



تغییر پذیری مکانی غلظت کادمیم در خاک و بذر گندمزارهای استان خوزستان

علیرضا جعفرنژادی^۱، مهدی همایی^{۲*}، غلامعباس صیاد^۳ و محمد بای بوردی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکتری و استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران،
۳- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۱۳)

چکیده

عناصر سنگین به ویژه کادمیم، از راه خاک و گیاه وارد زنجیره غذایی انسان می‌شوند. شناخت مکان‌ها و محصولات آلوده به این عنصر، نقش مهمی در کاهش گسترش گزند ناشی از این آلاینده دارد. با توجه به نقش گندم در زنجیره غذایی انسان، هدف از این پژوهش تعیین توزیع مکانی غلظت کادمیم در خاک مزارع و بذر گندم بود. بدین منظور، در دوره رسیدگی گندم، تعداد ۲۵۵ مزرعه در کل استان خوزستان (با مساحت حدود ۳۵۵ هزار هکتار) برداشت شد. نمونه‌برداری از گندمزارها در شهرستان‌های مختلف به صورت وزنی انجام شد. بدین صورت که تعداد نمونه‌ها در هر شهرستان با توجه به سطح زیر کشت و نیز الگوی پراکنش مزارع گندم انتخاب شد. سپس، نمونه‌برداری مرکب از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک و سنبله گیاه صورت گرفت. غلظت کل و قابل‌عصاره‌گیری کادمیم با DTPA در خاک و نیز غلظت کادمیم بذر اندازه‌گیری شد. توزیع مکانی غلظت کادمیم در خاک و بذر گندم نیز با استفاده از روش زمین‌آماري کریجینگ نرمال تعیین شد. نتایج نشان داد که غلظت کادمیم کل خاک در ۹۵ درصد از نمونه‌ها بیشتر از ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت کادمیم قابل جذب خاک در ۲۵ درصد از نمونه‌ها بیشتر از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. غلظت کادمیم موجود در بذر گندم در ۹۵ درصد از نمونه‌ها نیز بیش از ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر به دست آمد. مطالعه نیم تغییرنماهای حاصل نشان داد که مدل کروی بهترین برازش را بر مقادیر کادمیم خاک و بذر دارد. توزیع مکانی کادمیم کل خاک با استفاده از روش کریجینگ نرمال نشان داد که مناطق جنوبی و غربی استان، دارای غلظت زیادی از کادمیم هستند. توزیع مکانی کادمیم قابل جذب نیز در مناطق شرقی و جنوبی استان غلظت‌های بیشتری داشت. پراکنش مکانی کادمیم موجود در بذر گندم، زیاد بودن غلظت این عنصر را در مناطق شرقی، غربی و برخی از مناطق جنوبی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، توزیع مکانی، کادمیم، کریجینگ، گندم

مقدمه

افزایش مقادیر عناصر سنگین به ویژه کادمیم در محیط زیست از مهم‌ترین مشکلات کنونی جامعه جهانی است (Norvell *et al.*, 2000). به همین دلیل، پژوهش‌هایی پرشمار در ارتباط با نقش عناصر سنگین در ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و ورود آن‌ها به چرخه غذایی انسان و دام صورت گرفته است (Davari *et al.*, 2010; Asadi Kapourchal *et al.*, 2011; Babaeian *et al.*, 2012; Jafarnejadi *et al.*, 2012). در ایران نیز پژوهش‌هایی فراوان هم پیرامون آلاینده‌های آلی (Nouri *et al.*, 2013; 2014) و هم آلاینده‌های معدنی (Babaeian and Homae, 2011; Dalalian and Homae, 2011; Arabi *et al.*, 2011; Davari and Homae, 2012) انجام شده است. بیشتر این پژوهش‌ها بر امکان آلودگی‌زدایی خاک‌ها با استفاده از گیاهان بیش‌اندوز متمرکز بوده‌اند (Arabi *et al.*, 2009; Babaeian and Homae, 2011). این پژوهش‌ها بر این نکته اتفاق نظر دارند که پالایش گیاهی هر چند روشی نسبتاً مؤثر برای آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است، لیکن گیاهانی که در چنین خاک‌هایی کشت می‌شوند، به هیچ عنوان نباید وارد چرخه غذایی انسان و دام شوند (Khodaverdiloo and Homae, 2009; Asadi Kapourchal *et al.*, 2008). به رغم گستردگی این پژوهش‌ها، متأسفانه تحقیقات بسیار اندکی درباره ورود عناصر سنگین خطرناکی همچون کادمیم به غلات به عنوان غذای اصلی ایرانیان صورت گرفته است.

کادمیم عنصری است که به سرعت در چرخه‌های زیست محیطی جابجا می‌شود. این عنصر به سهولت از منابع کشاورزی و صنعتی وارد زنجیره غذایی انسان شده و باعث ایجاد مشکلات جدی برای سلامتی انسان می‌شود. جذب این عنصر به وسیله گیاهان و ورود آن به بدن انسان، به زیست‌فراهمی کادمیم در خاک بستگی دارد (Yong, 2001). اگرچه ارزیابی مقدار کادمیم کل در خاک به عنوان یک شاخص آلودگی مفید است، اما زیست‌فراهمی، تحرک و واکنش کادمیم در خاک را نشان نمی‌دهد (Cao *et al.*, 1984; Walter *et al.*, 2002). بنابراین، اندازه‌گیری مقادیر کل و قابل جذب عناصر سنگین برای ارزیابی وضعیت این فلزات در خاک، جذب آن‌ها به وسیله گیاهان و خطرات ناشی از آن‌ها بسیار

مفیدتر است (Wang, 1999). دامنه تغییرات غلظت کادمیم کل، در خاک‌های غیر آلوده ۰/۱ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین شده است (Pais and Jones, 1997). اما حد بحرانی کادمیم قابل جذب خاک در منابع ذکر نشده و بسته به نوع گیاه تعیین می‌شود (Amini *et al.*, 2005).

