بررسی توزیع مکانی سرب و کادمیوم د ر برخی اراضی شهرستان فلاورجان اصفهان

رضا مهاجر [۱]، محمد حسن صالحی [۲] و جهانگرد محمدی [۳]
۱-استادیار و عضو هیت علمی خاک‌شناسی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور شهرکرد، ۲-استاد خاک‌شناسی کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ۳-دانشیار خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

چکیده
تجمع عناصر سنگین و آلوده شدن خاك‌های کشاورزی امروزه یکی از مهم‌ترین مباحث زیست‌محیطی در سطح جهانی محسوب مي‌شود. در این مطالعه پراکنش مکانی و تهیه نقشه‌های پیوسته‌ی دو فلز سرب و کادمیوم در خاك‌های زراعی شهرستان فلاورجان اصفهان مورد تحقیق واقع شد. ۹۰ نمونه سطحی جمع آوری و غلظت کل دو فلز سرب و کادمیوم اندازه گیری شد. ۵۵ درصد نمونه‌ها بیشتر از حد مجاز تعریف شده کادمیوم داشتند. همچنین نتایج واریوگرافی نشان داد که سرب و کادمیوم کل دارای تغییر پذیری قوی مي‌باشد. نقشه های کریجینگ نشان دادند که دلیل اصلی ناهمسانگردی توزیع فلزات در منطقه جهت وزش باد و انتقال سرب و کادمیوم از گازهای خروجی دودکش‌های کارخانه ذوب آهن می باشد.

واژه های کلیدی: سرب، کادمیوم، کریجینگ و فلاورجان

مقدمه
تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد جهان با توجه به محدود بودن منابع زمین و به نحوی که کمترین تأثیر را برمحیط زیست آن بگذارد، یکی از مباحث بسیار مهم بشمار می رود. مهم ترین آلاینده‌های خاك شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می باشند، از این بین، فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلایندگی‌شان در خاك شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. انباشت این عناصر در خاک درنهایت باعث ورود آنها به چرخه غذایی و تهدید سلامت انسان و سایر موجودات می شود (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۰). لذا بررسی توزیع غلظت عناصر سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است .
دو منبع برای آلودگی فلزات سنگین خاك وجود دارند: منابع طبیعی و منابع انسانی. منابع طبیعی شامل ورود فلزات سنگین از طریق فرسایش مواد مادری خاك بوده و بنابراین با زمین شناسی منطقه مرتبط می باشد. صنایع آهن و فولاد، معدن کاری، حمل و نقل جاده‌ای، سوزاندن پسماند و به ویژه استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی از منابع انسانی بسیار مهم ورود فلزات سنگین به خاك و آب در اکوسیستم های سطحی هستند (امینی، ۱۳۸۳). ورود و تجمع فلزات سنگین در اراضی کشاورزی به‌طور عمده ناشی از نهشته‌های اتمسفري حاصل از فعالیت‌های صنعتی، کودهای شیمیایی، کودهای حیوانی، لجن فاضلاب، کمپوست و آفت‌کش‌هاست (کلر، ۲۰۰۰ و یانگ، ۲۰۰۱).
در حال حاضر بخش کشاورزی و منابع طبیعی به دلیل داشتن نقش حیاتی در تامین غذای مورد نیاز کشور، تحقق امنیت غذایی و توسعه پایدار یکی از بخش های مهم اقتصادی محسوب می شود. تخمین پروسه آلوده شدن خاك توسط عناصر سنگین، که یك پروسه پویا است و به طور همزمان در زمان و مکان گسترش یافته، مستلزم داشتن اطلاعات مکانی- زمانی است (کریساکوس، ۱۹۹۸).
از آنجایی که غلظت عناصر سنگین می تواند دارای الگوهای تغییرپذیری مکانی پیچیده‌ای باشد (هندفیکس فرانسن و همکاران، ۱۹۹۷)، مشخص شدن توزیع مکانی این عناصر به صورت دقیق وقتی که نمونه‌های مورد مطالعه کم باشد یک امر ضروری است و زمین آمار به عنوان یک ابزار قدرتمند مي‌تواند در جهت برآورد و کاهش عدم قطعیت و همچنین حداقل نمودن هزینه‌ها به کمک آید (فرگوسن و همکاران، ۱۹۹۸).
روش های زمین آماری از ابزارهای مفید برای آنالیز داده های پیوسته از نظر زمانی و مکانی می باشد. چونفا وو و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی ویژگي‌های آماری و زمین‌آماری غلظت عناصر سنگین در مناطق آلوده چین پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود واحدهای نقشه خاک منطقه را مدنظر قرار دادند، به گونه‌ای که با جمع‌آوری ۹۴ نمونه خاک از سه واحد نقشه خاک به اندازه‌گیری عناصر کادمیوم، سرب، مس و روی پرداختند. نتایج زمین‌آماری آن‌ها نشان داد که چهار عنصر سنگین مذکور دارای وابستگی مکانی متوسط تا زیادی مي‌باشند.
لو و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی توزیع مکانی و منابع احتمالی عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی حومه‌ی بیجینگ چین با استفاده از زمین آمار و آمار چند متغیره پرداختند. آن‌ها ۴۱۲ نمونه سطحی را با فاصله‌ی یک کیلومتر مربع جمع‌آوری کردند و غلظت عناصری مانند آرسنیک، کادمیوم، مس، جیوه و سرب و روی را اندازه گیری کردند. غلظت این عناصر به ترتیب ۸۵/۷، ۱۳۶/۰، ۴/۲۲، ۰۷۳/۰، ۴/۲۰ و ۸/۶۹ میلي‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. غلظت همه‌ی این عناصر به جز سرب بالاتر از حد زمینه در خاک این منطقه گزارش شدند. آنالیزهای چند متغیره و زمین آماری نشان دادند که آلودگی خاک حاصل از عناصر

