



بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب در خاک و تعیین منشأ این فلزات (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند)

علی شهبازی^{۱*}، علیرضا سفیانیان^۲، روح الله افراز^۳، لقمان خداکرمی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۵ مرداد ۱۳۹۰

پذیرش: ۲۳ شهریور ۱۳۹۰

دسترسی اینترنتی: ۲۵ مهر ۱۳۹۰

واژه‌های کلیدی:

زمین آمار

روش هیبرید

فلزات سنگین

سنجش از دور

سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین آمار و تاثیرات ساختارهای زمین شناسی و کاربری اراضی بر غلظت این فلزات در خاک می‌باشد. با استفاده از روش نمونه برداری سیستماتیک- تصادفی ۳۹ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتری) از شهرستان نهاوند واقع در استان همدان به وسعت ۱۶۲۳ کیلومتر مربع جمع آوری و غلظت کل عناصر، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل EC، pH و ماده آلی برای کلیه نمونه‌ها اندازه گیری شد. برای پهنه‌بندی غلظت عناصر از روش‌های مختلف کریجینگ استفاده شد و با کمک آنالیز همبستگی مکانی، مناسبترین روش پهنه‌بندی با استفاده از مقادیر RMSS و RMSE و توابع MAE و MBE انتخاب گردید. سپس نقشه پهنه‌بندی غلظت فلز سنگین کادمیوم با استفاده از روش کریجینگ گسسته و مدل نمایی، فلز مس با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی و فلز سرب با استفاده از روش کریجینگ گسسته و مدل کروی تهیه شد. همچنین برای تجزیه و تحلیل توزیع مکانی فلزات از نقشه‌های کاربری اراضی و زمین شناسی استفاده شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از اعمال روش هیبرید (که ترکیبی از طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده است) بر روی تصویر AWIFS سال ۱۳۷۸ با کاپای ۰/۹۱ و صحت کلی ۹۵٪ تهیه گردید. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه-بندی فلزات نشان داد که عناصر کادمیوم، مس و سرب منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارند. در حقیقت این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسان سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده است.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: ali.shahbazi.iut@gmail.com

مقدمه

گسترش روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش جمعیت و دخالت بی‌رویه بشر در طبیعت منجر به تخریب محیط زیست گردیده است (۳). خاک به همراه آب و هوا اجزاء عمده محیط زیست تلقی می‌شوند. خاک علاوه بر اینکه پایگاه موجودات خشک‌زی به ویژه تجمع انسانی است، محیط منحصر بفردی برای زندگی انواع موجودات، مخصوصاً گیاهان به شمار می‌آید (۶). فعالیت‌های روز افزون انسان بر روی کره زمین سبب شده است که کارکرد بخش خاک که خود جزئی از پوسته زمین است در مواردی دچار اختلال شود (۱). به طور کلی آلاینده‌های خاک را می‌توان به ۲ گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل سموم متفاوت است که بیشتر جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دومین و مهمترین گروه آلاینده‌های صنعتی هستند که شامل فلزات سنگین نظیر سرب، کادمیوم، نیکل و روی می‌باشند. بعضاً وجود چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از این عناصر، سلامت خاک و نهایتاً انسان و موجودات را به مخاطره می‌اندازد (۱۰). آلودگی فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان با ورود به زنجیره غذایی و همچنین امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند (۱۵). به طور کلی منشأ فلزات سنگین خاک شامل منابع طبیعی (هوازادگی مواد مادری) و ورودی‌های انسانی (صنایع فلزی و معدنی، آگروز وسایل نقلیه، عملیات کشاورزی و غیره) می‌باشد (۱۵). تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع عناصر به ویژه در خاک‌های قابل کشت به دلیل پتانسیل انتقال فلزات سنگین از طریق محصولات کشاورزی به انسان و حیوان مورد توجه قرار دارند (۱۳). محتوای فلزات سنگین در گیاهان می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند استفاده از کودها، لجن فاضلاب یا آبیاری با فاضلاب قرار گیرد (۲۷).

بنابراین برای نیل به توسعه پایدار خصوصاً در بخش کشاورزی جمع‌آوری اطلاعات پایه زیست محیطی برای منابع حیاتی از جمله خاک ضروری است. به دلیل وسعت مکانی و

مشکلات مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از روش‌های زمین‌آمار بسیار مفید می‌باشد (۱۷). روش‌های کریجینگ برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک پتانسیل بالایی دارند و همچنین به عنوان روش مناسبی برای درون‌یابی و تهیه نقشه آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند (۱۸). با وجود اهمیت فلزات سنگین، در بسیاری از کشورهای جهان و ایران، تحقیقاتی که بتواند توزیع فلزات سنگین در خاک را به صورت نقشه‌های کاربردی نشان دهد بسیار انجام شده است. شی و همکاران (۲۶) تغییرات مکانی غلظت Cr, As, Cu, Pb, Cd و Hg را در قسمتی از چین در ۶۶۵ نمونه خاک تعیین کردند. آن‌ها فنون زمین‌آمار و GIS را بکار برده و لوگ نرمال و معمولی کریجینگ را برای تهیه نقشه‌های توزیع مکانی As, Cu, Pb و Hg با مدل کروی استفاده نمودند. Cr با مدل نمایی، Cd با مدل خطی و Cu و Pb با همبستگی مکانی قوی با فاکتورهای طبیعی شامل مواد مادری، توپوگرافی و تیپ خاک فیت شدند. خداکرمی و همکاران (۴) به منظور بررسی و نقشه‌سازی غلظت عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک خاک از روش کریجینگ معمولی در نرم افزار ArcGIS استفاده کردند. برای پهنه‌بندی غلظت عناصر سنگین ابتدا با کمک آنالیز همبستگی مکانی، مناسبترین روش پهنه‌بندی با استفاده از توابع MAE و MBE انتخاب شد. سپس نقشه پهنه‌بندی فلزات روی و مس با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی و فلز آرسنیک با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل کروی تهیه شد.

در این مطالعه از روش‌های مختلف کریجینگ استفاده شد و بهترین روش با بالاترین دقت جهت پهنه‌بندی فلزات مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل برخورداری شهرستان نهاوند از پتانسیل بالا برای تولیدات کشاورزی و متعاقباً تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، نظیر استفاده از کودهای شیمیایی مختلف بر روی کیفیت خاک، گیاه و نهایتاً سلامت انسان، این پژوهش به منظور بررسی تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب در شهرستان نهاوند و تأثیرات ساختارهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی بر روی غلظت این فلزات در خاک انجام گرفت.

۷/۵ درصد می‌باشد (۲).

