بررسی وضعیت آلودگی خاک به عنصر کادمیوم در دشت شهرکرد با استفاده از زمین‌آمار

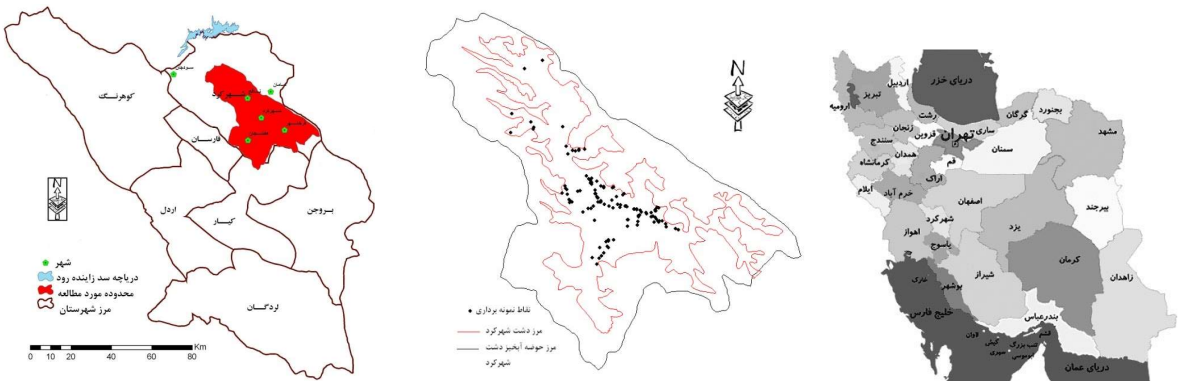
سمیه تقی‌پور [۱]، جهانگرد محمدی [۲]، مهدی نادری [۳]
۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه شهرکرد، ۲- دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه شهرکرد، ۳- استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه شهرکرد،

چکیده
مطالعه تغییرات مکانی فلزات سنگین و منشأ آنها در خاک به‌منظور مدیریت کشاورزی دقیق و جلوگیری از آلودگی خاک و محصولات کشاورزی امری ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی غلظت کل کادمیوم در دشت شهرکرد و ارزیابی خطر آلودگی منطقه به این عنصر انجام شد. ۱۲۰ نمونه خاک سطحی به طور تصادفی از منطقه مورد مطالعه برداشت و غلظت کل کادمیوم نمونه‌ها، به روش هضم در اسیدنیتریک، به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت کادمیوم بیش از حد بحرانی آن در خاک بود. آنالیز زمین‌آماری داده‌ها نشان داد تغییرپذیری کادمیوم کل ناهمسان‌گرد می‌باشد. کادمیوم وابستگی مکانی قوی نشان داد. نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین، نشان‌دهنده قابلیت بسیار خوب تخمین‌گر کریجینگ برای پهنه‌بندی غلظت عناصر سنگین بود. این نقشه‌ها غلظت بالاتر از حد بحرانی کادمیوم را در منطقه نشان دادند.

واژه های کلیدی: پهنه‌بندی، کادمیوم، کریجینگ، ناهمسان‌گرد

مقدمه
فلزات سنگین به علت سمیت و ماندگاري‌شان در محیط خطرناك مي‌باشند (Chen et al., ۲۰۰۹). به طور کلی فلزات سنگین از دو منبع اصلی منشأ مي‌گيرند: منابع طبیعی مانند هوادیدگی ماده مادری و منابع غیرطبیعی (ناشی از فعالیت انسان) مانندااستخراج معادن و فعالیت‌های کشاورزی (Sollito et al., ۲۰۱۰ و تقی‌پور و همکاران ۱۳۸۹). استفاده طولاني‌مدت و بیش از حد از زمین‌های کشاورزی همراه با کاربرد مکرر علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها باعث تجمع فلزات سنگین در خاك سطحی مي‌شود(Sollito et al., ۲۰۱۰).
در سال‌های اخیر مطالعه فلزات سنگین در خاك مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته و به عنوان یکی از مباحث مهم در علوم خاك و محیط زیست مطرح است. مطالعه‌ي تغییرات مکانی فلزات سنگین و منشأ آنها در خاک به منظور مدیریت کشاورزی دقیق و جلوگیری از آلودگی خاک و محصولات کشاورزی امری ضروری به نظر می رسد (Chen et al., ۲۰۰۹).

