



بررسی غلظت عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک خاک با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودرآهنگ، رزن و خونجین - تلخاب در استان همدان)

لقمان خداکرمی^{۱*}، علیرضا سفیانیان^۲، الهه محمدی توفیق^۳، نوراله میرغفاری^۲

۱. دانشجو سابق کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
 ۲. به ترتیب استادیار و دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
 ۳. دانشجو کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
 دریافت: ۱۱ آذر ۱۳۸۹
 پذیرش: ۱۰ فروردین ۱۳۹۰
 دسترسی اینترنتی: ۲۵ تیر ۱۳۹۰

واژه‌های کلیدی:

فلزات سنگین
 سیستم اطلاعات جغرافیای
 سنجش از دور
 زمین آمار
 فازی
 منابع آلودگی غیر نقطه‌ای

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی اثر آلودگی‌های غیرنقطه‌ای کشاورزی بر میزان غلظت فلزات سنگین مس، روی و آرسنیک و تهیه نقشه پتانسیل آلودگی خاک به این عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، زمین آمار و سنجش از دور است. با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک - تصادفی طبقه‌بندی شده ۱۳۵ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتری) از منطقه‌ای به وسعت ۷۲۶۲ کیلومتر مربع جمع آوری و غلظت کل عناصر، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH و ماده آلی برای کلیه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین ابتدا با کمک آنالیز همبستگی مکانی، مناسبترین روش پهنه‌بندی با استفاده از توابع MAE و MBE انتخاب گردید. سپس نقشه پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین 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. همچنین برای بررسی تجزیه و تحلیل نقشه‌های توزیع غلظت فلزات از نقشه‌های کاربری اراضی، زمین شناسی و نقشه برآورد غلظت زمینه فلزات سنگین استفاده شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره ای AWIFS و اعمال طبقه بندی فازی و با کاپای ۰/۸۸ و دقت ۰/۹۰ تهیه گردید. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین نشان داد که عناصر مس و روی منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارند و عنصر آرسنیک از مواد مادری منشأ می‌گیرد ولی فعالیت‌های کشاورزی به دلیل مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی می‌تواند باعث افزایش هر چه بیشتر این عناصر در خاک شود.

مقدمه

منابع حیاتی از جمله خاک ضروری است. در این راستا، بررسی وضعیت آلودگی خاک به فلزات سنگین در مناطقی که بواسطه‌ی ساختار زمین شناسی ویژه، فعالیت‌های صنعتی و یا کشاورزی احتمال انباشت فلزات سنگین در خاک وجود دارد، ضروری است.

به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مرتبط با نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از روش‌های زمین آمار بسیار مفید می‌باشند (۱۳). روش‌های کریجینگ برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک پتانسیل بالایی دارند و همچنین به عنوان روش مناسبی برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند (۱۴).

مطالعات متعددی در کشورهای مختلف برای درون‌یابی و تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در خاک انجام شده است. لادو و همکاران (۱۷) مدل‌سازی توزیع هشت فلز سنگین حساس را (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی) در خاک‌های سطحی اروپا با استفاده از ۱۵۸۸ نمونه زمین مرجع شده و روش کریجینگ - رگرسیون، انجام دادند و صحت پیشگویی‌ها، با استفاده از روش تعیین اعتبار (cross validation) ارزیابی شد. جیاکن و همکاران (۱۳) تغییرات مکانی عناصر As, Cr, Cu, Pb, Cd, Hg را در چانگزینگ استان ژیانگ در چین با بررسی ۶۵۵ نمونه خاک تعیین کردند. آن‌ها فنون زمین آمار و GIS را بکار بردند و از کریجینگ لوگ نرمال و کریجینگ معمولی برای نقشه‌سازی As, Cu, Pb, Hg استفاده کردند (۱۳). همچنین کروین و واگنت (۸)، جوانگ و همکاران (۱۴) و رودرگوز و همکاران (۲۲) در مطالعات خود از زمین آمار برای تهیه نقشه‌های توزیع غلظت فلزات سنگین استفاده کردند. بنابراین استفاده از زمین آمار علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها قادر به تهیه نقشه‌های کمی توزیع آلودگی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد. این روش‌ها امکان کمی نمودن توزیع مکانی غلظت عناصر را فراهم می‌کند. نقشه‌های مشخص کننده مناطق آلوده به فلزات سنگین و یا در معرض خطر آلودگی می‌تواند اطلاعات مهمی را در زمینه انتخاب و یافتن مناطق مناسب جهت کاربری‌های استفاده از سرزمین یا پاکسازی خاک در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. افزایش فعالیت‌های کشاورزی توام

تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد جهان با توجه به محدود بودن منابع زمین و به نحوی که کمترین تأثیر را بر محیط زیست انسان بگذارد، یکی از مباحث بسیار مهم جهان امروز بشمار می‌رود. افزایش فعالیت‌های صنعتی توام با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش پیش روی انسان عصر حاضر است (۲). دو نوع منبع برای آلودگی فلزات سنگین خاک وجود دارد، منابع طبیعی و منابع انسانی. منابع طبیعی شامل ورود فلزات سنگین از طریق فرسایش مواد مادری خاک بوده و بنابراین با زمین شناسی منطقه مرتبط می‌باشد. صنایع آهن و فولاد، معدن‌کاری، 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 خاک و آب در اکوسیستم‌های سطحی هستند (۱۱). استفاده از کودها و مواد شیمیایی در اراضی کشاورزی منجر به افزایش غلظت فلزات سنگینی مثل کروم، کبالت، کادمیوم، سرب، مس و روی در این مناطق می‌شود (۱۷). آلودگی فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی نیز برای سلامتی انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی و امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آبهای زیرزمینی محسوب می‌شوند (۶). علی‌رغم تفاوت‌هایی که در رفتار عناصر سنگین از لحاظ تحرک و قابلیت جذب آن‌ها در خاک وجود دارد، در اغلب موارد میزان خروج آن‌ها از طریق آبشویی و یا جذب به وسیله گیاهان نسبت به میزان ورود آن‌ها به خاک بسیار کمتر است. این امر موجب انباشته شدن تدریجی عناصر در خاک می‌شود. روند انباشت عناصر سنگین در خاک بسیار کند بوده و اثرات آن پس از دهها سال قابل تشخیص است. به همین دلیل فرآیند انباشت عناصر تقریباً یک فرآیند برگشت ناپذیر است که در دراز مدت موجب کاهش کیفیت خاک و در نهایت تخریب اراضی کشاورزی می‌شود (۱). بنابراین برای نیل به توسعه پایدار خصوصاً در بخش کشاورزی جمع‌آوری اطلاعات پایه زیست محیطی برای

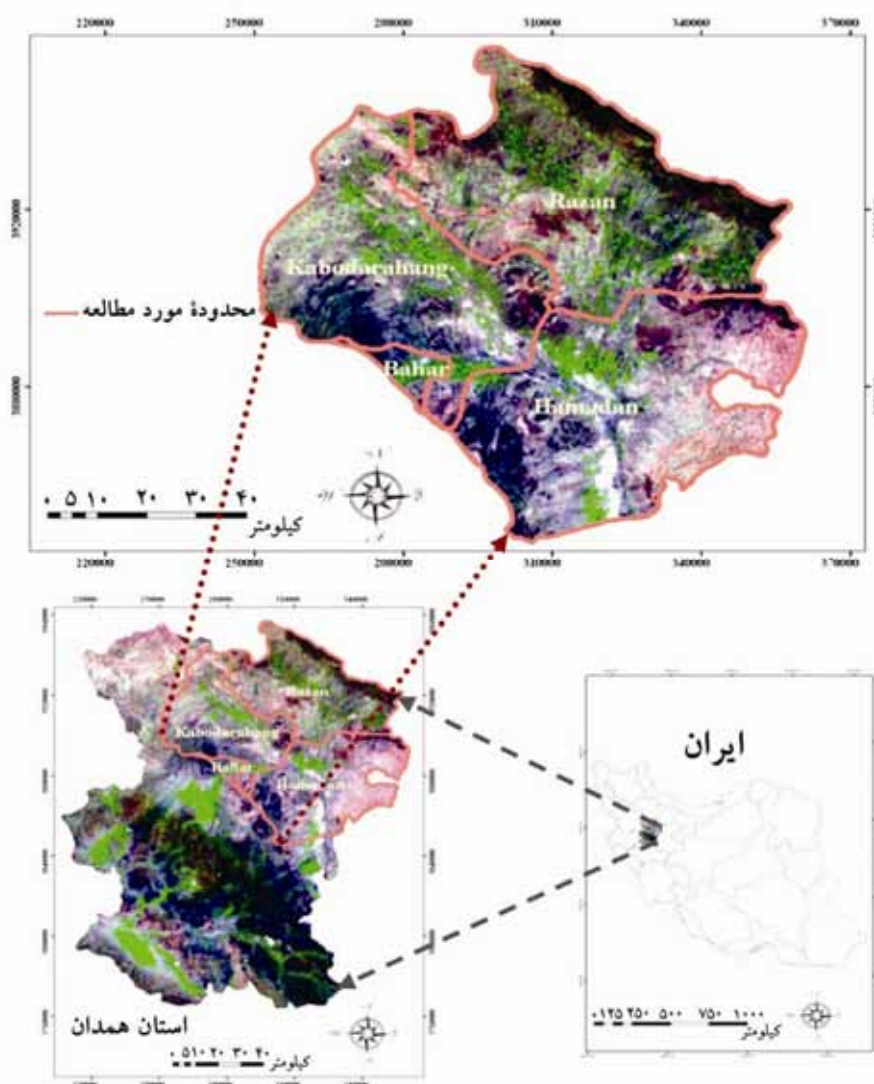
کشاورزی استان همدان به شمار می‌آید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