گیاهان، یکی از منابع مهم ورود کادمیم به زنجیره غذایی می‌باشند. میزان جذب این عنصر به وسیله گیاهان متفاوت است. گندم به عنوان یک گیاه مهم در سبد غذایی، نقش مهمی در سلامت جامعه دارد. مطالعات نشان داده که این گیاه (به ویژه گندم رقم دوروم) بیشتر از سایر غلات (چاودار، جو، یولاف) قادر به جذب کادمیم است (Jansson, 2002). در اروپا حد مجاز این عنصر در دانه گندم ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر تعیین شده است.

آگاهی از تغییرات مکانی کادمیم برای توصیه‌های مدیریتی مؤثر در خاک‌های کشاورزی ضروری است (Norvell *et al.*, 2000). در مطالعات متعددی پراکنش مکانی آلاینده‌ها در مقیاس وسیع، برای ارزیابی و تعیین آلودگی خاک و گیاه استفاده شده است (Cattle *et al.*, 2002). امروزه از روش‌های زمین‌آمار برای تعیین توزیع مکانی کادمیم در کاربری‌های مختلف استفاده می‌شود (Mohammadi, 2006; Dai *et al.*, 2007). در پژوهشی، توزیع مکانی کادمیم خاک با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ شاخص در کاربری‌های مختلف استان اصفهان ارزیابی و میزان کادمیم خاک‌های غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز تشخیص داده شد (Amini *et al.*, 2005). در مطالعه دیگری، با ارزیابی آلودگی خاک‌های منطقه اصفهان با استفاده از روش تلفیقی منطق فازی و تخمین‌گر کریجینگ با برازش مدل‌های کروی و نمایی، نقشه پهنه‌بندی آلودگی منطقه تهیه شد (Mohammadi, 1998).

مطالعات محدودی در مورد وضعیت آلودگی کادمیم در خاک و بذر گندم در مقیاس وسیع انجام شده است. با توجه به اهمیت گندم در سبد غذایی جامعه و نیز اثر زیست‌فراهمی کادمیم در خاک با میزان جذب گیاه، بررسی پراکنش مکانی کادمیم در خاک و بذر گندم ضرورت دارد. این پژوهش با هدف بررسی توزیع مکانی کادمیم خاک (کل و قابل جذب) و بذر گندم و تعیین ارتباط بین این خصوصیات در مزارع گندم استان

خوزستان اجرا شد.

در نمونه‌های خاک، غلظت کادمیم کل (Sposito *et al.*, 1982) و قابل جذب (قابل عصاره‌گیری با DTPA) (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد. غلظت کادمیم بذر گندم به وسیله هضم با اسید نیتریک و آب اکسیژنه تعیین شد. در عصاره‌های تهیه شده، غلظت کادمیم کل خاک به وسیله دستگاه جذب اتمی و غلظت کادمیم قابل جذب خاک و کادمیم بذر به وسیله دستگاه کوره گرافیتی اندازه‌گیری شد.

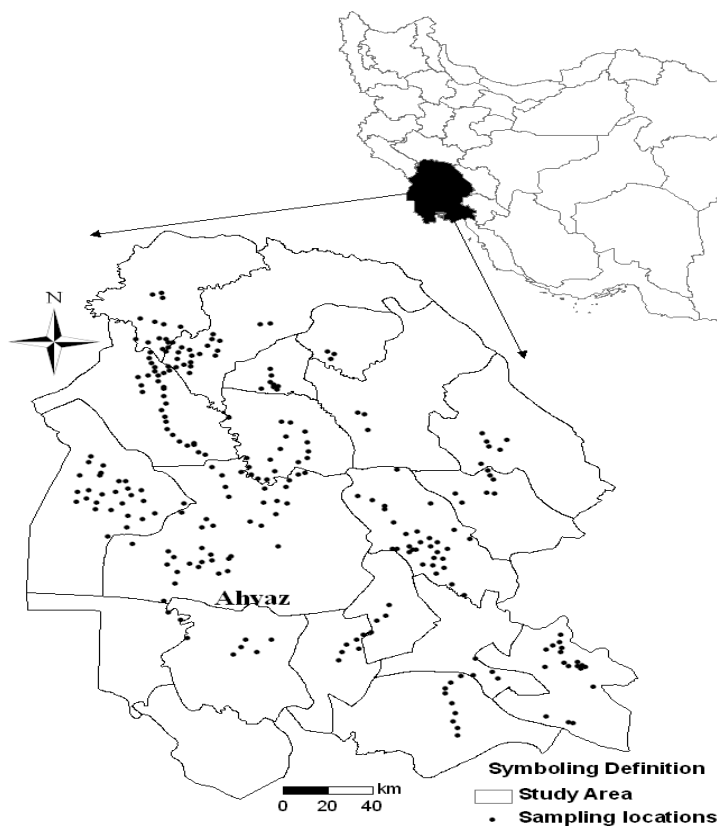
برای مطالعه تغییرپذیری مکانی نیاز به رسم نیم‌تغییرنما می‌باشد. نیم‌تغییرنما، الگوی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای ($Z(x_i)$) مانند غلظت آلاینده‌ها (در این مطالعه کادمیم) را نشان می‌دهد. در حقیقت محاسبه نیم‌تغییرنما ($\gamma(h)$) با استفاده از رابطه (۱)، میانگین نامتجانس بودن بین داده‌های جدا از هم را محاسبه می‌کند.

