 تغییرنماهای جهتی ترسیم شده در امتدادهای مختلف برای کادمیوم قابل‌جذب را نشان می‌دهد.

جدول 6- مشخصات مدل‌های تغییرنمای همه‌جهته کادمیوم کل



شکل 4- تغییرنماهای امتدادی کادمیوم قابل‌جذب برای امتدادهای مختلف (صفر، 45، 90 و 135 درجه)

جدول 7- مشخصات مدل‌های تغییرنمای کادمیوم قابل‌جذب در منطقه مورد مطالعه

امتداد	زاویه تحمل	الگوی تغییرنما	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (m)	نسبت همبستگی	کلاس همبستگی	MEE	RMSE
0	22/5	کروی	0/0001	0/00073	1050	> 75	ضعیف	0/009	0/091
45	22/5	کروی	0/00039	0/0009	630/5	56	متوسط	0/009	0/092
90	22/5	کروی	0/00032	0/00057	418/1	43	متوسط	0/009	0/092
135	22/5	کروی	0/00019	0/00076	473	74	متوسط	0/009	0/093

نقشه‌های پراکنش مکانی

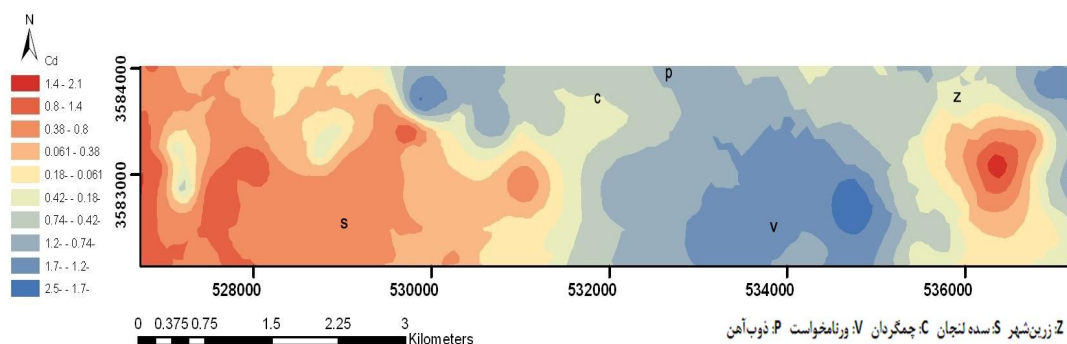
در این مطالعه از کریجینگ معمولی (به کمک نرم‌افزار ArcGIS 9.3) و کریجینگ بلوکی (به کمک نرم‌افزار GS+) به منظور ترسیم نقشه‌های پراکنش مکانی استفاده گردید. جدول 8 نتایج مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ معمولی و بلوکی را برای کادمیوم کل نشان می‌دهد. ضریب پیرسون محاسبه شده بین مقدار واقعی داده‌ها و مقدار تخمین زده شده توسط کریجینگ معمولی و کریجینگ بلوکی تقریباً یکسان است. در هر دو کریجینگ، انحراف استاندارد کاهش یافته است (در کریجینگ معمولی 0/25 واحد و در بلوکی

0/27 واحد). شکل‌های 5 و 6 نقشه پراکنش مکانی کادمیوم کل که از کریجینگ معمولی و بلوکی حاصل شده را نشان می‌دهند. میانگین کادمیوم کل در تمام منطقه 1/74 میلی گرم بر کیلوگرم بود. اریکالد و همکاران (15) طی مطالعه‌ای نتیجه گرفتند که مقادیر بیشتر از 0/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم می‌تواند تاثیر انسانی را در سطح‌الارض بیان کند. همچنین کلاس همبستگی ضعیف بدست آمده برای کادمیوم کل نشان دهنده این است که کادمیوم از طریق منابع بیرونی وارد خاک گردیده است.