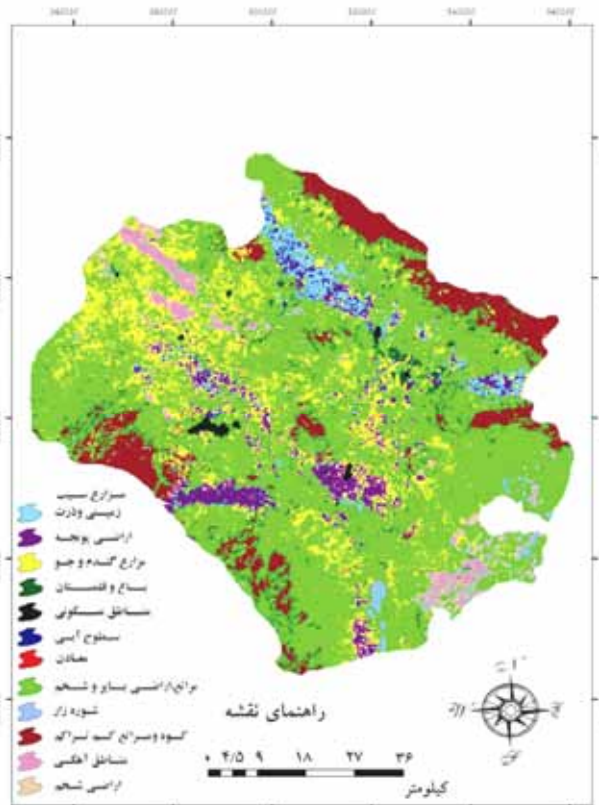
منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۷۲۶۲ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیای ۳۵۱۰۷۴/۶۸ تا ۳۶۰۷۷۸/۶۸ و عرض‌های جغرافیایی ۳۸۴۵۰۴۸ تا ۳۹۵۶۶۵۶ در استان همدان واقع شده و شامل سه زیر حوزة کبودرآهنگ، رزن و خونجین می‌باشد. بیشترین وسعت منطقه مورد مطالعه در دو زیرحوزه کبودرآهنگ و رزن قرار گرفته و شامل شهرستان‌های رزن، کبودرآهنگ و بخشی از شهرستان‌های بهار و همدان است (شکل ۱).

با تولید آلاینده‌ها یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش پیش روی انسان عصر حاضر است. در میان آلاینده‌های کشاورزی فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده در غلظت‌های کم دارند، از اهمیت خاصی برخوردار هستند. این عناصر به دلیل تحرک کم به مرور در خاک انباشته می‌شوند. لذا بررسی توزیع غلظت عناصر سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است. هدف از این مطالعه، تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین مس، روی و آرسنیک در خاک سه حوزة آبخیز کبودرآهنگ، رزن - قهاوند و خونجین - تلخاب در استان همدان با استفاده از تکنیک‌های GIS و روش‌های زمین‌آمار و بررسی تأثیرات ساختارهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی بر روی غلظت این فلزات در خاک می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از مراکز عمده



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

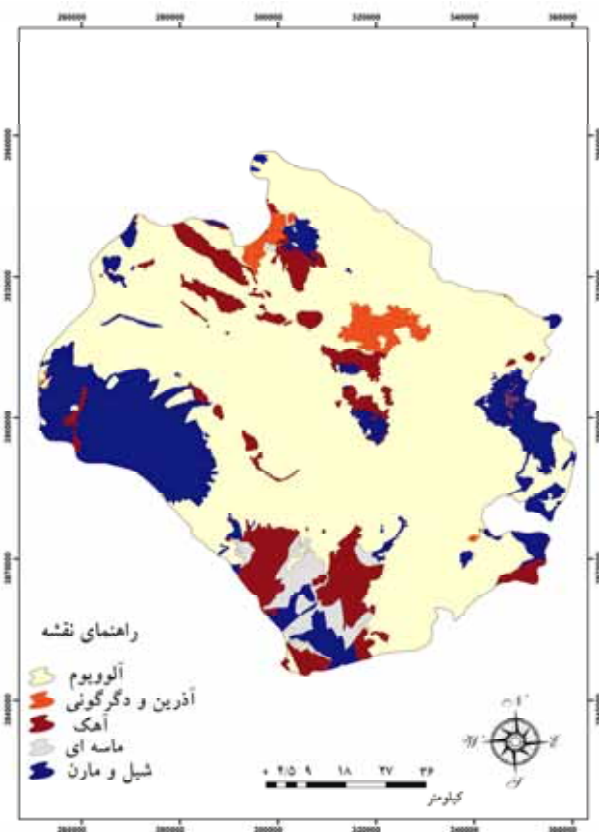
کاربری عمده این منطقه کشاورزی می‌باشد (۳۳/۴ درصد از وسعت منطقه) و بخش عمده زمین‌های کشاورزی استان همدان در این منطقه واقع شده است. محصولات غالب منطقه شامل گندم، جو یونجه و سیب زمینی است. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 از سنجنده AWIFS برای سال ۱۳۸۷ تهیه گردیده است (شکل ۲). حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریایه ترتیب ۱۶۷۹ متر و ۲۹۳۳ متر است. تشکیلات زمین شناسی غالب در منطقه شامل تراس‌های آبرفتی مربوط به دوره زمین شناسی کواترنری و همین طور تشکیلات آهک اوریتالین و شیل و مارن مربوط به اواخر دوره کرتاسه و ماسه سنگ دگرگون شده مربوط به دوره ژوراسیک و گدازه‌های آندزیتی و سنگ آهک ریفی مربوط به اوایل نئوژن و اواخر پالئوژن می‌باشد، (شکل ۳)، (نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی). خاک‌های منطقه خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار سبک تا متوسط همراه با تجمع مقداری مواد آهکی می‌باشد. بافت خاک منطقه مورد مطالعه به طور عمده لومی رسی و لومی است.