مواد و روش‌ها
منطقه مورد مطالعه دشت شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری مي‌باشد که با امتداد شمال غرب- جنوب شرق در فاصله بین طول‌های جغرافیایی ۳۸ ′ ۵۰ تا ۱۰ ′ ۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۷ ′ ۳۲ تا ۳۵ ′ ۳۳ شمالی واقع است(شکل ۱). مساحت اراضی قابل‌آبیاری این دشت ۲۵۱۲۸ هکتار مي‌باشد که عمدتا زیر کشت محصولاتی نظیر گندم، ذرت، یونجه، سیب‌زمینی و چغندرقند است و قطب مهم کشاورزی و صنعتی استان محسوب مي‌شود.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

۱۲۰ نمونه از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاك به طور تصادفی از سطح منطقه مطالعاتی برداشت و موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها به کمك دستگاه موقعیت‌یاب مکانی[۲۹] ثبت شد. پس از هوا خشك شدن و عبور از الك ۲ میلیمتری غلظت کل کادمیم به روش هضم در اسید نیتریك(Sposito et al., ۱۹۸۲) توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. توصیف آماری داده ها به منظور بررسی چگونگی توزیع آن‌ها و دست‌یابی به خلاصه ای از اطلاعات آماری با نرم‌افزار استاتیستیکا ۶ صورت گرفت. تجزیه و تحلیل الگوی ساختار تغییرات مکانی با استفاده از تغییرنما صورت گرفت. جهت محاسبه و ترسیم تغییرنما از نرم افزار واریووین استفاده شد. قبل از پهنه‌بندی، مدل‌های تغییرنما با استفاده از نرم افزار ژئوئیز مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند، به طوري‌که مدل نهایی دارای میانگین خطای تخمین[۳۰] صفر یا نزدیك به صفر و حداقل مجذور میانگین مربعات خطای تخمین[۳۱] باشد. نقشه پراکنش مکانی به همراه نقشه خطای تخمین به روش کریجینگ بلوکی، با استفاده از نرم افزار سورفر تهیه شد.

نتایج و بحث

محاسبه خلاصه آماری داده‌های هر متغیر اطلاعات مهم و مفیدی را در رابطه با چگونگی توزیع آماری آن‌ها در اختیار محقق قرار می‌دهد (جدول ۱). بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده توسط ویلدینگ (۱۹۸۵)، بر مبنای ضریب تغییرات، کادمیم کل دارای تغییرپذیری متوسط می‌باشد.

حد بحرانی آلودگی کادمیم ۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است(Chen et al., ۲۰۰۹). میانگین غلظت کل کادمیم بالاتر از حد بحرانی آلودگی این عنصر می‌باشد و ۹۸ درصد نمونه‌ها غلظت بیش از ۳/۰ را نشان دادند، بنابراین خطر آلودگی کادمیم در خاك‌های منطقه وجود دارد.

یکی از مناسب‌ترین راه‌های بررسی ناهمسانگردی، استفاده از خاصیت تقارن تابع واریوگرام و ارائه تصویر دو بعدی از واریوگرام تجربی است. نمودار حاصل را واریوگرام رویه ای[۳۲] می‌نامند. در صورت وجود تقارن در تغییرنمای رویه‌ای، متغیر همسانگرد و تغییرپذیری متغیر اندازه‌گیری شده در جهات مختلف یکسان است. در شرایط ناهمسانگردی، واریوگرام جهت‌دار و در امتداد حداکثر و حداقل پیوستگی مکانی محاسبه می‌گردد (محمدی ۱۳۸۵). بر اساس تغییرنمای سطحی تغییرپذیری کادمیوم ناهمسانگرد است (شکل ۲). بنابراین رویه مدل ناهمسانگرد واریوگرام داده‌های کادمیوم ترسیم شد (شکل ۳ و ۴). جدول ۲ پارامترهای تغییرنما را نشان می‌دهد.