سازندهای زمین شناسی غالب در منطقه شامل تراس‌های آبرفتی مربوط به دوره زمین شناسی کواترنری، تشکیلات آهک اوربیتالین، شیل و مارن مربوط به اواخر دوره کرتاسه، ماسه سنگ دگرگون شده مربوط به دوره ژوراسیک و گدازه‌های آندزیتی و سنگ آهک ریفی مربوط به اوایل نئوزن و اواخر پالئوزن می‌باشد (شکل ۲). خاک‌های منطقه خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار سبک تا متوسط بافت همراه با تجمع مقداری مواد آهکی می‌باشد. بافت خاک نیز به طور عمده لومی رسی و لومی است (۲).

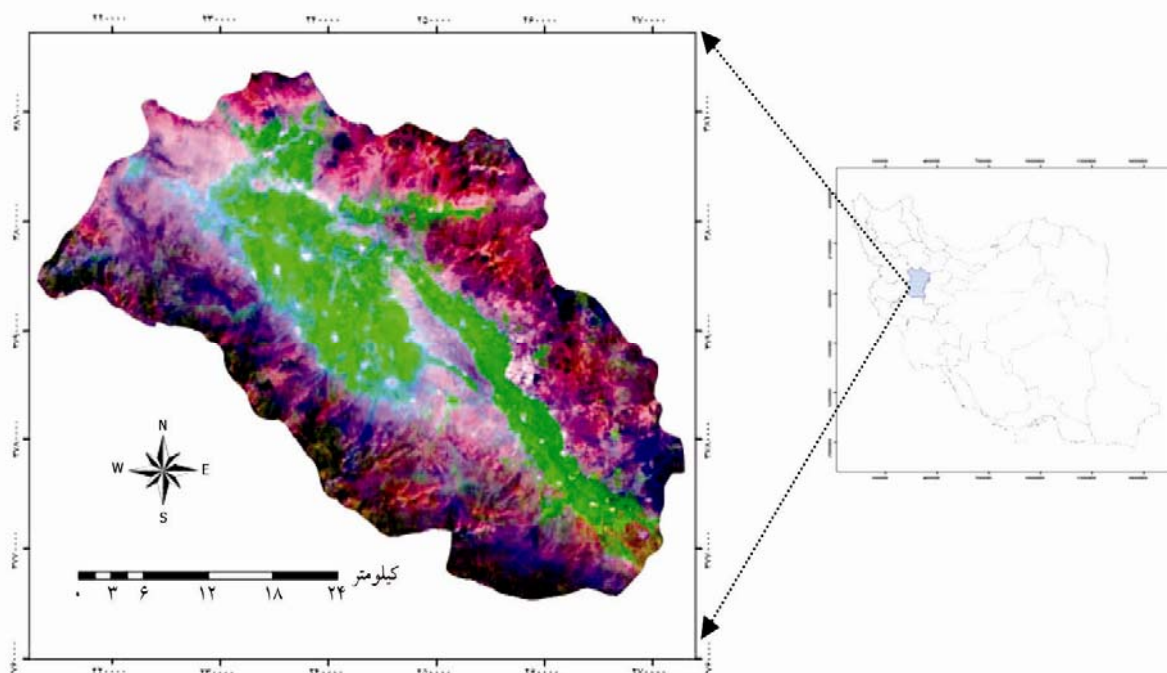
تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان نهاوند

برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویر AWIFS سال ۱۳۸۷ استفاده شد. به منظور ساختن بهترین تصاویر رنگی کاذب از شاخص (Optimal Index Factor) OIF جهت شناسایی مناسب‌ترین باندها با حداقل همبستگی و حداکثر واریانس از رابطه ۱ استفاده شد (۸).

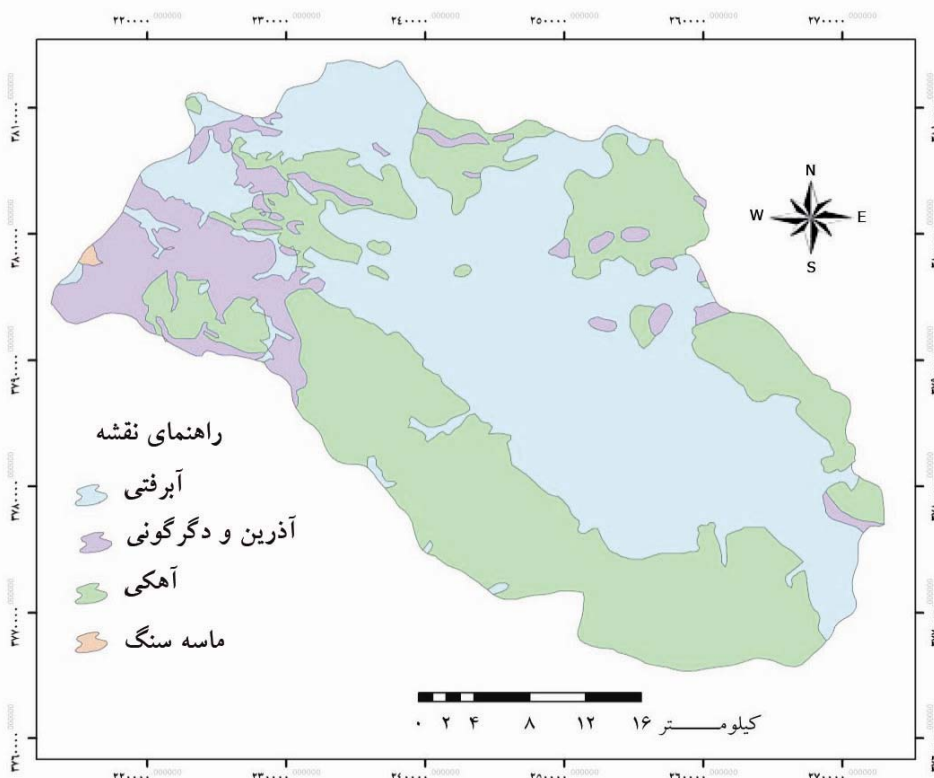
$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 SD_i}{\sum_{j=1}^3 |CC_j|} \quad [1]$$