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

روش نمونه برداری

نمونه برداری خاک بر اساس روش سیستماتیک تصادفی انجام گرفت. بر اساس شناختی که از منطقه حاصل شده بود و همچنین بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی در مناطقی که شدت استفاده از زمین زیاد بود فاصله شبکه‌ها کمتر بود و مناطقی که صعب العبور بودند فاصله شبکه‌ها ۱۰ × ۲/۵ × ۲/۵ کیلومتر و در مناطقی که شدت استفاده از زمین کمتر بود و مناطقی که محل تلاقی شبکه‌ها به عنوان موقعیت نقاط نمونه برداری انتخاب شد. از نمونه برداری نقاط واقع در مناطق نظامی، قله‌ها و مکان‌های غیر قابل دسترس صرف نظر شد. در مجموع تعداد ۱۳۵ نمونه از کل منطقه برداشت گردید. نمونه برداری به شیوه مرکب انجام شد بدین ترتیب که در موقعیت نمونه برداری یک پلات ۲۰ × ۲۰ متر (ماکروپلات) زده و داخل آن به صورت ۷ سه پلات ۳ × ۳ متر (میکروپلات) زده شد، سپس از داخل هر میکروپلات تعداد ۵ نمونه خاک به صورت ضربدری از عمق ۲۰-۰ سانتی متر



شکل ۳. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد (۴).

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

که در این رابطه: $Z^*(x_0)$ = مقدار تخمین کمیت در نقطه مجهول x_0 ؛ λ_i = وزن یا اهمیت نمونه i ام؛ $Z(x_i)$ = مقدار کمیت در نمونه i ام. در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی برای بررسی توزیع غلظت فلزات سنگین کبالت، کروم و نیکل استفاده شد. 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 روش‌های معتبر ارزیابی در این زمینه می‌باشند، استفاده شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

توصیف آماری غلظت عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده در جدول ۱ آورده شده است. در بین عناصر مورد مطالعه روی دارای کمترین و آرسنیک دارای بیشترین ضریب تغییرات می‌باشد. ضریب تغییرات غلظت در نقاط اندازه‌گیری شده برای عناصر مس و روی کمتر از ۵۰ درصد و برای آرسنیک بالاتر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیانگر وجود تغییرات زیاد غلظت آرسنیک و عدم وجود تغییرات خیلی زیاد غلظت روی و مس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۱).

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۲ نشان می‌دهد که غلظت این عناصر بجز آرسنیک دارای توزیع نرمال می‌باشند. در این مطالعه برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از آماره کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نرمال بودن توزیع برای متغیرهای تحت مطالعه زمین آمار ضروری است و تجاوز از حالت نرمال مانند چولگی و کشیدگی زیاد می‌تواند به ساختار واریوگرام و نتایج کریجینگ آسیب وارد کند. در این مطالعه با توجه به عدم وجود داده‌های منفی از تبدیل لگاریتم برای نرمال کردن غلظت عنصر آرسنیک استفاده شد.

برداشت و پس از مخلوط کردن آن‌ها یک نمونه مرکب به وزن حدود ۲ کیلوگرم برداشت شد.

تجزیه خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک

نمونه‌های در هوای آزاد خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند و برای آنالیز آماده گردیدند. درصد مواد آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فروسولفات آمونیوم و دی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ، EC به وسیله EC متر و pH نمونه‌ها در گل اشباع خاک با استفاده با استفاده از pH متر اندازه‌گیری شد (۱۶). عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک نیز با استفاده از HCl و HNO₃ صورت گرفت (۷). غلظت کل عناصر سنگین مس، روی و آرسنیک با استفاده از دستگاه ICP-MS در آزمایشگاه شیمی مؤسسه تحقیقات پیشرفته فرآوری مواد معدنی ایران، اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از آماره کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از روش تبدیل لگاریتم برای نرمال کردن آن استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین با یکدیگر و با سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شد. همچنین با استفاده از نمودار جعبه‌ای، داده‌های خارج از رده شناسایی و تصحیح شدند، ترسیم نمودار جعبه‌ای، بر پایه محاسبه پنج آماره شامل میانه، اولین و سومین چارک و دو مقدار مجاور می‌باشند. مقادیر اخیر را اصطلاحاً مقدار مجاور پایینی و مقدار مجاور بالایی می‌نامند. خطوط میانی در هر box موقعیت میانه هر نمونه را نشان می‌دهد. نقاط بیرونی نقاطی هستند که کمتر از $A - = Q1 - 1/5$ و بیشتر از $A + = Q3 + 1/5$ باشند که با دایره نشان داده می‌شود. داده‌های خیلی پرت نقاطی هستند که کمتر از $A - = Q1 - 3$ و بیشتر از $A + = Q1 + 3$ می‌باشند (۳).