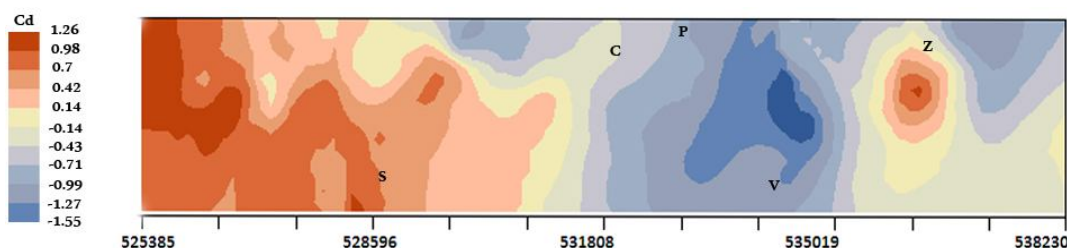
جدول 8- مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ معمولی و بلوکی برای کادمیوم کل

معیار	داده‌های واقعی	معمولی	بلوکی
تعداد	89	89	89
میانگین	-0/027	-0/048	-0/027
انحراف معیار	0/95	0/7	0/68
میان	-0/01	-0/03	-0/055
حداقل	-2/46	-1/51	-1/43
حداکثر	1/2	1/37	1/39
MEE	-	0/25	0/48
RMSE	-	2/38	4/59
ضریب پیرسون	-	0/71*	0/70*

* - رابطه معنی‌دار در سطح 0/0001



شکل 5- پراکنش کادمیوم کل در منطقه با استفاده از کریجینگ معمولی

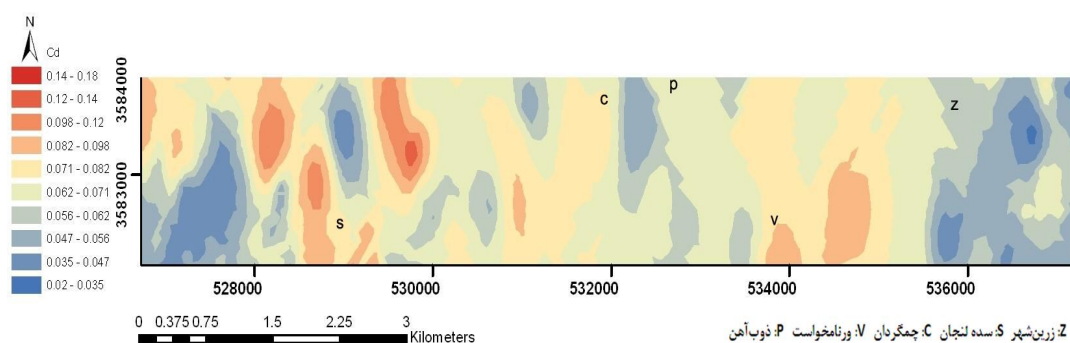


شکل 6- پراکنش کادمیوم کل در منطقه با استفاده از کریجینگ بلوکی

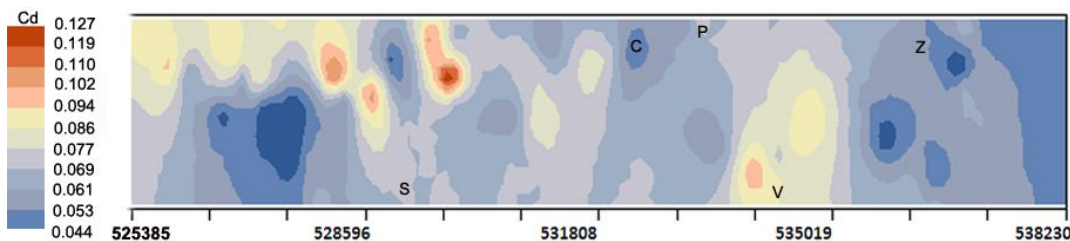
جدول 9- مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ معمولی و بلوکی برای کادمیوم قابل جذب با داده‌های واقعی

معیار	داده‌های واقعی	معمولی	بلوکی
تعداد	86	86	86
میانگین	0/07	0/07	0/07
انحراف معیار	0/026	0/015	0/014
میانه	0/07	0/07	0/07
حداقل	0/02	0/03	0/03
حداکثر	0/18	0/13	0/13
MEE	-	0/019	0/018
RMSE	-	0/18	0/17
ضریب پیرسون	-	0/23*	0/25**

* - رابطه معنی‌دار در سطح 0/05، ** - رابطه معنی‌دار در سطح 0/01



شکل 7- پراکنش کادمیوم قابل جذب در منطقه با استفاده از کریجینگ معمولی



شکل 8- پراکنش کادمیوم قابل جذب در منطقه با استفاده از کریجینگ بلوکی

کریجینگ معمولی و بلوکی نشان می‌دهند، منطقه سده لنجان بیشترین غلظت‌های کادمیوم قابل جذب را به خود اختصاص داد که علت آن بیشتر بودن کادمیوم کل و میزان ماده‌آلی در این منطقه است (8).