منطقه مورد مطالعه

شهرستان نهاوند با مساحتی حدود ۱۶۲۳ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان همدان بین مدارهای ۳۴°۲۶' تا ۳۹°۳۳' عرض شمالی و ۴۷°۵۳' تا ۴۸°۳۳' طول شرقی قرار گرفته است. این شهرستان ۷/۶ درصد از کل مساحت استان همدان را در بر گرفته و از شمال به شهرستان تویسرکان، از جنوب به شهرهای الشتر و نورآباد از شرق به شهرستان‌های ملایر و بروجرد و از غرب به کنگاور محدود است. موقعیت شهرستان نهاوند در استان همدان و ایران در شکل ۱ ارائه شده است. میزان متوسط بارندگی سالیانه در منطقه حدود ۳۶۰ میلی‌متر با حداقل ۲۲۱ میلی‌متر تا حداکثر ۴۷۹ میلی‌متر است (۲). مهم‌ترین محصولات زراعی این شهرستان عبارتند از گندم، چغندر قند، تره‌بار (خیار، هندوانه، توتون و دانه‌های روغنی). از محصولات باغی نیز می‌توان انواع میوه‌ها مانند سیب، آلبالو، گلابی و انگور را نام برد. سطح زیرکشت ۶۹ درصد آبی و ۳۱ درصد دیم است. محصولات این شهرستان: گندم ۴۲ درصد، جو ۱۰ درصد، یونجه ۹/۴ درصد و دانه‌های روغنی



شکل ۱. موقعیت شهرستان نهاوند در ایران و استان همدان (باندهای ۳، ۴ و ۲ تصویر AWIFS)



شکل ۲. نقشه زمین شناسی شهرستان نهاوند

نمونه برداری تعیین گردید. نمونه برداری در اواخر شهریور ماه سال ۱۳۸۹ بعد از برداشت محصول انجام گرفت. در نمونه برداری پس از نقطه‌یابی، در محل نقطه یک پلات ۲۰×۲۰ متر (ماکروپلات) زده و داخل آن به صورت ۷ برعکس سه پلات ۳×۳ متر (میکروپلات) زده شد، سپس از داخل هر میکروپلات تعداد ۵ نمونه خاک به صورت ضربدری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر برداشت، و با ایستادن در وسط ماکروپلات توسط دستگاه GPS موقعیت نقطه نمونه برداری ثبت گردید (۴). در مجموع تعداد ۳۹ نمونه خاک مرکب از منطقه مورد مطالعه برداشت گردید.

تجزیه و تحلیل آماری و آنالیز نمونه‌های خاک

آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 15.0 انجام گرفت. آماره‌های توصیفی (میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی) برای فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌های بدست آمده، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. برای پارترهایی که از توزیع نرمال تبعیت نکردند، تبدیل لگاریتمی صورت گرفت و نرمال بودن آنها مجدداً مورد بررسی قرار گرفت.

در این رابطه: $SD_i = \sum_{j=1}^3$ مجموع انحراف معیارهای سه

باند و $CC_j = \sum_{j=1}^3$ مجموع قدر مطلق ضرایب همبستگی بین ۲ باند از ۳ باند می‌باشد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از روش طبقه‌بندی ترکیبی (هیبرید) در نرم افزار ERDAS EMAGINE 8.4 استفاده گردید. این روش ترکیبی از دو روش طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده است و به همین دلیل از دقت بیشتری نیز برخوردار است (۹). در این روش لایه‌های اطلاعاتی مربوط به کاربری‌ها که به روش‌های مختلف از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده‌اند، با هم ترکیب می‌شوند (۲۰). جهت تعیین دقت نقشه تولید شده از بازدید میدانی منطقه و برداشت نقاط کنترل استفاده شد، سپس ضریب کاپا و صحت کلی برای نقشه تولیدی محاسبه شد (۸).

نمونه برداری از خاک

روش نمونه‌برداری بر اساس روش سیستماتیک- تصادفی انجام گرفت. برای این کار ابتدا مناطق مورد نظر با استفاده از نرم افزار GIS و تصویر ماهواره‌ای منطقه، به شبکه‌های تقسیم‌بندی شد و محل اتصال شبکه‌ها به هم به عنوان نقاط

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \left\{ 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right\} \mu \quad [3]$$

که در این معادله، μ برابر میانگین است.

کریجینگ گسسته تخمین گر غیرخطی است و در شرایطی که توزیع داده‌ها پیچیده باشد و برازش آن‌ها توسط توزیع‌های معمول آماری دشوار باشد، به کارگرفته می‌شود (رابطه ۴). این عمل با تبدیل داده‌ها از طریق ترکیب خطی پلی‌نومیال‌های هرمایت صورت می‌گیرد (۷).

$$Z(x_i) = \Phi \{ Y(x_i) \} \quad [4]$$

که در این رابطه: $Y(x_i)$ عبارت از $Z(x_i)$ تبدیل شده می‌باشد و Φ ، ترکیب خطی پلی‌نومیال‌های هرمایت است (رابطه ۵):

$$\Phi \{ Y(x_i) \} = \sum_{k=0}^{\infty} C_k H_k [Y(x)] \quad [5]$$

در این رابطه: $H_k [Y(x)]$ عبارت از پلی‌نومیال هرمایت ردیف k است و C_k ، ضرایب هرمایت می‌باشند که از طریق انتگرال‌گیری به دست می‌آیند. بدین ترتیب، تخمین گر کریجینگ گسسته، عبارت از ترکیب خطی برآوردهای پلی‌نومیال‌های هرمایت داده‌های تبدیل شده است (رابطه ۶):

$$\hat{Z}_{DK}(x) = \sum_{k=0}^k C_k H_k^* [Y(x)] \quad [6]$$

در این رابطه: $H_k^* [Y(x)] = \sum_{i=1}^n b_{ik} H_k [Y(x_i)]$ می‌باشد و b_{ik} ، عبارت از وزن‌های آماری کریجینگ گسسته هستند. از کریجینگ گسسته بیشتر در مسایل کشاورزی استفاده می‌گردد (۷).

نتایج و بحث

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده در جدول ۱ آمده است.

جهت آنالیز شیمیایی نمونه‌ها، نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین نیز با استفاده از HCL و HNO₃ صورت گرفت (۱۲). غلظت فلزات به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Perkin-Elmer Analysis 700) اندازه‌گیری شد، برای فلزات کادمیوم و سرب از روش کوره‌ی گرافیکی استفاده شد و غلظت فلز مس با استفاده از مد شعله اندازه‌گیری شد. PH نمونه‌ها در گل اشباع خاک با استفاده از pH متر مدل ۷۴۴، EC با EC متر مدل Jenway 4310، درصد ماده آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فرسولفات آمونیوم، دی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ اندازه‌گیری گردید (۲۱).