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

برای بررسی تغییرات مکانی و برآورد غلظت فلزات سنگین از روش میانبایی کریجینگ (رابطه ۱) در محیط نرم

می‌باشند (کمتر از ۰/۶). اما همبستگی فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی (اسیدیته و درصد ماده آلی) با فلزات سنگین معنی‌دار نمی‌باشد. همبستگی بالا بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق فعالیت‌های کشاورزی، از طریق اتمسفر و یا از طریق مواد مادری خاک باشد. در مطالعه انجام شده توسط یالچین و همکاران (۲۳) نیز همبستگی بین فلزات سنگین از روش ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد و نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد که فلزاتی که همبستگی قوی با هم دارند احتمالاً منابع آلاینده یکسانی دارند. همچنین امینی و همکاران (۱) در مطالعه خود همبستگی بین فلزات سنگین سرب، کادمیوم، مس و کبالت خاک را ناشی از ورود این عناصر از طریق منبع مشترک دانست. در این مطالعه فقط همبستگی روی و مس در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود که می‌تواند ناشی از منشاء مشترک مواد مادری باشد.

نمودار جعبه‌ای نشان داد که در توزیع غلظت نمونه‌های مربوط به عنصر روی دو داده پرت وجود دارد و برای سایر عناصر داده پرت وجود نداشت. وجود مقادیر غیر عادی می‌تواند منجر به گسستگی داده‌ها شود که این ممکن 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 برای هر فلز سنگین است و sd انحراف معیار آن‌ها 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. هاکن پکی و پیریرا و همکاران نیز در مطالعات خود برای نمایش توزیع داده‌ها و مشخص نمودن داده‌های پرت از آنالیز نمودار جعبه‌ای استفاده کردند (۲۱). نتایج ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۳ نشان می‌دهد که عناصر مورد مطالعه دارای همبستگی کم و متوسط

جدول ۱. توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پارامترهای خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	دامنه	میان	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
مس	۱۳/۵	۵۷	۳۴/۳۷	۴۳/۵	۳۴	۹/۱۱	۲۶/۵۰	۰/۱۱۸	-۰/۳۹
روی	۳۵	۱۵۰	۷۶/۷۱	۱۱۵	۷۶	۱۷/۴۹	۲۲/۷۹	۰/۶۵	۱/۶۱
آرسنیک	۴/۶۵	۸۵	۱۴/۶۵	۸۰/۳۵	۱۳	۸/۵۲	۵۸/۱۵	۴/۷۲	۳۴/۶۸
اسیدیته	۷/۲۳	۸/۳۷	۷/۷۸	۱/۱	۷/۷۹	۰/۲۲	۲/۸۲	۰/۰۹	۰/۲۲
درصد ماده آلی	۰/۰۳	۲/۶۹	۰/۶۴	۲/۷	۰/۵۵	۰/۵۱	۷۹/۶۸	۱/۷۸	۳/۷۴

* فلزات سنگین برحسب میلی گرم بر کیلوگرم و مواد آلی برحسب درصد می‌باشد.

جدول ۲. توزیع غلظت فلزات مورد مطالعه (آزمون کولموگروف - اسمیرنوف)

	روی	مس	آرسنیک
N	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵
Kolmogorov-Smirnov Z	۰/۶۸	۰/۵۴	۲/۱۵
Asymp. Sig. (2-tailed)	۰/۷۳	۰/۹۲۶	۰

جدول ۳. ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین و سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

	Cu	Zn	LogAs	pH	LogOM
Cu	۱				
Zn	۰/۲۳۳**	۱			
LogAs	۰/۱۰۶	-۰/۱۴۶	۱		
pH	۰/۰۲۳	۰/۰۱۱	۰/۰۵۸	۱	
LogOM	-۰/۰۲۶	-۰/۰۳۳	۰/۰۰۹	۰/۰۳۶	۱

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

توزیع مکانی فلزات سنگین

مدل کریجینگ معمولی به عنوان مناسبترین روش درون یابی استفاده شد. جیاکن و همکاران (۱۳) در مطالعه خود از تکنیک‌های کریجینگ معمولی و کریجینگ لگاریتم نرمال برای تهیه نقشه‌های الگوی مکانی عناصر (کروم، جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیوم و مس) استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که کادمیوم با مدل خطی، کروم با مدل نمایی و دیگر فلزات سنگین (جیوه، سرب، مس و آرسنیک) با مدل کروی منطبق هستند. آن‌ها از تابع $C0/C+C0$ به عنوان معیاری برای بررسی ساختار فضایی متغیرها استفاده کردند. در مطالعه انجام شده توسط لادو و همکاران (۱۷) از تکنیک کریجینگ رگرسیون برای درون یابی فلزات سنگین مورد مطالعه استفاده شد آن‌ها در این مطالعه از روش ارزیابی جک نایف برای اعتباریابی روش درون یابی استفاده کردند و نتایج ارزیابی نشان داد که کریجینگ رگرسیون، دارای صحت بالاتری از کریجینگ معمولی نیست.

نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین

نقشه توزیع غلظت کل آرسنیک در شکل ۴ نشان داده شده است. بیشترین غلظت آرسنیک بین ۳۸ - ۱۹/۴ میلی گرم بر کیلوگرم است، که در غرب منطقه واقع شده است. ساختار زمین شناسی این مناطق سنگ‌های آذرین و دگرگونی، شیل و مارن است. براساس مطالعات انجام شده توسط پیس و بتون جونس (۲۰) حد آستانه عنصر آرسنیک ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش شده است. با در نظر گرفتن این مقدار غلظت به عنوان شروع آلودگی خاک، بیشتر وسعت منطقه مورد مطالعه دارای غلظت بالاتر از این حد آستانه می‌باشد. اما به دلیل آهکی بودن خاک منطقه امکان حلالیت این عناصر در خاک زیاد نیست.