کادمیوم، مس و روی اغلب به خاطر فعالیت‌های کشاورزی است، در صورتی که دو عنصر آرسنیک و سرب از مواد مادری، و جیوه بدلیل فرونشست جوی در شهر موجب آلودگی خاک در این منطقه شده‌اند. آن‌ها از کریجینگ برای نشان دادن توزیع مکانی عناصر استفاده کردند و در هر کدام از این تخمینگرها از سه مدل نمایی، کروی و خطی استفاده کردند. از آنجایی که شهرستان فلاورجان از مراکز عمده کشاورزی استان اصفهان به شمار می رود لذا مطالعه ی حاضر به منظور بررسی پراکنش مکانی دو فلز سرب و کادمیوم در خاک های سطحی زراعی این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه منطقه موردنظر برخی از اراضی کشاورزی شهرستان فلاورجان انتخاب گردید .شهرستان فلاورجان (لنجان سفلی) با مساحت ۵۱۰ هکتار با مرکزیت شهر فلاورجان می‌باشد و ارتفاع از سطح دریا ۱۶۰۰ متر و از شمال به شهرستان خمینی‌شهر و از جنوب به شهر دیزیچه و از غرب به شهرستان نجف آباد و از شرق به شهرستان اصفهان محدود می‌گردد. مهمترین فرآورده‌های کشاورزی فلاورجان گندم؛ برنج؛ صیفی و سبزی است .

در این پژوهش از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده برای جمع‌آوری نمونه‌ها استفاده شد. در مطالعه حاضر ۹۰ نمونه مرکب از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری از سطح زمین برداشته شد به این صورت که از هر نقطه مشخص شده به فاصله ۲۵ متری تعداد سه نمونه در قالب شکل رئوس یک مثلث برداشت شد و سپس ۴ نمونه‌ی خاک باهم مخلوط و در نهایت یک نمونه کلی از آن به‌دست آمد. لازم به ذکر است که موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها با دستگاه سامانه موقعیت جغرافیایی (GPS) تعیین شدند.

نمونه‌ها بعد از هوا خشك شدن در محیط آزمایشگاه، کوبیده و از الك ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین غلظت کل عناصر سرب و کادمیوم در خاک از روش هضم اسیدی با اسید نیتریک ۴ مولار استفاده شد (اسپوزیتو و همکاران، ۱۹۸۲). غلظت کل عناصر سرب و کادمیوم خاک پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل پرکین المر قرائت شد. برای مدل سازی از نرم‌افزار واریووین Variowin ۲.۲ (پاناتیر، ۱۹۹۶) برای ترسیم واریوگرام و انتخاب مدل مناسب؛ و برای پهنه‌بندی غلظت عناصر و ترسیم نقشه‌های پیوسته‌ی حاصل از کریجینگ در خاک از نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳استفاده شد. در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی برای بررسی توزیع غلظت عناصر استفاده شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه آماری عناصر سرب و کادمیوم بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

میانگین غلظت کادمیوم در سراسر منطقه در دامنه ۱۸/۰ تا ۹۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نوسان بوده است (جدول ۱).