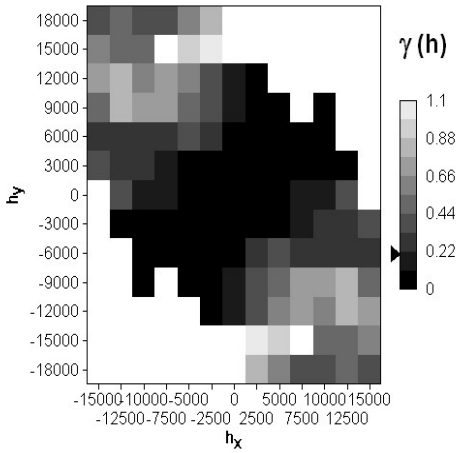
عواملی نظیر کاربرد کود و آفت‌کش‌ها بر مقدار کادمیوم کل تأثیر گذاشته و باعث وابستگی مکانی آن‌ها در فاصله کم شده است (Wang et al., ۲۰۰۸). هو و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیان کردند دامنه تأثیر کم کادمیوم نشان‌دهنده تأثیر عوامل غیرطبیعی از جمله آبیاری با پساب و کاربرد کودها بر غلظت این فلز در خاک است. بررسی های چن و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد منشأ کادمیم فعالیت‌های انسانی است.

نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه چگونگی وابستگی مکانی متغیر را نشان می‌دهد. اگر این مقدار کوچك‌تر از ۲۵% باشد وابستگی مکانی متغیر قوی، بین ۲۵% تا ۷۵% وابستگی مکانی متوسط و بیش از ۷۵% وابستگی مکانی متغیر ضعیف می‌باشد (Hu et al.,۲۰۰۶).

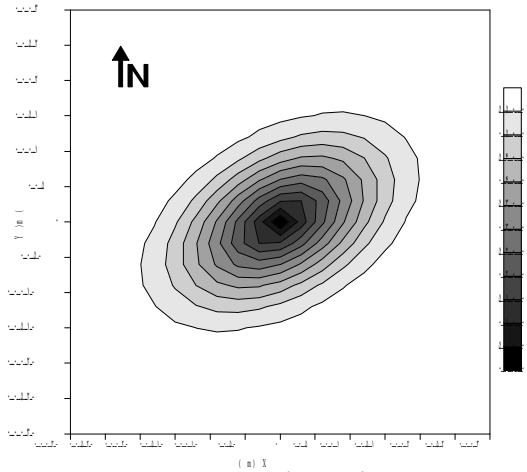
جدول ۱: خلاصه آماری غلظت عناصر سنگین ($mg.kg^{-1}$ soil)

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
کادمیم کل	۲۲۵/۰	۵/۲	۶۰/۱	۸۰/۱	۴۶/۰	۷۵/۲۸	-۲۰/۱	۶۰/۰

[۲۹] GPS
[۳۰] MEE
[۳۱] RMSE
[۳۲] Surface variogram



شکل ۲: تغییرنمای سطحی کادمیوم کل



شکل ۴: رویه مدل ناهمسانگرد واریوگرام داده‌های کادمیوم

جدول ۲: پارامترهای تغییرنما

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای (C.)	حد آستانه(C)	C./C	دامنه(m)	کلاس وابستگی مکانی
کادمیم کل	کروی	۰	۰۵۷/۰	۰	۱۵۰۰	قوی

جاچون و همکاران (۲۰۰۷) وابستگی مکانی قوی کادمیوم را به تغییرات ذاتی خصوصیات خاک مثل بافت و مینرالوزی مربوط می‌دانند. وجود ساختار مکانی در مورد عناصر سنگین توسط محمودی (۱۳۸۹) و رودریگز و همکاران (۲۰۰۸) گزارش شده است. هو و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که کادمیوم وابستگی مکانی قوی دارد.

نتایج اعتبارسنجی مدل تغییرنما در جدول ۳ آمده است. مقادیر میانگین خطای تخمین نزدیک صفر و مجذور میانگین مربعات خطای تخمین حداقل مقدار عددی است، که بیانگر ناریب بودن تخمین و دقت قابل‌قبول تخمین می‌باشد. هم‌چنین مقدار Z-Score نیز به صفر نزدیک است.

نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین متغیر موردمطالعه با استفاده از پارامترهای تغییرنمای به‌دست آمده در نرم‌افزار واریووین و اعتبارسنجی آن در ژئوئیز، در محیط نرم افزار سورفر ترسیم شد (شکل ۵). نقشه کریجینگ غلظت کل کادمیوم روند افزایشی این عنصر را از شمال غرب به جنوب شرق منطقه به خوبی نشان می‌دهد. غلظت کادمیوم در تمامی منطقه بالاتر از حد بحرانی سمیت این عنصر (۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که نشان‌دهنده خطر آلودگی منطقه به این عنصر است. کاربرد کودهای شیمیایی (بویژه کودهای فسفاتی)،یکی از راه‌های ورود کادمیوم به خاك می‌باشد.