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

در این رابطه (x_i) موقعیت متغیر و (h) مقدار گام بین زوج نقاط است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزارع گندم استان خوزستان در سطحی به وسعت ۳۵۵ هزار هکتار در محدوده $40^{\circ}47'$ تا $33^{\circ}50'$ طول شرقی و $29^{\circ}57'$ تا $33^{\circ}57'$ عرض شمالی در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ انجام شد (شکل ۱). در حدود دوره رسیدگی گندم از تعداد ۲۵۵ مزرعه گندم در کل استان نمونه برداری انجام شد. نمونه‌برداری با توجه به سطح زیر کشت هر منطقه و نیز الگوی پراکنش مزارع (به ازای هر ۱۴۰۰ هکتار یک جفت نمونه مرکب از خاک و گیاه) با استفاده از دستگاه GPS و به صورت وزنی صورت گرفت. در هر مکان، نمونه‌های مرکب بذر و خاک از مزارع مذکور تهیه شد. در هر مزرعه با استفاده از کادر یک متر مربعی، تعداد ۱۵ نمونه سنبله گندم از نقاط مختلف به‌طور تصادفی برداشت و پس از مخلوط نمودن، نمونه مرکب گندم تهیه شد. نمونه‌برداری خاک نیز از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری انجام و پس از مخلوط نمودن، حدود یک کیلوگرم خاک به صورت مرکب تهیه شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1. The study area and sampling locations.

نتایج و بحث

معرفی داده‌ها و توصیف آماری

خلاصه نتایج توصیف آماری مربوط به متغیرهای کادمیم کل، کادمیم قابل جذب و غلظت کادمیم موجود در بذر گندم در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که غلظت کادمیم بذر دارای توزیع تقریباً نرمال با چولگی ۱/۲، کشیدگی ۱/۷ و میانگین ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

میانگین غلظت کادمیم کل و قابل جذب در خاک به ترتیب ۱/۴۷ و ۰/۰۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد. نتایج حاصل با مقادیر این متغیرها در خاک‌های تحت کشت در مرکز ایران بسیار نزدیک است (Amini et al., 2005). توزیع غلظت کادمیم کل و قابل جذب و بذر در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل توزیع غلظت کادمیم کل در خاک و بذر گندم نرمال ولی کادمیم قابل جذب دارای چولگی مثبت است.

مقایسه غلظت کادمیم در خاک و بذر منطقه

مورد مطالعه

مقایسه تجزیه واریانس مقادیر غلظت کادمیم قابل جذب و کادمیم بذر گندم در مناطق مختلف در شکل (۳) نشان داده شده است. اعمال مدیریت‌های متفاوت و تنوع خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) بین مقادیر این دو متغیر در مکان‌های مختلف شده است. مقادیر غلظت کادمیم بذر در ۹۵ درصد نمونه‌ها بیشتر از ۰/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بذر و غلظت کادمیم قابل جذب در ۲۵ درصد نمونه‌ها بیشتر از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بدست آمد. بیشترین میزان غلظت کادمیم قابل جذب و بذر در شرق منطقه مورد مطالعه (ایذه و باغ‌ملک) بدست آمد. این موضوع، نشان دهنده همبستگی بین مقادیر کادمیم موجود در بذر و کادمیم قابل جذب در خاک است.

نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین این دو متغیر رابطه این دو متغیر ($r=0/57^*$) را معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) نشان داد. علت بالا بودن غلظت کادمیم (قابل جذب و بذر) در این مناطق، شاید به دلیل غالب بودن تناوب برنج-گندم-برنج در این مناطق و اثر شرایط احيایی خاک بر افزایش حلالیت کادمیم است. همچنین، گندم دوروم که توانایی جذب کادمیم بیشتری نسبت به

بعد از محاسبه نیم‌تغییرنما، برای مطالعه پراکنش مکانی و تخمین مقدار متغیر در نقاط فاقد نمونه، مدل تئوری مناسب بر نیم‌تغییرنما برازش داده شد. برازش بهینه ساختار تغییرپذیری مکانی و انتخاب مدل تئوری مناسب متغیرهای مورد مطالعه، بر کیفیت نتایج حاصل از تخمین‌گرهای زمین‌آماری اثر دارد (Mohammadi, 2006). در این مطالعه مدل تئوری کروی (Goovaerts, 1999)، مناسب‌ترین برازش را نشان داد. برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی کریجینگ، توزیع داده‌ها ترسیم و وضعیت نرمال بودن آن‌ها بررسی شد. چون توزیع کادمیم قابل جذب دارای چولگی مثبت بود، با استفاده از روش جذرگیری، توزیع آن نرمال شد. با توجه به توزیع نرمال داده‌ها، از روش کریجینگ نرمال برای میان‌یابی استفاده شد (Goovaerts, 1999).