در این تحقیق برای حدود آستانه دو عنصر کادمیوم و سرب از استاندارد این عناصر در خاک‌های غیرآلوده که برای کشور سوئیس تعریف شده بود جهت مقایسه استفاده شد. این حدود آستانه برای کادمیوم و سرب به ترتیب ۸/۰و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (دفتر محیط زیست سوئیس، ۱۹۹۸).

جدول ۱- خلاصه آماری عناصر سرب، کادمیوم (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) در منطقه مطالعاتی

عنصر	میانگین	میانه	مینیمم	ماکزیمم	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات٪	چولگی	افراشتگی
کادمیوم	۸۸/۰	۹۱/۰	۱۸/۰	۹۴/۲	۵۶/۰	۶۳/۶۳	۴۳/۱	۳
سرب	۷۳/۱۵	۱۲/۱۴	۵	۲/۳۳	۸۳/۵	۰۶/۳۷	۱/۱	۶۳/۱

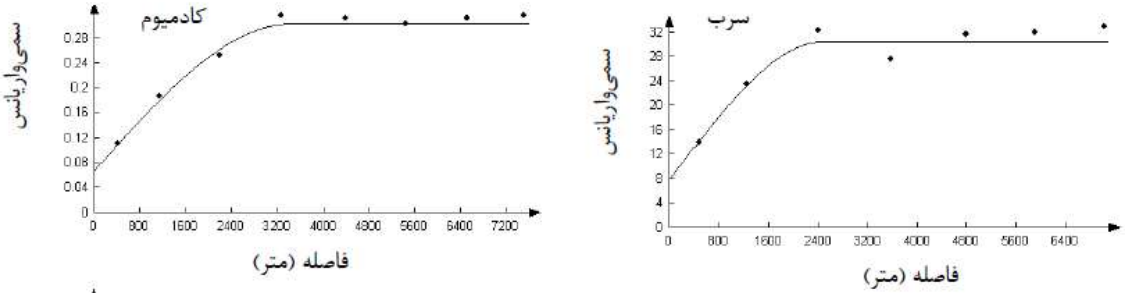
امینی (۱۳۸۳) در مطالعه قبلی در اراضی با کاربری‌های متفاوت استان اصفهان دامنه‌ی این فلز را بین ۲/۰ تا ۵ میلی گرم بر کیلوگرم به‌دست آورده بود. در این منطقه تنها ۵۵ درصد نمونه‌ها بیشتر از حد مجاز کادمیوم داشتند. یکی دیگر از دلایل افزایش کادمیوم در کل منطقه را می‌توان کاربرد بیش از حد کودهای فسفاته توسط زارعین نام برد که هرساله موجب افزایش این فلز سنگین در خاک می‌شوند. بیش از ۹۰ درصد کادمیوم در محیط از منابع غیر طبیعی شامل کودهای شیمیایی فسفاته، احتراق سوختهای فسیلی، مواد زائد استخراج شده از کارخانجات سیمان و ذوب فلزات و فرونشست جوی می‌باشد. در اغلب کشورهای غربی بیش از ۹۰ درصد منشاء غیر طبیعی کادمیوم در خاک، کودهای شیمیایی فسفاته و فرونشست جوی می‌باشند (پان و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به نتایج جدول (۲-۱۶) در کل منطقه، دامنه‌ی تقریبی مقادیر میانگین کل سرب خاک بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم برابر ۵ تا ۲/۳۳ می‌باشد. دنکوب (۱۳۸۹) بیان‌کرد که دود ناشی از اگزوز وسایل نقلیه یکی از عوامل اصلی افزایش سرب در خاک است.