به‌طور کلی نقشه خطای تخمین نشان می‌دهد که در نقاط نمونه‌برداری شده و مناطق نزدیك آن‌ها، حداقل خطا و با افزایش فاصله از این نقاط و در حاشیه منطقه به دلیل عدم نمونه‌برداری یا کمتر بودن نقاط نمونه‌برداری حداکثر خطای تخمین دیده می‌شود.

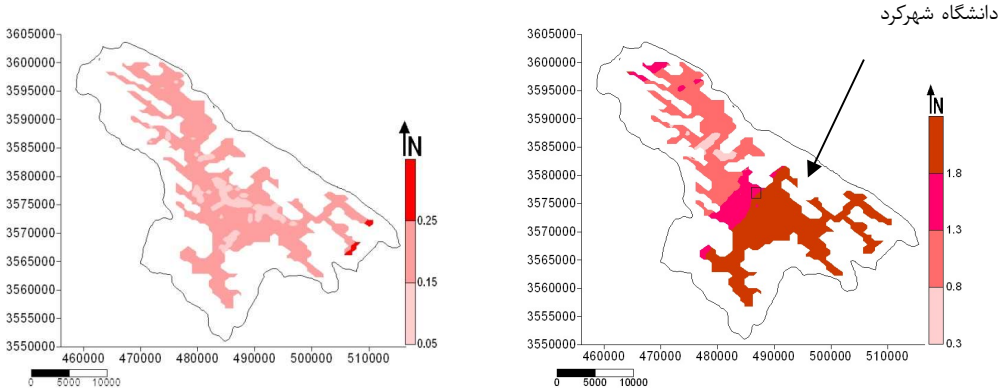
شکل ۶ تصویر ترکیب رنگی مجازی حاصل از اطلاعات تصاویر ماهواره IRS و نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقایسه نقشه کریجینگ عنصر سنگین با نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی، سمیت کادمیوم در اراضی کشاورزی و مرتعی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی غلظت کادمیوم در سطح دشت بالاتر از حد بحرانی آلودگی آن (۳/۰ پی‌پی‌ام) است. مساحت زیادی از اراضی کشاورزی غلظتی بین ۳/۱-۸/۰ و بالاتر از ۸/۱ کادمیوم را نشان داده‌اند که احتمالا به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته است. نقشه کریجینگ کادمیوم کل روند افزایشی این عنصر به سمت مناطق شهری را به خوبی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در مناطق شهری غلظت کادمیوم بیشتر از ۸/۱ بود. منشأ غلظت‌های زیاد عناصر در مناطق شهری را می‌توان ترافیک و دود ناشی از عبور و مرور وسایل نقلیه عنوان کرد. بدین ترتیب کاربری اراضی بر غلظت عناصر سنگین در خاک مؤثر است.

جدول ۳: نتایج اعتبارسنجی مدل‌های تغییرنما

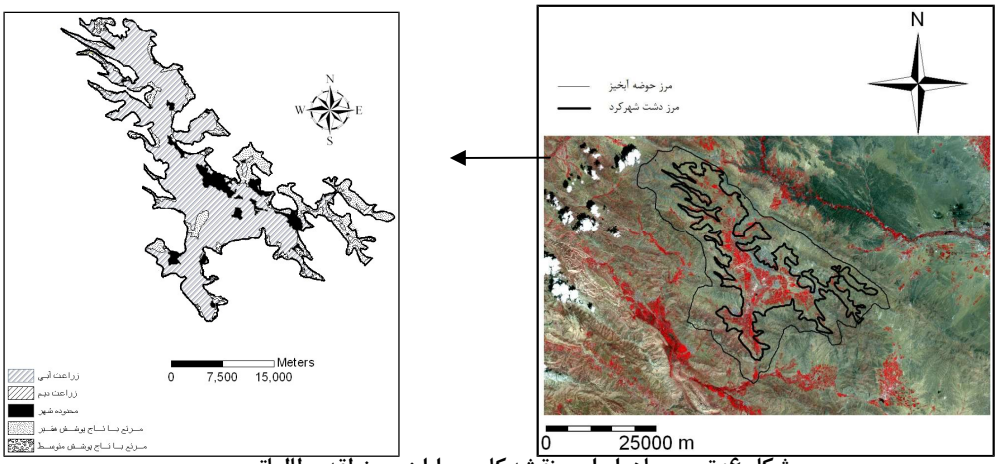
متغیر	دامنه جستجو(m)	حداقل نقاط در دامنه جستجو	حداکثر نقاط در دامنه جستجو	MEE	RMSE	Z-score