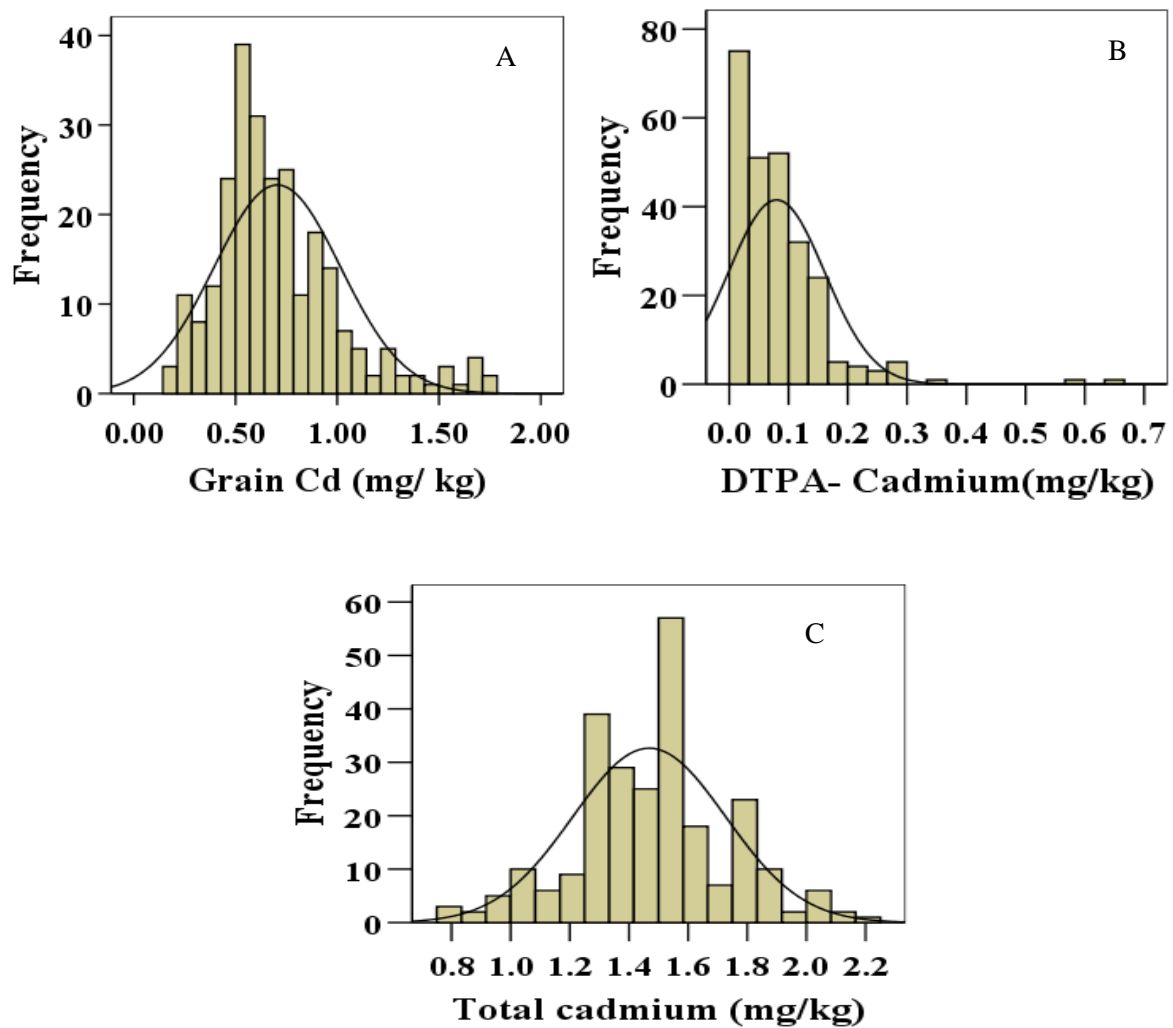
$$z_0^* = \sum_{i=1}^n w_i \times z_i \quad (2)$$

در رابطه (۲) z_0^* مقدار تخمین متغیر Z در نقطه x_0 و w_i فاکتور وزنی نقاط معلوم در اطراف نقطه مجهول می‌باشند. برای تعیین بهترین مدل تئوری و تعیین مناسب‌ترین شعاع همبستگی و کاهش واریانس روش کریجینگ از روش ارزیابی تقاطعی (Cross-validation) استفاده شد (Davis, 1987; Olea, 1999). همچنین برای ارزیابی بهترین نیم‌تغییرنمای تئوری از آماره‌های میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده شد (روابط ۳ و ۴).

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)] \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)| \quad (4)$$

هرچه مقادیر آماره‌های میانگین انحراف خطا و میانگین قدر مطلق خطا کمتر و به صفر نزدیک‌تر است، دقت آن مدل بالاتر خواهد بود.



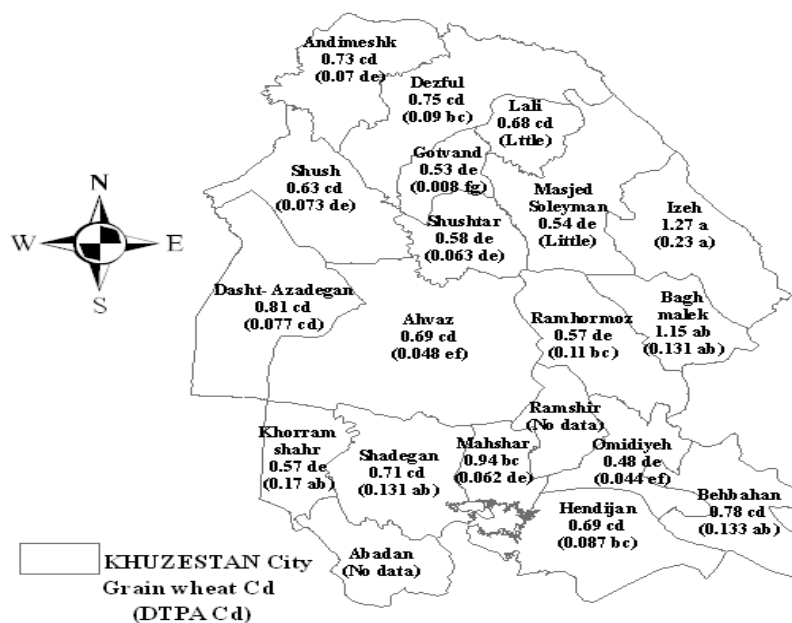
شکل ۲- توزیع غلظت کادمیم بذر (A)، کادمیم قابل جذب (B) و کادمیم کل خاک (C) در خاک مزارع گندم.