تجزیه و تحلیل زمین آماری

برای بررسی تغییرات مکانی و برآورد غلظت فلزات سنگین از روش مختلف میانبایی کریجینگ (کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و کریجینگ گسسته) و مدل‌های مختلف (دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی) در محیط نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد (۷). برای مطالعه تطبیقی و ارزیابی میزان دقت نقشه‌ها از تکنیک جک نایف و توابع میانگین خطای انحراف (Mean Bias Error) و میانگین مطلق خطا (Mean Absolute Error) که از تکنیک‌های معتبر ارزیابی در این زمینه می‌باشند، استفاده شد (۷). در نهایت برای هر کدام از فلزات بهترین روش با کمترین خطا جهت پهنه‌بندی فلز مربوطه انتخاب شد. کریجینگ معمولی بر اساس میانگین متحرک وزن‌دار بوده و می‌توان آن را بهترین تخمین گر خطی نارایب خواند که از رابطه ۲ تعیین گردید (۷).

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad [2]$$

که در این رابطه: $Z^*(X_0)$ = مقدار تخمین کمیت در نقطه مجهول X_0 ، $Z(X_i)$ = مقدار کمیت در نمونه i ام و λ_i = وزن یا اهمیت نمونه i ام، چنانچه m نمونه در واحد مورد نظر باشد آنگاه: $\lambda_i = 1/m$

سیستم کریجینگ ساده به شکل ترکیب خطی وزن‌دار است. که از رابطه ۳ محاسبه گردید (۷):

جدول ۱. آمار توصیفی غلظت عناصر و برخی از پارامترهای خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه

پارامتر خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	میان	انحراف معیار	ضریب تغییرات %	چولگی	کشیدگی	k-s
کادمیوم	۰/۰۹	۰/۵۱	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۱	۵۵	۰/۶۸	-۰/۴۴	۰/۲۴
مس	۲۳/۳	۵۲	۳۸/۴	۳۸/۵	۸/۳۱	۲۱/۶	-۰/۰۴	-۱/۲۴	۰/۷۲
سرب	۱۴/۷۸	۸۱/۱۴	۲۵/۳۴	۲۲/۲۵	۰/۱۵	۴۱/۴۴	۴/۱۴	۲۱/۵۱	۰/۰۴
اسیدیته	۷/۲۳	۸/۶۱	۷/۶۹	۷/۶	۰/۳۹	۵/۰۷	۱/۰۵	۰/۳۶	۰/۳۹
درصد مواد آلی	۰/۰۶	۱/۹۸	۱/۰۵	۱/۰۳	۰/۵۳	۵۰/۴۸	۰/۱۱	-۰/۹۲	۰/۹۹
EC(ds/m)	۰/۶۳	۳/۴۴	۱/۲۹	۱/۱۷	۰/۵۸	۴۴/۹۶	۱/۷۸	۴/۰۷	۰/۰۹

است منجر به نقض تئوری زمین آمار شود. داده‌هایی که خارج از دامنه $(\bar{X} \pm 3sd)$ بودند، به عنوان مقادیر غیر عادی در نظر گرفته شد. \bar{X} نشان دهنده مقدار میانگین و sd انحراف معیار آن است. برای تصحیح داده‌ها، داده‌های پرتی که از مقدار $(\bar{X} \pm 3sd)$ تجاوز کرده بودند با بیشینه یا کمینه مقادیر کمتر از $(\bar{X} \pm 3sd)$ در مجموعه داده‌های خام اولیه جایگزین شدند (۴).

نقشه کاربری اراضی

در پردازش تصویر، مطابق با شاخص OIF باندهای ۲، ۳ و ۴ به عنوان بهترین باندها جهت تهیه تصویر FCC تشخیص داده شدند. به منظور طبقه‌بندی تصاویر ابتدا از نقشه طبقه‌بندی شده شیب منطقه، برای جداسازی کوه از تصاویر استفاده شد. به این صورت که شیب بالای ۳۰٪ به عنوان کوه در نظر گرفته شد. سپس از شاخص گیاهی NDVI در تصویر برای جدا کردن پوشش سبز از سایر اراضی بهره گرفته شد. پس از تولید NDVI با استفاده از مشاهدات میدانی و تصاویر FCC، حدود آستانه مناسب جهت استخراج طبقه پوشش گیاهی مشخص شد. بعد از حذف پوشش گیاهی و کوه از تصاویر، از روش هیبرید برای جداسازی طبقات مختلف پوشش اراضی بهره گرفته شد. ابتدا طبقه‌بندی نظارت نشده بر تصاویر اعمال شد و پس از شناسایی طبقات مختلف و بازتاب پدیده‌های متفاوت با کمک نقشه‌های توپوگرافی بهترین نمونه‌های تعلیمی انتخاب و برای انجام طبقه‌بندی نظارت شده مورد استفاده قرار گرفتند. در روش طبقه‌بندی نظارت شده از الگوریتم حداکثر احتمال که از دقت

میانگین غلظت کادمیوم در منطقه ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که از میانگین جهانی کادمیوم (۰/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای این فلز کمتر می‌باشد (۱۹). میانگین فلزات مس و سرب به ترتیب ۳۸/۴ و ۲۵/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که از میانگین جهانی برای فلز مس (۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۱۱) و سرب (۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۱۹) بیشتر می‌باشد. نتایج آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف در جدول ۱ نشان داد که غلظت فلزات سنگین کادمیوم و مس و پارامترهای فیزیکی شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه از توزیع نرمال برخوردارند اما غلظت سرب از توزیع نرمال برخوردار نبود. نرمال بودن توزیع برای متغیرهای تحت مطالعه زمین آمار ضروری است و تجاوز از حالت نرمال مانند چولگی و کشیدگی زیاد به ساختار واریوگرام و نتایج کریجینگ آسیب وارد می‌کند. در این مطالعه با توجه به عدم وجود داده‌های منفی از تبدیل لگاریتم برای نرمال کردن غلظت عنصر سرب استفاده شد. که با تبدیل لگاریتمی غلظت سرب نیز نرمال شد $(k-s=0/3)$.