نتایج آنالیز همبستگی مکانی در جدول ۴ نشان می‌دهد که برای تمام متغیرها میانگین خطای تخمین و میانگین مجذور خطای کاهش یافته (RMSS) به مقدار ایده‌آل که به ترتیب صفر و یک است، نزدیک شده است. این موضوع نشان دهنده دقت بالای تخمین انجام شده است. نتایج واریوگرام‌های تجربی و مدل‌های برازش داده شده بر داده‌های فلزات سنگین نشان می‌دهد که عناصر مورد بررسی با مدل نمایی منطبق شدند. همچنین برای ارزیابی روش‌های درون یابی از توابع MAE (قدر مطلق میانگین خطا) و MBE (میانگین بایاس خطا) استفاده شد که به ترتیب دقت و انحراف مدل را نشان می‌دهند. به این صورت که قدر مطلق میانگین خطا، قدر مطلق میانگین اختلاف بین مقدار غلظت اندازه‌گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد و هر چه این مقدار به صفر نزدیکتر باشد میزان دقت فضایی روش بیشتر است. از طرف دیگر میانگین بایاس، میانگین اختلاف بین مقدار غلظت اندازه‌گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد که هر چه این میانگین کوچکتر باشد نشان دهنده اختلاف کمتر بین مقدار مشاهده شده و مقدار برآورد شده بوده و انحراف مدل کمتر است. نتایج ارزیابی روش‌های درون یابی با استفاده از تابع MAE و MBE در جدول ۴ آمده است. بعد از بررسی استحکام ساختار فضایی متغیرها با استفاده از نسبت $(C0/C0+C)$ مشخص شد که عناصر مورد مطالعه دارای ساختار فضایی قوی هستند. هرچه این نسبت از ۰/۵ کمتر باشد نشان دهنده وجود ساختار فضایی قویتری می‌باشد. بنابراین برای درون یابی این متغیرها از روش کریجینگ استفاده شد. بعد از ارزیابی روش‌های مختلف کریجینگ، از

جدول ۴. نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها، مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه

عنصر	روش درونیابی	Model	(C0)	C0+C	Mean	MS	RMSS	MAE	MBE
As	Ordinary Kriging	Spherical	۰/۳۸	۰/۴۳۸	۰/۳۵	۰/۰۳۷	۱/۱۲۳	۴/۶	-۰/۰۰۷۶
Zn	Ordinary Kriging	Exponential	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۰۰۹	۱/۰۳	۱۱/۷	-۰/۱۸۷۴
Cu	Ordinary Kriging	Exponential	۰/۳۳	۰/۹۷	۰/۰۶۸	۰/۰۰۸	۱/۰۲	۷/۴	-۰/۰۴۶۶

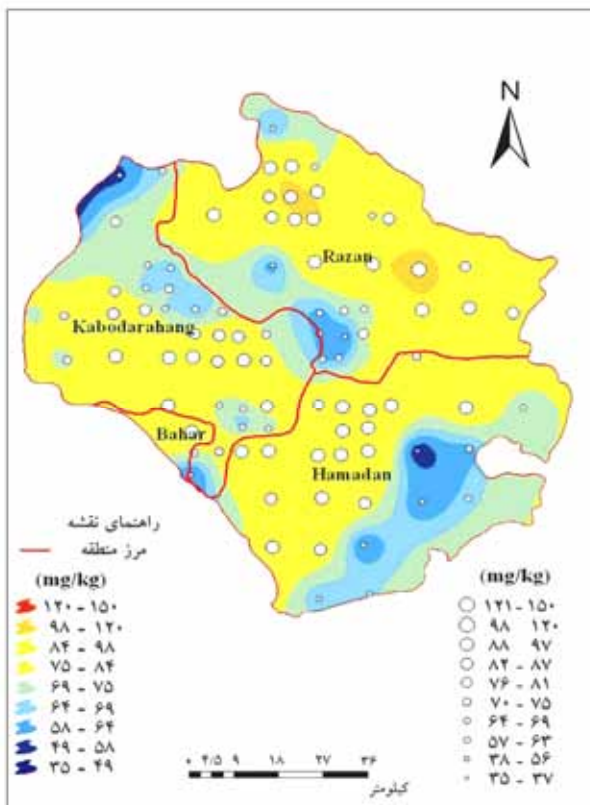
(Mean؛ میانگین خطای تخمین)، C₀: اثر قطعه ای، C₀+C: سقف واریو گرام، RMSS: خطای کاهش یافته

آهک، سنگ دگرگونی و شیل واقع شده است. بر اساس مطالعات انجام شده غلظت روی در سنگ آهک، شیل و دگرگونی به طور طبیعی بالایی باشد (۹).