Figure 2. Distribution of grain Cd concentration (A), DTPA-extractable Cd (b) and total Cd concentration (C) of wheat farm soils.

جدول ۱- توصیف آماری کادمیم بذر، کادمیم کل و کادمیم قابل جذب خاک (n= 266)

Table 1. Descriptive statistics of the grain Cd, total Cd and DTPA-extractable Cd concentration (n=266)

آماره Statistic	کادمیم کل Total Cd	کادمیم قابل جذب Uptake Cd	کادمیم بذر Grain Cd
mg.kg ⁻¹			
(Mean) میانگین	1.47	0.08	0.70
(Standard deviation) انحراف معیار	0.26	0.06	0.31
(Skewness) چولگی	0.03	1.30	1.20
(Kurtosis) کشیدگی	0.24	2.40	1.70



شکل ۳- مقادیر کادمیم بذر و قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم) در مناطق مورد مطالعه.
Figure 3. Post map of total and DTPA-extractable Cd concentrations (mg.kg^{-1}) at different regions of the province.

حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level.

است. مقایسه مقادیر آماره‌های میانگین انحراف خطا و میانگین قدر مطلق خطا برای مدل‌های مختلف نشان داد که مدل کروی، بهترین برازش را برای خصوصیات مورد مطالعه دارد. با توجه به این که توزیع کادمیم قابل جذب دارای چولگی مثبت بود، برای نرمال کردن توزیع، از روش جذرگیری استفاده شد. بررسی نتایج نیم‌تغییرنمای‌های حاصل نشان داد، روند تغییرات این خصوصیات تا حدود زیادی با هم مشابه است. در این نمودارها میزان اثرات قطعه‌ای ناچیز و تغییرات آن بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲ بود. مطالعه نیم‌تغییرهای حاصل نشان داد که با افزایش فاصله، مقدار واریانس در دامنه ۱۱۵ تا ۱۳۶ کیلومتر روندی صعودی داشته و بعد از این فاصله روند نزولی را نشان داد. این موضوع بیانگر عدم وجود پیوستگی و ساختار مکانی در این فواصل است.

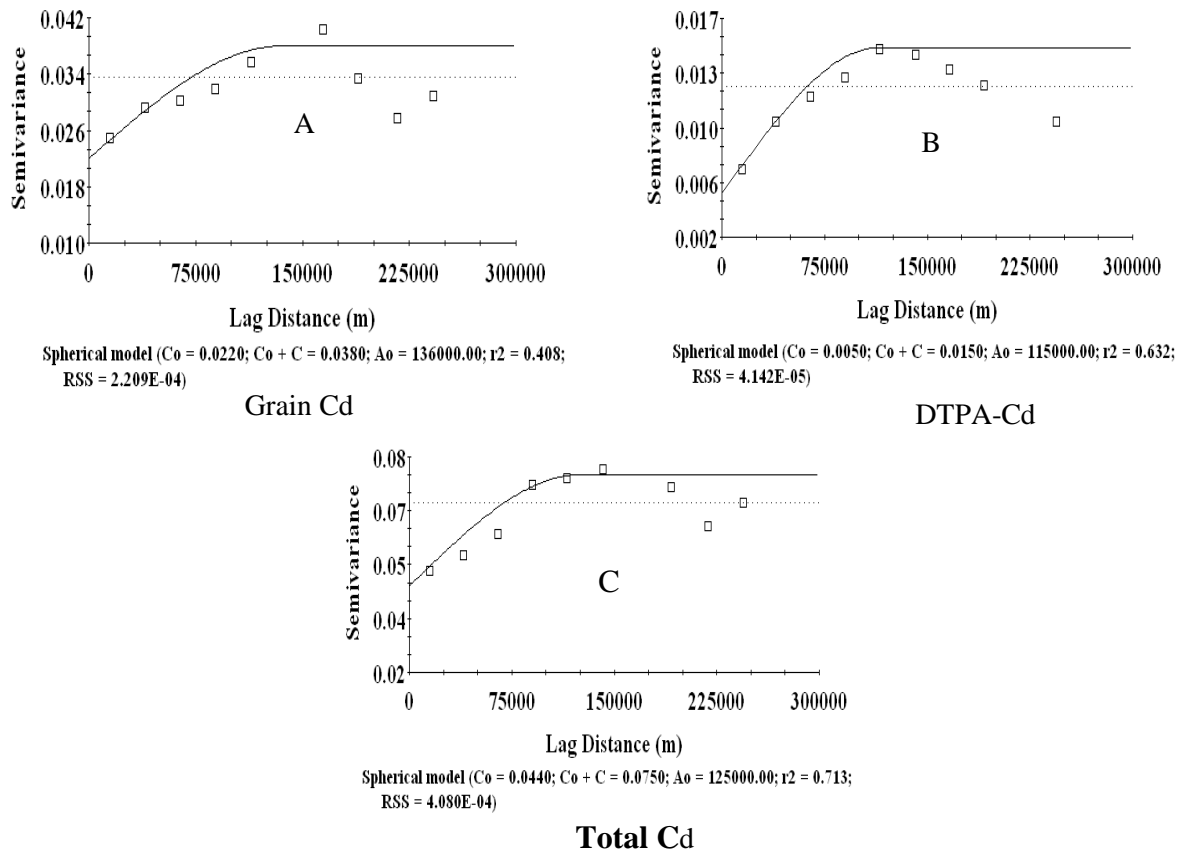
بررسی مدل‌های برازش داده شده خصوصیات مورد مطالعه نشان داد، که به ترتیب ۴۱، ۶۳ و ۷۰ درصد تغییرات مربوط به کادمیم بذر، کادمیم قابل جذب و کادمیم کل را بیان می‌کنند. سایر تغییرات، مربوط به تاثیر دیگر عوامل مؤثر بر این خصوصیات می‌باشند.