تفاوت در شیوه‌های کشت و مدیریت می‌تواند در حد بالایی روی تحرک فلزات سنگین مانند کادمیوم تاثیر گذار باشد. از آنجائیکه مزارع شالیزاری در شرایط غرقاب اداره می‌شوند، و آب بیش از اندازه در خاک وجود دارد، میزان آبشویی افزایش یافته و عناصری مانند کادمیوم که به سهولت قابل حل است و احتمالاً آن جزئی از کادمیوم که در فاز محلول و تبادلی است و یا پیوند ضعیفی دارد از طریق آب زهکشی انتقال می‌یابند. بنابراین غلظت‌های متفاوت کادمیوم قابل

جدول 9 نتایج مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ معمولی و بلوکی را برای کادمیوم قابل جذب نشان می‌دهد. در هر دو کریجینگ مقدار میانگین خطای تخمین نزدیک به صفر بود و مقدار RMSE نیز حداقل مقدار بود. ضریب پیرسون محاسبه شده بین مقدار واقعی داده‌ها و مقدار تخمین زده شده کادمیوم قابل جذب توسط کریجینگ معمولی و بلوکی تقریباً یکسان بود. در هر دو کریجینگ، انحراف استاندارد به نصف کاهش یافت که این نشان می‌دهد که کریجینگ اثر پیرایشی¹ داشته است. شکل‌های 7 و 8 پراکنش مکانی کادمیوم قابل جذب را توسط

1- Modification

نمود. لذا بمنظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی در مناطقی که شکل هندسی خاصی نداشته باشند و روش نمونه‌برداری نیز بصورت تصادفی باشد، روش کریجینگ معمولی پیشنهاد می‌گردد. با توجه به استانداردهای موجود میزان کادمیوم کل در منطقه مورد مطالعه دارای کلاس آلودگی زیاد بود، همچنین با توجه به اینکه غلظت قابل دسترس آن نیز بالاست بنابراین توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. تفاوت در شیوه‌های مدیریتی و کاربری اراضی و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر منطقه می‌تواند در ذخیره و فراهم بودن کادمیوم تاثیر گذار باشد. همچنین با توجه به سنجش و نتایج غلظت فلزات بدست آمده از آب رودخانه و کانال‌های آبرسانی منطقه که دریافت کننده فاضلاب‌های صنعتی و شهری بودند، علت بالا بودن کادمیوم به‌میزان بیش از حد استاندارد را می‌توان مربوط به فعالیت‌های انسانی در طولانی مدت عنوان کرد.

جذب در خاک‌های شالیزاری احتمالاً بخاطر تلفات کادمیوم به‌آسانی قابل حل، از طریق فرآیندهای زهکشی است (39). اما کاربرد مدیریت غیراصولی در ارتباط با استفاده از کودها، بخصوص کودهای فسفاته در طولانی مدت می‌تواند دلیل تفاوت غلظت کادمیوم کل در مناطق مطالعه شده باشد. زیرا تحقیقات نشان داده‌اند که کادمیوم، کاتیون موجود در اغلب خاک‌های کود داده شده است (19).

نتیجه‌گیری

کریجینگ معمولی و کریجینگ بلوکی هر دو در تخمین داده‌ها به‌خوبی عمل نمودند و همبستگی داده‌های تخمین زده شده توسط آنها با داده‌های واقعی، بطور معنی‌دار آنرا تأیید می‌کند. در این ارتباط کریجینگ معمولی نسبت به کریجینگ بلوکی بهتر عمل نموده است. از دلایل آن می‌توان روش نمونه‌برداری تصادفی در این مطالعه را ذکر