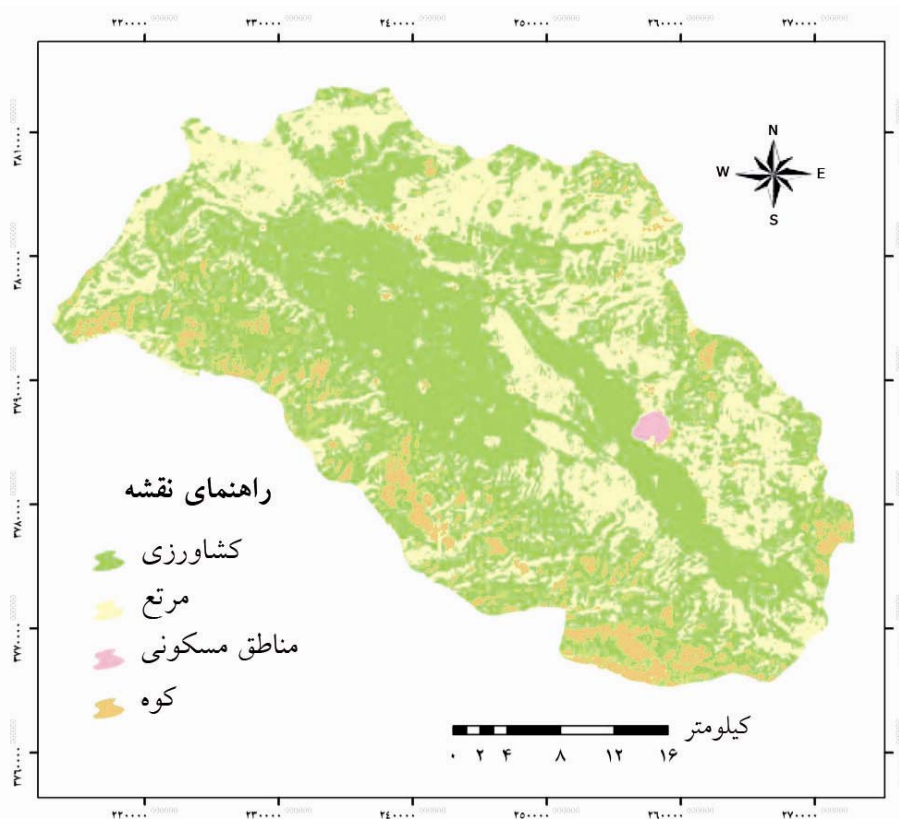
وجود داده‌های پرت یا نامتعادل در بین داده‌ها منجر به انحراف میانگین از میان شده و به شدت چولگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. متغیر به هر شکلی که مورد مطالعه قرار گیرد دارای توزیع فراوانی مخصوص به خود است. لذا می‌توان با استفاده از اصول آمار و ریاضی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل کرد (۷). فلزات کادمیوم و مس داده پرتی نداشتند، اما برای فلز سرب ۲ داده پرت وجود داشت. وجود مقادیر غیر عادی می‌تواند منجر به گسستگی داده‌ها شود که این ممکن

که توزیع داده‌ها پیچیده باشد و برآزش آن‌ها توسط توزیع‌های معمول آماری مشکل باشد، کریجینگ گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷). همانطور که قبلاً ذکر گردید، کادمیوم و مس خاک سطحی منطقه مورد مطالعه دارای توزیع نرمال بوده بنابراین برای این فلزات امکان استفاده از همه روش‌ها وجود دارد اما سرب خاک سطحی توزیع نرمال نداشت (جدول ۱)، که با تبدیل لگاریتمی نرمال شد بنابراین برای لگاریتم سرب هم می‌توان از همه روش‌ها استفاده کرد. جدول ۲، آنالیز همبستگی مکانی روش‌های کریجینگ با مدل‌های مختلف (نمایی و کروی) را برای فلزات سنگین مورد مطالعه ارائه داده است. MBE باید به مقدار ایده‌آل صفر و RMSS باید به مقدار ایده‌آل ۱ نزدیک باشد. همچنین هرچه مقادیر RMSE و MAE کمتر باشد، دقت روش کریجینگ افزایش می‌یابد (۷).

بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار است، استفاده شد. در مرحله بعد لایه‌های تولید شده مربوط به طبقات کاربری‌ها در نرم افزار GIS با یکدیگر تلفیق و در نهایت نقشه پوشش اراضی در ۴ طبقه تهیه شد (شکل ۳). بیشترین مساحت مربوط به کاربری مرتع (۴۶ درصد) بود. جهت تعیین دقت نقشه تولید شده از تعداد ۲۰ نمونه تعلیمی از کاربری‌های مختلف با پراکنش مناسب استفاده شد، صحت کلی، ۹۵٪ و کاپای کلی ۹۱٪ بدست آمد. لونا و همکاران (۲۴) برای بارزسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در منطقه نایروبی برای تفکیک مناطق مسکونی از مناطق ساحلی و خاک لخت، از یک ماسک بر روی مناطق مسکونی استفاده کردند و آن را از تصاویر جدا نمودند و بر روی هر کدام از تصاویر به طور جداگانه طبقه‌بندی نظارت شده به روش حداکثر احتمال را اعمال کرده و سپس لایه‌های تولید شده را با استفاده از GIS با هم ترکیب کردند.

توزیع مکانی فلزات

شرط اول استفاده از کریجینگ خطی (معمولی و ساده)، نرمال بودن توزیع داده‌هاست (۷). اما در شرایطی



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی شهرستان نهاوند

۰/۷۵ وابستگی مکانی ضعیفی را نشان می‌دهد (۲۵). در این تحقیق مقدار این نسبت برای کادمیوم، مس و سرب خاک سطحی در روش‌های مورد بررسی بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ بود (جدول ۲). با توجه به طبقه‌بندی مذکور، مقدار نسبت اثر قطعه‌ای به سقف برای فلزات سنگین مورد مطالعه، نشان دهنده وابستگی مکانی متوسطی می‌باشد که عوامل انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی، کوددهی و دیگر عملیات مدیریتی خاک که همبستگی مکانی را تغییر می‌دهند، می‌توان از عوامل کاهش دهنده همبستگی مکانی باشند.

لیو و همکاران (۲۳) تغییرات مکانی عناصر سنگین مس، روی، سرب، کروم و کادمیوم و امکان آلودگی این عناصر برای انسان و محیط زیست را در چین مورد بررسی قرار دادند. از کریجینگ معمولی و لگاریتم نرمال کریجینگ برای نقشه سازی توزیع مکانی فلزات استفاده کردند، برای اعتباریابی روش درون‌یابی از RMSE استفاده شد و از تابع اثر قطعه‌ای $(C0/C0+C)$ به عنوان معیاری برای بررسی ساختار فضایی متغیرها استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مس، سرب و کروم همبستگی مکانی ضعیف و روی و کادمیوم دارای همبستگی مکانی متوسط است. یانگ و همکاران (۲۸) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات عناصر کادمیوم، آرسنیک، کروم، مس، جیوه و سرب در منطقه از مدل تغییر نمایی کروی تبعیت می‌کند، اما نیکل و روی به ترتیب دارای مدل تغییر نمایی خطی و گوسی بودند. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف در همه عناصر ۲۵ تا ۷۵ درصد و دارای همبستگی مکانی متوسط بودند. آن‌ها فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از سوخت‌های فسیلی، قارچ‌کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب را منابع عمده این عناصر سنگین به خاک معرفی نمودند.