گندم نان دارد، در بیشتر مزارع این مناطق کشت می‌شود (Hart et al., 1998).

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های خاک نشان داد که بیشترین مقادیر غلظت کادمیم کل خاک به میزان ۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، در مناطق جنوبی (شادگان و هندیجان) و کمترین مقدار آن در شرق منطقه مورد مطالعه (ایذه) به میزان ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. در این پژوهش، رابطه معنی‌داری (در سطح ۰/۵٪) بین غلظت کادمیم در بذر و غلظت کادمیم کل خاک وجود نداشت ($r = -0/3$) به طوری که بیشترین غلظت کادمیم بذر در خاک‌های با میزان کم کادمیم کل تعیین شد. همچنین مقدار ضریب همبستگی پیرسن برای دو متغیر کادمیم قابل جذب و کادمیم کل خاک معنی‌داری (سطح ۵ درصد) نشد.

ارزیابی نیم‌تغییرنمای‌های کادمیم خاک و بذر گندم

ارزیابی توزیع مکانی متغیرهای مختلف، بستگی به نیم‌تغییرنمای ترسیم شده دارد. در این پژوهش نیم‌تغییرنمای سه متغیر غلظت کادمیم کل، کادمیم قابل جذب و کادمیم بذر در شکل (۴) نشان داده شده



شکل ۴- نیم تغییرنمای تئوری (مدل کروی) کادمیم بذر (A)، کادمیم قابل جذب (B) و کادمیم کل (C).
Figure 4. Semivariograms for the grain Cd (A), DTPA-extractable Cd (B) and total Cd (C).

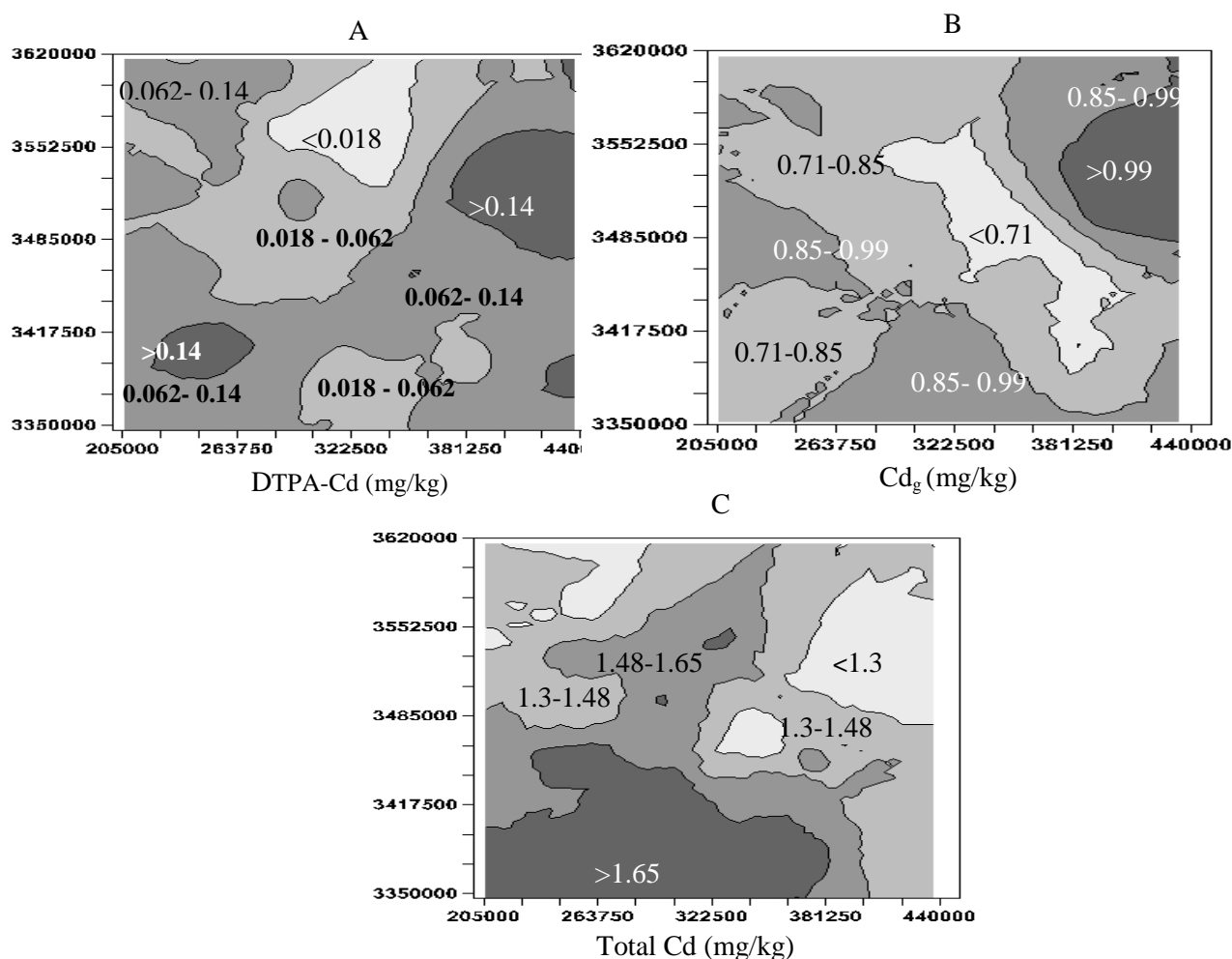
می‌دهد (شکل ۵). با دقت در نقشه‌های کادمیم بذر و کادمیم قابل جذب (شکل ۵)، می‌توان همبستگی بین این دو خصوصیت را کاملاً ملاحظه کرد. به عبارت ساده تر می‌توان گفت که در مناطقی که میزان کادمیم قابل جذب خاک بیشتر است، در همان مناطق نیز میزان کادمیم موجود در بذر نیز افزایش یافته است. اگرچه مقادیر کادمیم کل خاک در بعضی از مناطق (جنوبی و غربی) با میزان کادمیم قابل جذب هم‌خوانی دارد، ولی در مناطق با میزان کم این متغیر (مناطق شرقی)، بیشترین میزان آلودگی موجود در بذر اندازه‌گیری شد. بنابراین می‌توان گفت اهمیت میزان کادمیم قابل جذب، در مشخص شدن آلودگی یک منطقه از میزان کادمیم کل به مراتب بیشتر است (Walter *et al.*, 2002).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فعالیت‌های کشاورزی به طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت کادمیم بذر و خاک‌های سطحی مزارع گندم شده است. غلظت کادمیم کل و قابل جذب در خاک به ترتیب در ۹۵ و ۲۵