منابع

- 1- امینی م.، افیونی م. و خادمی ح. 1385. مدل‌سازی توازن جرمی عناصر کادمیوم و سرب در زمین‌های زراعی منطقه اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی 10: 77-89.
- 2- پورمقدس ح. 1381. بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه لنجان اصفهان. مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی 1: 40-31.
- 3- حسنی پاک ع.ا. 1377. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.
- 4- صدر س.، افیونی م. و فتحیان پور ن. 1388. تغییرات مکانی آرسنیک در اراضی با کاربردهای مختلف در استان اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک 13: 65-75.
- 5- محمدی ج. 1385. پدومتری (آمار مکانی). جلد دوم، انتشارات پلک.
- 6- مدنی ح. 1373. مبانی زمین‌آمار. چاپ اول، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش.
- 7- یارقلی ب.، عظیمی ع.ا.، باغوند ا.، عباسی ف.، لیاقت ع. و اسداله فردی غ. 1388. بررسی جذب و تجمع کادمیوم در اندام‌های مختلف محصولات گدماهی در خاک‌های آلوده. مجله آب و فاضلاب 4: 60-70.
- 8- Acosta J.A., Jansen B., Kalbitz K., Faz A. and Martinez-Martinez S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemo, 07.046.
- 9- 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 Environ. 347: 64-77.
- 10- Bauyos G.J. 1962. Hydrometer methods improved for making particle size of soils. Agron. J. 56: 464-465.
- 11- Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F. and Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 58:1501- 1511.
- 12- Campbell J.B. 1978. Spatial Variation of sand content and pH within single contiguous delineation of two soil mapping units. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 460-464.
- 13- Cetin M. and Kirda C. 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. J. Hydro. 272: 238-249.
- 14- Duce R.A., Hoffman G.L. and Zoller W.H. 1975. Atmospheric trace elements at remote northern and southern hemisphere sites, pollution or natural. Science, 187: 59-61.
- 15- Errecalde M.F., Boluda R., Lagarda M.J. and Farre R. 1991. Indices de contamination por metals pesados en suelos de cultivo intensive: application en la comarca Horca (Valencia). Sueloy Planta 1: 483-494.
- 16- Facchinelli A., Sacchi E. and Mallen L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environ Pollut 114: 313-324.
- 17- FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape). 1987. Commentary on the ordinance relating to pollutants in soils (VSBo of June 9, 1986), Bern.
- 18- Hajrasulih S., Baniabbassi N., Metthey J. and Nielsen D.R. 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in southwest Iran. Irrig Sci. 1: 197-208.