برای کادمیوم خاک سطحی کریجینگ گسسته با مدل نمایی دارای کمترین مقدار RMSE (۰/۰۱) و RMSS (۱/۰۴) در بین روش‌های مورد استفاده می‌باشد، همچنین از نظر MAE (۰/۰۰۲) و MBE (۰/۰۰۴) دارای مقادیر کمتری بود. به طور کلی مدل نمایی در روش کریجینگ گسسته به دلیل داشتن خطای RMSE و RMSS کمتری نسبت به سایر مدل‌ها، دارای بالاترین میزان دقت بود و بنابراین برای تهیه نقشه توزیع مکانی کادمیوم خاک سطحی مورد استفاده قرار گرفت. برای مس خاک سطحی، بین روش‌های کریجینگ با مدل‌های مختلف، کمترین مقدار برای خطاهای RMSE (۱/۱۵)، RMSS (۰/۰۹)، MAE (۰/۱۸) و MBE (۰/۰۰۵) مربوط به روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی می‌باشد. بنابراین نقشه مکانی توزیع مس خاک سطحی با استفاده از روش کریجینگ معمولی با مدل نمایی تهیه گردید. زیرا دارای بالاترین میزان دقت در بین روش‌های مورد استفاده بود. برای سرب خاک سطحی، بین روش‌های کریجینگ با مدل‌های مختلف، کمترین مقدار برای خطاهای RMSE (۰/۷۵)، RMSS (۰/۹۵)، MAE (۰/۱۳) و MBE (۰/۱۱) مربوط به روش کریجینگ گسسته با مدل کروی می‌باشد. بنابراین نقشه مکانی توزیع مس خاک سطحی با استفاده از روش کریجینگ گسسته با مدل کروی تهیه گردید (جدول ۲).

به صورت تئوری نسبت اثر قطعه‌ای به سقف $(C0/C+C0)$ در زمین آمار می‌تواند به عنوان معیاری برای طبقه‌بندی وابستگی ویژگی‌های خاک در نظر گرفته شود. ضرایب ۰/۲۵ و ۰/۷۵ دو آستانه برای شدت نسبی وابستگی مکانی است. متغیری با ضریب کمتر از ۰/۲۵ نشان دهنده وابستگی مکانی قوی می‌باشد. متغیری با ضریب بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ وابستگی مکانی متوسط دارد. همچنین متغیر بزرگتر از

جدول ۲. نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه

عناصر	روش درونیابی	مدل	C0	C0+C	CO/C+C0	Mean	MS	RMSS	MAE	MBE	RMSE
کادمیوم	گسسته	نمایی	۰/۳۷	۰/۹۱	۰/۴۰	۰/۰۰۱	-۰/۰۱	۱/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱
مس	معمولی	نمایی	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۶	۰/۲	۰/۰۰۲	۰/۹	۰/۱۸	۰/۰۰۵	۱/۱۵
سرب	گسسته	کروی	۰/۴۸	۱/۰۳	۰/۴۶	-۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۷۵

نقشه توزیع مکانی فلزات

نقشه‌های توزیع غلظت کادمیوم، مس و سرب خاک سطحی در شکل ۴ (الف، ب، ج) ارائه شده است. مناطق دارای غلظت بالای کادمیوم (۰/۵-۰/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به صورت دو لکه با مساحت تقریباً ۱۰ کیلومتر مربع در جنوب و شرق شهرستان نهاوند واقع شده است. مناطق دارای غلظت بالای مس (۵۲-۴۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با مساحت تقریباً ۶ کیلومتر مربع به صورت دو لکه کنار هم در شمال غرب شهرستان نهاوند مشاهده می‌شود. برای سرب نیز سه لکه با مساحت تقریباً ۱۱۶ کیلومتر مربع (یک لکه در شمال، یک لکه در جنوب و یک لکه در شرق شهرستان نهاوند) دیده می‌شود که دارای غلظت‌های بالای سرب خاک سطحی (۳۵/۸-۳۲/۴) می‌باشند.

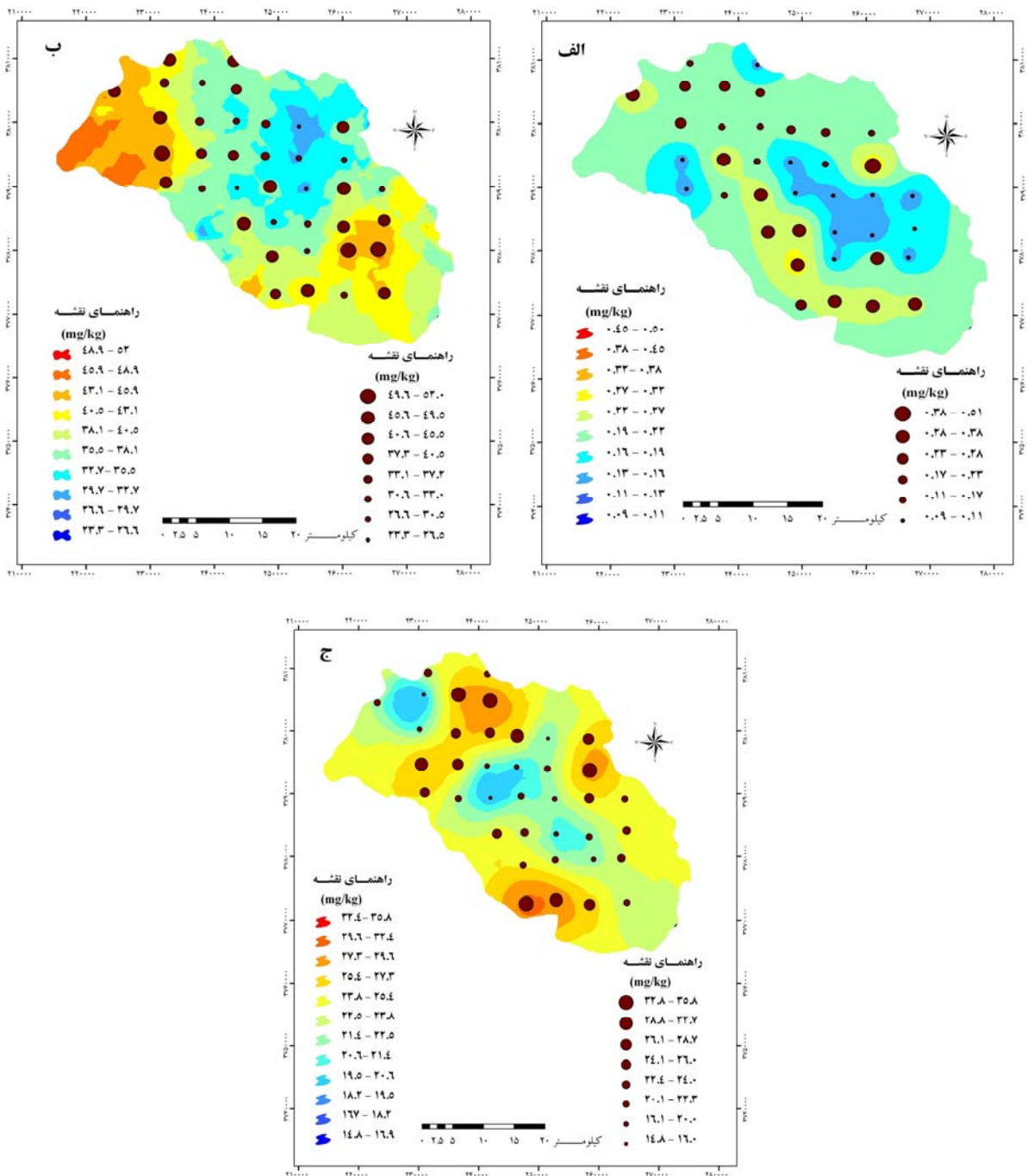
امره و همکاران (۱۶) گزارش کردند که توزیع کلی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی در مقیاس کوچک، بیشتر وابسته به تغییرات محلی در سنگ شناسی، کاربری اراضی، فرآیندهای آب و هوایی و میزان ماده آلی است. لادو و همکاران (۲۲) نیز به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های مکانی مثل زمین شناسی و کاربری اراضی روی توزیع غلظت فلزات سنگین تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین با رویهم گذاری نقشه‌های زمین شناسی (شکل ۲)، کاربری اراضی (شکل ۳) و توزیع غلظت کادمیوم خاک سطحی (شکل ۴الف) مشخص شد که مناطق با غلظت بالای کادمیوم با سنگ‌های بستر آبرفتی و آهکی و با کاربری کشاورزی و مرتع مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که بالا بودن غلظت کادمیوم خاک سطحی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه، منشا زمین شناسی و کشاورزی دارد. استفاده بیرویه از کودهای شیمیایی (میانگین مصرف کود اوره حدود ۴۱۰، کود پتاس حدود ۳۰۰ و کود فسفره حدود ۳۷۰ کیلو گرم در هکتار در سال) می‌تواند یکی از عوامل افزایش غلظت کادمیوم در خاک‌های کشاورزی باشد. مطالعه جیاکین و همکاران (۱۷) بر روی توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک نشان