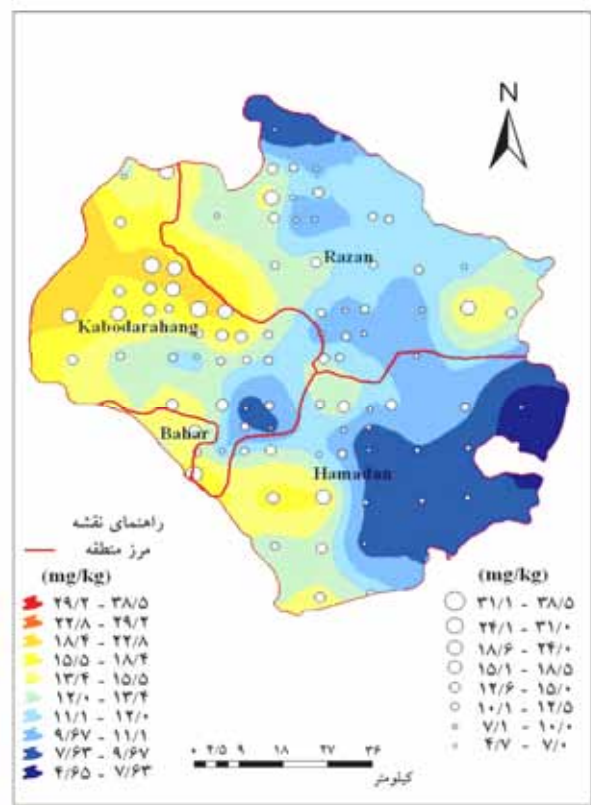
(آنگیلون و همکاران (۵) و کاباتا و پندیس (۱۵) حد آستانه عناصر مس و روی در خاک سطحی به ترتیب ۲۳ و ۶۰ میلی گرم بر کیلو گرم گزارش کردند. با در نظر گرفتن این مقدار غلظت به عنوان شروع آلودگی خاک بیشتر وسعت منطقه مورد مطالعه نسبت به غلظت عناصر مس و روی دارای غلظت بالاتر از این حدود آستانه می باشد. اما به دلیل آهکی بودن خاک منطقه مورد امکان حلالیت این عناصر در خاک زیاد نیست. با رویهم گذاری نقشه توزیع غلظت مس با نقشه کاربری اراضی، مشخص شد در مناطقی که غلظت عناصر مذکور بالا می باشد، کودهای شیمیایی هم به صورت غیر اصولی مصرف می شود (میانگین مصرف کود اوره حدود ۷۰۰-۵۰۰، کود پتاس حدود ۳۳۰-۲۰۰ و کود فسفره ۵۵۸-۳۰۰ کیلو گرم در هکتار در سال) که می تواند باعث تجمع غلظت این عنصر در این مناطق شود. همچنین رویهم گذاری نقشه پهنه بندی غلظت فلزات سنگین با نقشه های غلظت زمینه این عنصر نشان داد در خاک های حاصل از سنگ بسترهای شیل و مارن، سنگ آذرین و دگرگونی و سنگ آهک بالاترین غلظت عناصر مذکور دیده شده و از سوی دیگر به دلیل عدم توسعه صنعتی در منطقه مطالعاتی به نظر می رسد که عامل اصلی مؤثر بر افزایش غلظت این عنصر مواد مادری و فعایت کشاورزی باشد. فاجینی و همکاران (۱۱)، میکو و همکاران (۱۹)، لئو و همکاران (۱۸) و جیاکن و همکاران (۱۳) در مطالعات خود برای تعیین منابع فلزات سنگین در خاک به این نتیجه رسیدند که غلظت عنصر مس و روی تحت تأثیر سنگ بستر قرار دارد. همچنین در مطالعه انجام شده توسط لادو و همکاران (۱۷) بر روی توزیع فلزات سنگین در خاک های اروپا نیز مشخص شد که عنصر مس، کادمیوم، روی و سرب همبستگی بالایی با کشاورزی و سنگ آهک نشان می دهند.

با رویهم گذاری نقشه توزیع غلظت عنصر آرسنیک با نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه مناطق دارای غلظت بالای این عنصر با الگوی کشاورزی مطابقت نداشت و همچنین رویهم گذاری نقشه پهنه بندی غلظت آرسنیک با نقشه غلظت زمینه این عنصر نشان داد در خاک های حاصل از سنگ بسترهای شیل و مارن، سنگ آذرین و دگرگونی و سنگ آهک بالاترین غلظت عنصر مذکور دیده شد و از سوی دیگر به دلیل عدم توسعه صنعتی در منطقه مطالعاتی به نظر می رسد که عامل اصلی مؤثر بر افزایش غلظت این عنصر مواد مادری باشد. در مطالعات انجام شده توسط لئو و همکاران (۱۸) و ایناکو و همکاران (۱۲) برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک مشخص شد که غلظت عنصر آرسنیک توسط مواد مادری کنترل می شود. همچنین در مطالعه انجام شده توسط جیاکن و همکاران (۱۳) برای توزیع مکانی فلزات سنگین مشخص شد که غلظت آرسنیک توسط سنگ بستر کنترل می شود ولی وابستگی متوسطی با منابع انسانی دارد.