- 19- Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York. PP 534.
- 20- Kalavrouziotis I.K., Koukoulakis P. and Kostakioti E. 2012. Assessment of metal transfer factor under irrigation with treated municipal Wastewater. *Agri Water Manag.* 103: 114– 119.
- 21- Karanlık S., A˘gca N. and Yalçın M. 2010. Spatial distribution of heavy metals content in soils of Amik Plain (Hatay, Turkey). *Environ Monit Assess*, 10.1007/s10661-010-1380-0.
- 22- Li J.T., Qiu J.W., Wang X.W., Zhong Y., Lan C.Y. and Shu W.S. 2006. Cadmium contamination in orchard soils and fruit trees and its potential health risk in Guangzhou, China. *Geod.* 143: 159–165.
- 23- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- 24- Liu W.X., Shen L.F., Liu J.W., Wang Y.W. and Li S.R. 2007. Uptake of Toxic Heavy Metals by Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivated in the Agricultural Soil near Zhengzhou City, People's Republic of China. *Bull Environ Contam Toxicol*, 79:209–213.
- 25- Mahmut C., Eiliv S., Viladimirovna F.M., Eidhammer S.T. and Svetlana D. 2005. Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace region Turkey. *Environ Monit and Assess*, 119, 545–556.
- 26- Manousaki E. and Kalogerakis N. 2009. Phytoextraction of Pb and Cd by the Mediterranean saltbush (*Atriplex halimus* L.): metal uptake in relation to salinity. *Environ Sci Pollut Res.* 16: 844–854.
- 27- Montgomery J.M. 1985. *Water Treatment, Principles and design.* John Wiley & sons. Inc.
- 28- Morton-Bermea O., Hernandez-Alvarez E., Guzman-Morales R.L.J. and Martinez G. 2010. Spatial Distribution of Heavy Metals in Top Soils around the Industrial Facilities of Cromatos de Mexico, Tultitlan Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol.* 85: 520-524.
- 29- Page A.L., Logan T., and Ryan J. 1987. *Land Application of Sludge.* Lewis publishers, Chelsea, MI.
- 30- Patel R.M., Prasher S.O. and Bonnell R.B. 2000. Effects of watertable depth, irrigation water salinity, and fertilizer application on root zone salt buildup. *Canad Agri Engin*, 42 (3): 111-115.
- 31- Quine T.A. and Zhang Y. 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon. U.K. *J. Soil and Water Conservation.* 57: 50-60.
- 32- Rodes J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *Method of soil analysis, parts: chemical methods.* Madison. Wisconsin, USA. Pp: 417-436.
- 33- Rowell D.L. 1994. *Soil Science: Method and Application.* Longman Group, Harlow, 345 p.
- 34- Shi J., Wang H., Xu J., Wu J., Liu X., Zhu H. and Yu Ch. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environ Geo*, 52:1–10.
- 35- Sims J.T. 1996. Lime requirement method of soil analysis, parts: chemical methods. Madison, Wisconsin. USA. pp: 491.
- 36- Sposito G., Lund J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
- 37- Thomas A.R.Jr. and Brian L.J. 1976. *Normal Probability Plots and Tests for Normality.* Statistics Department, the Pennsylvania State University.
- 38- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity in methods of soil analysis. Klute, A. (ed). Part3. *Chemical methods.* Madison, Wisconsin, USA. Pp: 475-490.
- 39- Wong S.C., Li X.D., G. Zhang S.H.Q. and Min Y.S. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environ Pollut*, 119: 33–44.
- 40- Wu Ch., Luo Y. and Zhang L. 2010. Variability of copper availability in paddy fields in relation to selected soil properties in southeast China. *Geod* 156: 200–206.
- 41- Zhang X.Y., Lin F.F., Wong M.T.F., Feng X.L. and Wang K. 2009. Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assessment of Fuyang County, China. *Environ Monit Assess*, 154: 439- 449.
- 42- Zhao Y.F., Shi X.Zh., Huang B., Yu D.Sh., Wang H.J., Sun W.X., Oboern I. and Blomback K. 2007. Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based pre-urban area in Wuxi, China. *Pedo*, 17(1): 44-51.



Spatial Distribution of Cadmium in Paddy Soils Southwest of Isfahan Using Geostatistics and GIS

Gh. Rahimi^{1*} - A. Charkhabi²

Received: 09-04-2013

Accepted: 01-09-2013

Abstract

The paddy soils in Lenjan area exposed to pollution owing to uncontrolled discharge of sewage sludge, wastewater and unessential fertilizers. Little information exists on Cadmium (Cd) distribution in paddy soils of Isfahan Province, this study was therefore investigated the spatial variability of cadmium which is considered as the most toxic metals. 90 soil samples (0-20 cm) were collected from study area. Soil properties such as pH, EC, calcium carbonate equivalent, soil texture, organic matter and cation exchange capacity were measured. The total and available Cd concentrations of soil samples analyzed by atomic absorption spectrophotometer. In addition, estimation of spatial data performed via kriging interpolation method (ordinary and blocky kriging) and by GIS. The total and available concentration of Cd in the study area were averagely 1.747 and 0.073 mgkg⁻¹ respectively, which were much higher than the standard limit and classified in high pollution. Geostatistical analysis result was shown that exponential and spherical models for the total and available Cd concentration were best model, respectively. The most effective range of total and available Cd was 1011 and 1050 meter respectively and correlation ratio was weak in this range. Evaluation of correlation coefficient, MEE and RMSE parameters showed that both methods of kriging for data estimation in comparison with real data had acted in an appropriate manner. The result also showed that human activities such as industrial and urban wastewater entering to the water resources and application of excessive fertilizers had an impact on cadmium concentrations significantly.

Keywords: Pollution, Cadmium, Spatial Variability, Kriging, Rice paddies

1,2- Assistant Professor and MSc Graduated of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

(* - Corresponding Author Email: ghasemr@gmail.com)