داد که غلظت عنصر کادمیوم تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده، به طور طبیعی غلظت کادمیوم در خاک در سنگ بستر آهکی و شیل بالا می‌باشد (۱۴). همچنین بر اساس نتایج لادو و همکاران (۲۲) کادمیوم خاک همبستگی بالایی را با کاربری کشاورزی و سنگ آهک نشان داده است.

با رویهم گذاری نقشه‌های زمین شناسی (شکل ۲)، کاربری اراضی (شکل ۳) و توزیع غلظت مس خاک سطحی (شکل ۴ب) مشخص شد که مناطق با غلظت بالای مس با سنگ‌های بستر آهکی و آذرین دگرگونی و با کاربری کشاورزی و مرتع مطابقت دارد.

به طور کلی عامل اصلی در افزایش غلظت مس در بخش‌هایی از منطقه مطالعه زمین شناسی می‌باشد اما مصرف بالای کود در کشاورزی نیز باعث تجمع هر چه بیشتر این فلز در خاک شده است. خداکرمی (۵) در مطالعه‌ای که در قسمتی از استان همدان انجام داد به این نتیجه رسید که عامل اصلی غلظت بالای مس در منطقه عوامل طبیعی از جمله بستر شیل، آهک و آبرفتی می‌باشد. اما مصرف بالای کودهای شیمیایی هم می‌تواند باعث افزایش هر چه بیشتر غلظت مس در زمین‌های کشاورزی باشد.

با رویهم گذاری نقشه‌های زمین شناسی (شکل ۲)، کاربری اراضی (شکل ۳) و توزیع غلظت سرب خاک سطحی (شکل ۴ج) مشخص شد که مناطق با غلظت بالای سرب با سنگ‌های بستر سنگ آهکی و آبرفتی و با کاربری کشاورزی و مرتع مطابقت دارد. به طور کلی عامل اصلی در افزایش غلظت سرب در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه زمین شناسی می‌باشد اما مصرف بالای کود در کشاورزی نیز در تجمع بیشتر این فلز در خاک بی تأثیر نبوده است. لونا و همکاران (۲۴) نشان دادند غلظت عنصر سرب همبستگی بالایی با کاربری کشاورزی و سنگ آهک نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه توزیع مکانی فلزات کادمیوم (الف)، مس (ب) و سرب (ج) در خاک سطحی

نتیجه گیری

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داد که عناصر کادمیوم، مس و سرب منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارند. در واقع این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده بود. با توجه به مصرف غیر اصولی کود

نقشه پهنه‌بندی غلظت فلز سنگین کادمیوم با استفاده از روش کریجینگ گسسته و مدل نمایی، فلز مس با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی و فلز سرب با استفاده از روش کریجینگ گسسته و مدل کروی تهیه شد. تجزیه و تحلیل نقشه توزیع مکانی فلزات و نقشه‌های کاربری اراضی و