ارزیابی توزیع مکانی کادمیم خاک و بذر در منطقه مورد مطالعه

نقشه‌های مقادیر کادمیم کل، قابل جذب و بذر گندم در شکل (۵) نشان داده شده است. برای بدست آوردن مقادیر میان‌یابی شده در محدوده مورد مطالعه، از روش کریجینگ نقطه‌ای استفاده شد. بر اساس نقشه‌های موجود در شکل (۵)، توزیع و پراکنش این خصوصیات، روندی تصادفی نداشته و دارای ساختار مکانی می‌باشند.

به عبارت دیگر، توزیع این خصوصیات، در مناطق مشخص (عمدتاً در مناطق شرقی و جنوبی) دارای وضعیت تقریباً مشابه‌ای است. بررسی نتایج پراکنش غلظت کادمیم موجود در بذر نشان داد که بیشترین غلظت کادمیم، در بذور مناطق شرقی (بیشتر از ۰/۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) تجمع یافته و با حرکت به سمت مرکز، از مقدار کادمیم (کمتر از ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) کاسته می‌شود. همچنین مقادیر کادمیم بذر (۰/۷-۰/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در مناطق جنوبی و غربی مجدداً افزایش را نشان



شکل ۵- نقشه‌های پراکنش کادمیم قابل جذب (A)، کادمیم بذر (B) و کادمیم کل (C) در منطقه مورد مطالعه.
Figure 5. Map distribution for the DTPA-extractable Cd (A), grain Cd (B) and total Cd (C) in studied area.

نشان داد. نتایج این پژوهش نشان داد که خطر آلودگی کادمیم در مناطق شرقی و جنوبی استان جدی بوده و نیازمند مدیریت مناسب در این مناطق است. تحقیقات آینده در این زمینه، باید به بررسی علل افزایش غلظت کادمیم در مناطق شرقی و جنوبی استان بپردازد.

درصد نمونه‌ها، بیشتر از مقادیر مجاز بود. همچنین میزان کادمیم در ۹۵ درصد از نمونه‌های بذر گندم، بیشتر از ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. غلظت کادمیم بذر گندم با کادمیم کل خاک ارتباطی نداشت، در حالی که با کادمیم قابل جذب همبستگی معنی‌داری (در سطح احتمال ۰/۵)

References

- Amini, M., Khademi, H., Afyuni, M. and Abbaspour, K. C. 2005. Variability of available cadmium in relation to soil properties and land use in an arid region in Central Iran. *Water Air and Soil Pollution Journal* (162): 205-218.
- Arabi, Z., Homae, M. and Asadi, M. E. 2009. Enhancing bioavailability of lead for phytoremediation of contaminated soils. *Journal of Plant Science Researches* 4 (2): 27-34. (In Persian).
- Arabi, Z., Homae, M. and Asadi, M. E. 2011. Comparison effects of citric acid and synthetic chelators in enhancing phytoremediation of cadmium. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 14 (54): 85-95. (In Persian).
- Asadi Kapourchal, S., Eisazadeh Lazarjan, S. and Homae, M. 2011. Phytoremediation of cadmium polluted soils from phosphorus fertilizers. *Current Opinion in Biotechnology* 225: S15-S152.