پارامترها و مدل های واریوگرامی عناصر کادمیوم و سرب منطقه مطالعاتی به ترتیب در جدول (۲) و شکل (۱) نشان داده شده است. نتایج آنالیزهای زمین آماری نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده برای این متغیرها می باشد. از نسبت بین واریانس قطعه‌ای (Nugget variance) و حد آستانه (Sill) می‌توان جهت تعیین کلاس‌های مختلف تغییرپذیری مکانی استفاده نمود. این نسبت که معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود، را اثر قطعه‌ای نسبی (Relative nugget effect) هم می‌نامند (کمبردلا و همکاران، ۱۹۹۴). اگر این نسبت کمتر از ۲۵٪ باشد نمایانگر وابستگی مکانی قوی، مقادیر ۲۵٪ تا ۷۵٪ به عنوان وابستگی مکانی متوسط و مقادیر بیشتر از ۷۵٪ معرف وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (چونفا وو و همکاران، ۲۰۰۸). تجزیه و تحلیل ساختار مکانی سرب و

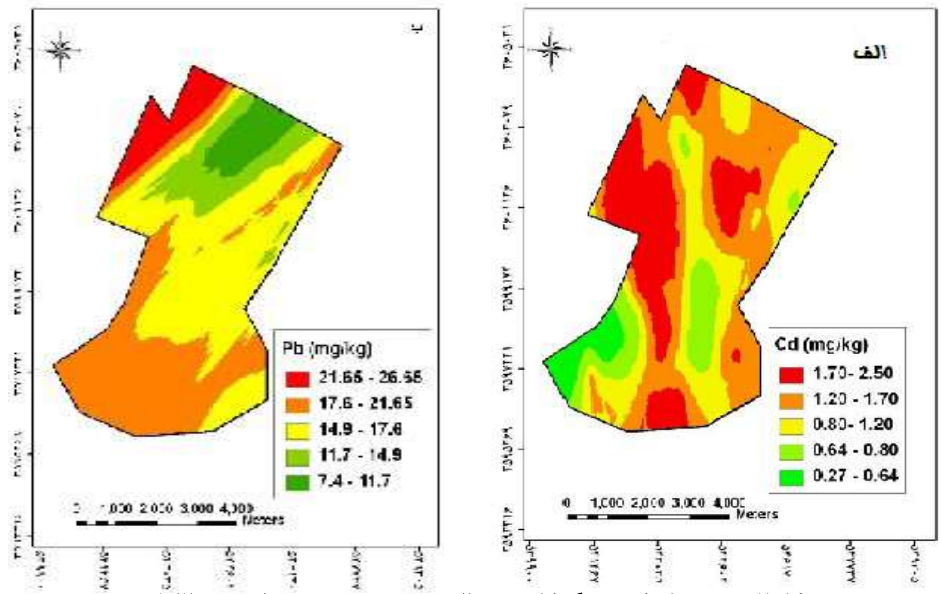
کادمیوم کل نشان دهنده وجود تغییر پذیری قوی می‌باشد. دلیل وجود ناهمسانگردی برای دو فلز سرب و کادمیوم احتمالاً به‌خاطر این است که جهت بادهای غالب این منطقه عمدتاً از سمت غرب به شرق و همچنین جنوب غربی به شمال شرقی بوده که بدلیل نزدیکی کارخانه ذوب آهن که در سمت جنوب غربی این منطقه واقع شده است باعث شده گازهای خروجی از دودکش‌ها که حاوی این عناصر هستند به‌سمت منطقه حرکت و بر روی سطح خاک تجمع کنند. پژوهشگران دیگر نیز، باد را عامل موثری در پراکنش و انتقال فلزات سنگین عنوان کردند (آتیا و دوبویس، ۱۹۹۴ و شایسته‌فر و همکاران، ۱۳۹۱). نقشه‌های کریجینگ دو عنصر مورد مطالعه در شکل (۲) ارائه شده‌اند.

جدول ۲- مدل‌های واریوگرامی، درصد وابستگی مکانی و آماره‌های اعتبارسنجی ویژگی‌های فلزات سنگین مطالعه شده

عنصر	مدل	واریانس قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه (متر)	نسبت همبستگی (درصد)	مقدار ناهمسانگردی	آماره‌های اعتبارسنجی	
							RMSE	ME
سرب	کروی	۸۲/۷	۶/۳۰	۲۴۸۵	۲۵	۵/۳	۵/۴	۰۴/۰
کادمیوم	کروی	۰۶۸/۰	۳۰۴/۰	۳۴۲۰	۲۰	۳/۲	۵۱/۰	-۰۱/۰



شکل ۱- واریوگرام‌های فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک منطقه مطالعاتی



شکل ۲- نقشه های کریجینگ کادمیوم (الف) و سرب (ب) در منطقه ی مطالعاتی

منابع

خداکرمی، ل. سفیانیان، ع.ر. میرغفاری، ن. افیونی، م و گلشاهی، ا. ۱۳۹۰. پهنه بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک های سه زیر حوزه آبخیز استان همدان با استفاده از فناوری های GIS و زمین آمار . مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاك ، سال پانزدهم، شماره ۵۸ . صفحات ۲۴۳-۲۵۴.