۷. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری (آمار مکانی). انتشارات پلک، ۲۴۰ صفحه.
۸. مخدوم، م.، ع. ا. درویش صفت، ه. جعفرزاده، و ع. مخدوم. ۱۳۸۶. ارزیابی و برنامه ریزی محیط زیست با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.
۹. نصیری، ع. و. ۱۳۷۷. روش‌های طبقه‌بندی طیفی و فضایی در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی. وزارت کشاورزی معاونت برنامه ریزی و بودجه اداره کل آمار و اطلاعات، شماره ۷۷/۲۶، تهران.
10. Biggar, J. W. and D. R. Nielsen. 1976. Spatial variability of the leaching characteristic of a field soil. *Water Res.* 12 (1):78-84.
11. Bowen, h. j. m. 1979. *The environmental chemistry of elements*, academic press: London, new York.
12. Cao, H. F., A. C. Chang and A. L. Page. 1984. Heavy Metal Contents of Sludge-Treated Soils as Determined by Three Extraction Procedures. *J Environ Qual.* 13 (4):632-634.
13. De temmerman, L., L. Vanongeval, W. Boon, M. Hoing and M. Geypens. 2003. Heavy metal content of arable soils in northern Belgium. *Water, Air, & soil pollut.* 148 (1):61-76.
14. Devos, W., M. J. Batista, A. Demetriades, M. J. Duris, J. Lexa, J. Lis, K. Sina and P. J. Connor. 2005. Metallogenic mineral Provinces and world class ore deposits in Europe, In: *Geochemical Atlas of Europe*. Salminen, R. <http://www.library.Wur.nl/isirc/index2.Part1> Background Information, Methodology and Maps.
15. Facchinelli, A., E. Sacchi, and I. mallen. 2001. Multivariate statistical and gis-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ Pollut.* 114 (3):313-324.
16. Imrie, C. E., A. Korre, G. Munoz-Melendez, I. Thornton, and S. Durucan. 2008. Application of 20 factorial kriging analyses to the FOREGS European topsoil geochemistry database. *Science of The Total Environment.* 393 (1): 96-110.
17. Jiachun, S., W. Haizhen, X. Jianming, W. Jianjun, L. Xingmei, and Z. Haiping. 2007. Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of changing, China. *Environ Geol.* 52:1-10.
18. Juang, K. W., D. Y. Lee, T. R. Ellsworth. 2001. Using rank-order geostatistics for spatial interpolation of highly skewed data in heavy metal contaminated site. *J Environ Qual.* 30:894-903.
19. Kabata, A. and H. Pendias. 2001. *Trece Elements in Soils and Planets.* 413 p. CRC Press, Boca Raton, London, New York.
20. Kamusoko, C., and M. Aniya. 2006. Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura district Zimbabwe. *Land degradation & development.* 18:221-233.

در منطقه مورد مطالعه (میانگین مصرف کود اوره حدود ۴۱۰، کود پتاس حدود ۳۰۰ و کود فسفره حدود ۳۷۰ کیلو گرم در هکتار در سال) و وجود فلزات سنگین در ساختار شیمیایی این کودها امکان تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک‌های منطقه وجود دارد. جمع آوری اطلاعات پایه زیست محیطی برای منابع حیاتی از جمله خاک ضروری می‌باشد، با پیشرفت بشر در پردازش داده‌ها و استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، تهیه نقشه‌های کمی آلودگی‌های اجزای تشکیل دهنده محیط زیست (آب، هوا و خاک) آسان‌تر و سریع‌تر شده است. روش‌های زمین آمار به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مربوط به نمونه‌های جمع آوری شده بسیار مفید می‌باشد، همچنین به عنوان روش مناسبی برای درون‌یابی و تهیه نقشه آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند.

منابع مورد استفاده

۱. بروگنورت، ج. ۱۳۷۱. شیمی خاک. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۲. بی‌نام. ۱۳۸۵. سالنامه آماری استان همدان. معاونت برنامه ریزی دفتر آمار و اطلاعات، استانداری همدان.
۳. پوی، ه. ۱۳۷۶. مهندسی محیط زیست. انتشارات دانشگاه صنعتی سهند.
۴. خداکرمی، ل.، ع. ر. سفیانیان، ا. محمدی توفیق، و ن. میرغفاری. ۱۳۹۰. بررسی غلظت عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک خاک با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودآهنگ، رزن و خونجین - تلخاب در استان همدان). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۲(۱): ۷۹-۹۱.
۵. خداکرمی، ل. ۱۳۸۸. ارزیابی منابع آلودگی‌های غیر نقطه‌ای کشاورزی با استفاده از RS و GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. راستین، ب. ۱۳۷۹. مفاهیم و روش‌ها در آمارهای محیط زیست آمار محیط زیست طبیعی. اداره امور اقتصادی و اجتماعی بین المللی - اداره آمار سازمان ملل متحد، مرکز آمار ایران.

- agricultural top soils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution*. 144 (3):1001-1012.
26. Shi, J., H. Wang, J. Xu, J. Wu, X. Liu, H. Zhu and C. Yu. 2009. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environmental Geology*. 52: 1-10.
 27. Sridhara chary, N., C. T. Kamala and D. Samuel suman raj. 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotox. Environ. Safe*. 69 (3):513-524.
 28. Yang, P., R. Mao, H. Shao and Y. Gao. 2009. An investigation on the distribution of eight hazardous heavy metals in the suburban farmland of China. *Journal of Hazardous Materials*. 167 (1-3):1246-1251.
 21. Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis, part I, physical and mineralogical methods*: Soil Science Society of America INC, Wisconsin.
 22. Lado, L. R., T. Hengl, and H. I. Reuter. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 148 (2):189-199.
 23. Liu, X., J. Wu, and J. Xu. 2006. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. *Environmental Pollution*. 141 (2):257-264.
 24. Luna, A. R. and A. R. Cesar. 2003. Land use, land cover changes and lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape ecology*. 18(2):159-171.
 25. Rodriguez Martin, J. A., M. L. Arias and J. M. Grau Corbi. 2006. Heavy metals contents in



The spatial distribution of heave metals cadmium, copper and lead in soil and sources of these metals (Case study: Nahavand city)

A. Shahbazi ^{1*}, A. R. Soffianian ², R. Afraz ³, L. Khodakarami ³

1. MSc. Student of Environmental, College of Natural Resources, Isfahan University of Technology

2. Assis. Prof. of Environmental, College of Natural Resources, Isfahan University of Technology

3. Graduated MSc. of Environmental, College of Natural Resources, Isfahan University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 August 2011

Accepted 14 September 2011

Available online 17 October 2011

Keywords:

Geostatistics

Hybrid method

Heavy metal

Remote sensing

Geographic Information System (GIS)

ABSTRACT

The purpose of this study to determine the spatial distribution of heavy-metal cadmium, copper and lead, are using GIS and Geo-statistics, and Geological structure and Land use effects on the concentration of these metals in the soil. First, using 39 surface soils (0-20cm) random systematic sampling in Nahavand city in Hamadan province 1623 square kilometers were collected and total element concentrations, soil characteristics, including the pH, EC and organic matters were measured. Interpolation for heavy metals concentrations were used kriging methods, and assisting location correlation analysis, interpolation suitable method was chosen using RMSE and RMSS values and MAE and MBE function. For heavy metal's concentration maps, cadmium, we used Disjunctive Kriging and exponential model, for Copper, Ordinary Kriging and exponential models and Zinc, Disjunctive Kriging and Spherical model. Furthermore, for analyzing the metal's concentration distribution maps from land use and geology maps were used. Land use map using the hybrid method (The combination of supervised and unsupervised classification) on the image AWIFS 1387 with Kappa 0.91 and accuracy 95% was obtained. Interpolation map's analysis showed that the metals cadmium, Copper and Zinc have geological and agricultural origins. These metals are present naturally in soil, but human activity has caused the accumulation of these metals in the soil.

* Corresponding author e-mail address: ali.shahbazi.iut@gmail.com