کادمیم کل	۲۰۰۰۰	۱	۲۰	-۰۱/۰	۱۵۶/۰	-۰۲۳/۰

دانشگاه شهرکرد



شکل ۵: نقشه کریجینگ (سمت راست) و خطای تخمین (سمت چپ)



شکل ۶: تصویر ماهواره‌ای و نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی

نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین حاکی از قابلیت بسیار خوب تخمین‌گر کریجینگ برای پهنه‌بندی عناصر سنگین، می‌باشد. با توجه به نقشه‌های کریجینگ عناصر مورد مطالعه، خطر آلودگی کادمیوم در منطقه وجود دارد. مقایسه نقشه‌های کریجینگ و کاربری اراضی غلظت‌های بالاتر از حد بحرانی کادمیوم را در مناطق شهری، اراضی کشاورزی و مرتعی نشان می‌دهد.

منابع

تقی‌پور، م. خادمی، ح. و ایوبی، ش. ۱۳۸۹. تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳۲ تا ۱۴۴.

محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری، جلد دوم: آمار مکانی (ژئواستاتیستیک). انتشارات پلک، تهران.

محمودی، ش. ۱۳۸۹. توزیع غلظت کل عناصر سنگین (سرب، کادمیوم، روی) در بخش‌های مختلف اندازه ذرات خاک و پراکنش مکانی آن‌ها در جنوب شهر اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

Chen, T., Liu, X., Li, X., Zhao, K., Zhang, J., Xu, J., Shi, J. and Dahlgren, R.A. ۲۰۰۹. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a filed- scaie vegetable soil of Hangzhou, China. Environmental Pollution, ۱۵۷ :۱۰۰۳-۱۰۱۰.

Hu, K.L., Zhang, F., Li, H., Huang, F. and Li, B. ۲۰۰۶. Spatil patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing. Pedosphere, ۱۶: ۶۹۰-۶۹۸.

Jiachun, S., Haizen, W., Jianming, X., Jianjun, W., Xingmei, L., Haiping, Z. and Chunlan, Y. ۲۰۰۷. Spatial distribution of heavy metals in soil: a case study of Changxing, China. Environmental Geology, ۵۲: ۱-۱۰.

Rodriguez, J.A., Nanos, N., Grau, J.M., Gil, L. and Lopez-Arias, M. ۲۰۰۸. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. Chemosphere, ۷۰: ۱۰۸۵-۱۰۹۶.

Sollito, D., Romic, M., Castrignano, A., Romic, D. and Bakic, H. ۲۰۱۰. Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northweast Croatia) using multivariate geostatistics. Catena, ۸۰: ۱۸۲-۱۹۴.

Sposito, G., Lund, L.J. and Chang, A.C. ۱۹۸۲. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu,Zn, Cd, Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, ۴۶: ۲۶۰-۲۶۴.

Wang, S., Yu, T., Wang, J., Yang, L., Yang, K. and Lu, P. ۲۰۰۸. Preliminary study on spatial variability and distribution of soil adailable microelements in Pinggu County, Beijing, China. Agricultural Sciences in China, ۷: ۱۲۳۵-۱۲۴۴.

Wilding, L. P. ۱۹۸۵. Spatial variability, Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In: D. R. Nielsen and J. Bouma (Eds.), Soil Variability. Pudo, Wagenigen, The Netherlands.

Abstract

In order to establish precision agriculture management and to prevent soil and agricultural products from contamination, it seems necessary to study spatial variability of heavy metals and their sources. The objective of this research was to investigate spatial variability and mapping total concentration of Cadmium in shahrekord plain and to evaluate contamination risk of the region. ۱۲۰ composite surface soil samples were taken from region. Total concentrarion of Cd in soil samples, after digestion in nitricacid, were measured by atomic absorption spectrophotometer. The mean concentration of total Cd were greater than its critical level. Geostatistical analysis showed anisotropic variability for cadmium values. Cadmium had strong spatial dependence. Kriging and estimation error maps showed very good ability of kriging for mapping heavy metals. These maps indicate the concentration higher than critical levels of Cd in the region.