- Asadi Kapourchal, So., Asadi Kapourchal, Sa., Pazira, E. and M. Homae.** 2009. Assessing radish potential for phytoremediation of lead- polluted soils resulting from air pollution. **Plant Soil and Environment** 55 (5):202-206.
- Babaeian, E. and Homae, M.** 2011. Enhancing lead phytoextraction of land cress (*Barbara verna*) using aminopolycarboxylic acids. **Journal of Water and Soil** 24 (6): 1142-1150. (In Persian).
- Babaeian, E., Homae, M. and Rahnemaie, R.** 2012. Enhancing phytoextraction of lead contaminated soils by carrot (*Daucus carota*) using synthetic and natural chelates. **Journal of Water and Soil** 26 (3): 607-618. (In Persian).
- Cattle, J. A., McBratney A. B. and Minasny, B.** 2002. Kriging method evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination. **Journal of Environmental Quality** (31): 1576-1588.
- Dai, M-X., Shi, R-G., Zhao, Y-J., Liu, F-Z., Zhou, Q-X. and Zhou, N-H.** 2007. Spatial variability of soil cadmium in Luxian agriculture area, Sichuan province. **Journal of Agro-Environmental Science** 26 (3): 1093-1099.
- Dalalian, M. R. and Homae, M.** 2011. Simulating of phytoremediation time of cadmium and copper spiked soils by *Salvia Sclarea*. **Water and Soil Science** 20 (4): 129-141. (In Persian).
- Davari, M., Homae, M. and Khodaverdiloo, H.** 2010. Modeling Phytoremediation of Ni and Cd from contaminated soils using macroscopic transpiration reduction function. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science** 14 (52): 75-84. (In Persian).
- Davari, M. and Homae, M.** 2012. A new yield multiplicative model for simultaneous phytoextraction of Ni and Cd from contaminated soils. **Journal of Water and Soil** 25 (6): 1332-1343. (In Persian).
- Davis, B. M.** 1987. Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. **Mathematical Geology** (19): 241-248.
- Goovaerts, P.** 1999. Geostatistics in soil science: State of the art and perspectives. **Geoderma** (89): 1-45.
- Khodaverdiloo, H. and Homae, M.** 2008. Modeling cadmium and lead phytoextraction from contaminated soils. **Polish Journal of Soil Science** XLI (2): 149-162.
- Hart, J. J., Welch, R. M., Norvell, W. A., Sullivan, L. A. and Kochian, L.V.** 1998. Characterization of cadmium binding, uptake and translocation in intact grain of bread and durum wheat cultivars. **Plant Physiology** (116): 1413-1420.
- Jafarnejadi, A. R., Homae, M., Sayyad, Gh. A. and Bybordi, M.** 2012. Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan province. **Journal of Water and Soil Conservation** 19 (2): 149-164. (In Persian).
- Jansson, G.** 2002. Cadmium in arable crops, the influence of soil factors and liming. Ph.D. Dissertation, Department of Soil Sciences, The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, ISBN 91-576-6192-8.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A.** 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of American Journal** 42: 421-428.
- Mohammadi, J.** 2006. Pedometrics 2: Spatial statistics. Pelk Publishers, Tehran, Iran. (In Persian).
- Mohammadi, J.** 1998. Geostatistical mapping of environmental soil hazardous. Proceeding of Fourth Iranian International Statistic Conference, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. pp: 42-43. (In Persian).
- Norvell, W. A., Wu, J., Hopkins, D. G. and Welch, R. M.** 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. **Soil Science Society of American Journal** 64: 2162-2168.
- Nouri, M., Homae, M. and Bybordi, M.** 2012. Parametric assessment of soil hydraulic functions at presence of Kerosene contaminant. **Journal of Soil and Water Resources Conservation** 2(1): 37-48. (In Persian).
- Nouri, M., Homae, M. and Bybordi, M.** 2013. Parametric assessment of soil retention at presence of petroleum in three-phase system. **Journal of Soil and Water Resources Conservation** 2(2):15-24. (In Persian).

- Nouri, M., Homae, M. and Bybordi, M. 2014.** Comparing petroleum and water hydraulic properties in soil. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science** 17 (66): 123-134. (In Persian).
- Olea, R. A. 1999.** Geostatistics for engineers and earth scientists. Kluwer Academic Publishers, London, UK.
- Pais, I. J. and Jones, B. 1997.** The handbook of trace element. Lucie Press, Boca Raton, Florida. 223 p.
- Sposito, G., Lund, L. 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 soil phases. **Soil Science Society of American Journal** 46: 260-264.
- Walter, I., Martinez, F., Alonso, L., de Gracia, J. and Cuevas, G. 2002.** Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application to agricultural soil. **Environmental Pollution** 117: 315-321.
- Wang, H. K. 1999.** Heavy metal pollution in soils and its remedial measures and restoration in Mainland China. In: Huang, P. M. and Iskander, I. K. (Eds.). Soils and groundwater pollution and remediation. Lewis, USA.
- Yong, R. 2001.** Geoenvironmental engineering, contaminated soils. Pollutant Fate Mitigation. CRC Press, LIC, USA.

Cadmium spatial variability of soil and grain wheat farms of Khuzestan province

Alireza Jafarnejadi¹, Mehdi Homae^{2*}, Gholamabbas Sayyad³ and Mohammad Bybordi²

1 and 2. Ph. D. Graduated Student and Prof., respectively, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 3. Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz

(Received: May 4, 2013- Accepted: November 4, 2013)

Abstract

Heavy metals particularly cadmium (Cd) enter in food chain through soil and plants. Therefore, determining spatial variability of Cd concentration in soil and crops is important to manage adverse effects of Cd on environment. This research was conducted to assess the spatial variability of soil and wheat grain Cd in large farms. A number of 255 farms in Khuzestan province (355000 ha) at wheat maturity stage were sampled, using an irregular weighting sampling scheme. In each region, the density of samples was chosen according to the area and spatial distribution of the wheat farms. Pair compound soil (0-20 cm) and grain samples were taken from each wheat farm. The Cd concentrations in soil (total and DTPA-extractable) and grain samples were then measured. Also, the spatial variability of soil and grain Cd were obtained by normal Kriging method. The results indicated that the total Cd concentrations in 95 percent of samples exceed 0.8 mg kg^{-1} . However, the DTPA-Cd concentrations in 25 percent of soil samples were more than 0.1 mg kg^{-1} . In addition, grain Cd concentrations in 95 percent of the samples were exceeded the threshold of 0.2 mg kg^{-1} grain. The semivariograms of soil (total and DTPA-extractable) and grain Cd were well fitted with a spherical model. The spatial distribution of total Cd using normal Kriging, revealed two most contaminated zones, one at south and the other at west. Also, for DTPA-Cd, the east and south were the most contaminated regions in the study area. The spatial distribution of grain Cd indicated high Cd concentrations at the east, west and some parts of south area.

Keywords: Cadmium, Kriging, Soil pollution, Spatial variability, Wheat

*Corresponding author: mhomae@modares.ac.ir