امینی م. ۱۳۸۳. مدل‌سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان. رساله دکترای خاکشناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

دنکوب، ز .۱۳۸۹. ارتباط مکانی پذیرفتاری مغناطیسی با غلظت کل برخی فلزات سنگین در خاك‌های سطحی منطقه اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

شایسته‌فر، م.ر. شفیعی، ن. شیرانی، ح. رضایی، ع. و کارگر دیانتی، م.ر. ۱۳۹۱. توزیع عناصر آرسنیک و سلنیوم در خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه کرمان. نشریه آب و خاک جلد ۲۶. صفحات ۵۴۴-۵۳۳.

Atteia O. and Dubois J.P. ۱۹۹۴. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. Environmental Pollution ۸۶:۳۱۵-۳۲۷.

Keller A. ۲۰۰۰. Assessment of uncertainty in modeling heavy metal balances of regional agro ecosystems. PH.D thesis, Swiss federal institute of technology, Zurich.

Yong R. ۲۰۰۱. Geoenvironmental engineering: contaminated soils, pollutant fate and mitigation. CRC press, LLC, USA.

Chrisakos G. ۱۹۹۸. Spatiotemporal information systems in soil and environmental sciences. Geoderma ۸۵:۱۴۱-۱۷۹.

Hendficks Franssen H.J.W.M. van Eijnsbergen A.C. and Stein A. ۱۹۹۷. Use of spatial prediction techniques and fuzzy classification for mapping soil pollutants. Geoderma ۷۷:۲۴۳-۲۶۲.

Ferguson C.C. Darmendrail D. Freier K. Jensen B.K. Jensen J. Kasamas H. Urzelai A. and Vegter J. (Eds.). ۱۹۹۸. Better methods for risk assessment. Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe, vol. ۱. LQM Press, Nottingham, Scientific Basis. pp. ۱۳۵-۱۴۶

Lu A. Wang J. Qin X. Wang K. Han P. and Zhang S. ۲۰۱۲. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China. Science of the Total Environment ۴۲۵: ۶۶-۷۴.

Wu C. Wu J. Luo Y. Zhang H. and Teng Y. ۲۰۰۸. Statistical and geoestatistical characterization of heavy metal concentrations in a contaminated area taking into account soil map units. Geoderma ۱۴۴:۱۷۱-۱۷۹.

Sposito G. Lund L.J. and Chang A.C. ۱۹۸۲. Trace metal chemistry in aird-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.

Pannatier Yvan. ۱۹۹۶. Variowin Software for spatial data analysis in ۲D. Springer-Verlag,New York. USA.

FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape), ۱۹۹۸. Commentary on the Ordinance Relating to Pollutants in Soils, VBBo of July ۱, Bern.

Pan J. Plant J.A. Voulvoulis N. Oates C.J. and Ihlenfeld C. ۲۰۱۰. Cadmium levels in Europe: implications for human health. Environmental Geochemistry and Health ۳۲(۱): ۱-۱۲.

Cambardella C.A. Moorman T.B. Parkin T.B. Karlen D.L. Novak J.M. Turco R.F. and Konopka A.E. ۱۹۹۴. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal ۵۸:۱۵۰۱-۱۵۱۱.

Abstract

Nowadays, accumulation of heavy metals in contaminated soils and agriculture is one of the most important global environmental issues. In this study, spatial distribution and the maps of two metals lead and cadmium in Falavarjan agricultural soils were studied. Ninety topsoil samples were collected and analyzed for heavy metals. The total Cd concentration in %۵۵ of the samples exceeded the suggested Swiss thresholds. The variography results showed a strong spatial dependency in total Cd and Pb. Kriged maps showed that the main reason of anisotropy distribution of metals in the area is the wind direction and the transfer of lead and cadmium from emissions smelter factory iron.