نقشه پراکنش غلظت عناصر مس و روی در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ و ۶ نشان می دهد که حداکثر غلظت مس در دامنه ۵۷-۹/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد که در غرب منطقه واقع شده است. با رویهم گذاری نقشه توزیع غلظت مس با نقشه زمین شناسی، مشخص شد که بیشترین غلظت مس بر روی سنگ بستر شیل واقع شده که غلظت عنصر مس در این سنگ بستر به طور طبیعی بالا است. نتایج بر آورد مقدار غلظت زمینه این عنصر در جدول ۴ این نتایج را تأیید می کند. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط دیوس و همکاران (۹) مقدار غلظت مس در سنگ بسترهای دگرگونی و شیل به ترتیب ۴۰ و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. در نقشه پراکنش غلظت کل روی در خاک سطحی منطقه مطالعاتی (شکل ۶) مشاهده می شود که بالاترین مقدار غلظت روی در دامنه ۱۵۰-۸۷ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد که در شمال، شرق و جنوب منطقه مورد مطالعه و بر روی سنگ بسترهای



شکل ۶. نقشه توزیع غلظت روی در خاک منطقه مورد مطالعه

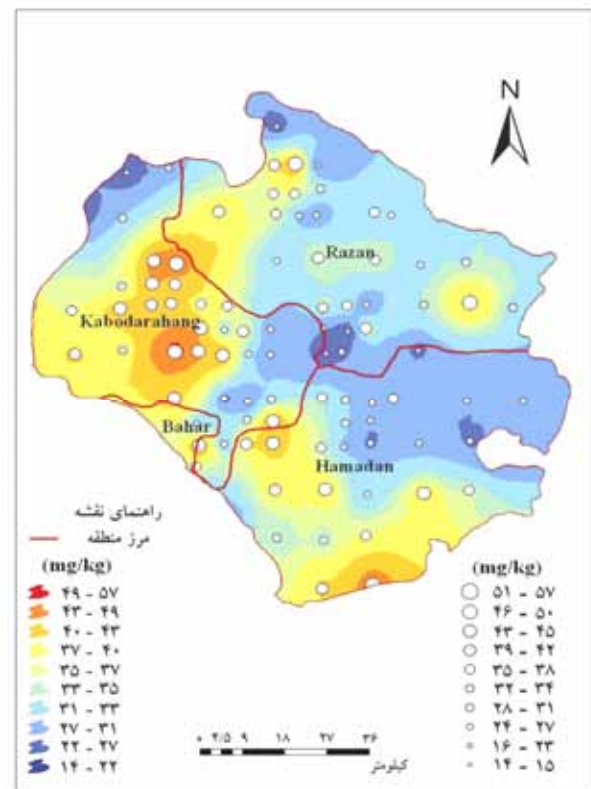


شکل ۴. نقشه توزیع غلظت آرسنیک در خاک منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

عناصر سنگین از جمله آلاینده‌های غیر نقطه‌ای هستند که امروزه به دلیل اثرات نامطلوب بر انسان و محیط زیست به یک معضل زیست محیطی در جهان تبدیل شده و مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته‌اند. مهمترین یافته‌های تحقیق حاضر با کاربرد RS، GIS و Geostatistic در ارزیابی آلودگی‌های غیر نقطه‌ای خاک منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد:

تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین مورد مطالعه با کمک نقشه‌های کمکی (نقشه‌های زمین شناسی، کاربری اراضی و نقشه غلظت زمینه فلزات سنگین)، نشان داد که عناصر مس و روی منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارند و عنصر آرسنیک از سنگ بستر منشأ می‌گیرند. همچنین نتایج نقشه‌های برآورد غلظت زمینه فلزات سنگین نشان داد که سنگ بسترهای شیل، ماسه سنگ، سنگ دگرگونی و سنگ آهک عامل اصلی افزایش غلظت طبیعی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشند و کمترین مقدار غلظت زمینه فلزات سنگین در سنگ بستر آلویوم مشاهده شد.



شکل ۵. نقشه توزیع غلظت مس در خاک منطقه مورد مطالعه

- identify heavy metal sources in soils”, *Environmental Pollution*. Vol. 114: 313-324.
11. Hansen, E., Lassen, C. Stuer-Lauridsen, F. Kjølholt. 2002. Heavy Metals in Waste.
 12. Inácio, M., V. Pereira, and M. Pinto. 2008. The Soil Geochemical Atlas of Portugal: Overview and applications”, *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 98: 22-33.
 13. 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.
 14. Juang, K. W., D. Y. Lee and 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.
 15. Kabata – Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd ed., CRC Press, USA.
 16. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis, part I, physical and mineralogical methods, Second edition, Soil Science Society of America INC., Wisconsin, USA.
 17. Lado, L. R., T. Hengl and H. I. Reuter. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 148:189-199.
 18. Luo, W., T. Wang, Y. Lu, J. P., Giesy, Y. Shi, Y. Zheng, Y. Xing, and G. Wu. 2007. Landscape ecology of the Guanting Reservoir, Beijing, China: Multivariate and geostatistical analyses of metals in soils. *Environmental Pollution*. Vol. 146: 567-576.
 19. Mico, C., L. Recatala, M. Peris, J. Sa'nchez. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. Vol. 65: 863-872.
 20. Pais, I. and J. Benton Jones. 2000. The handbook of Trace Elements, St. Lucie Press, New York.
 21. Pereira, V., M. Inácio, M. Pinto. 2008. The Soil Geochemical Atlas of Portugal Overview and applications”, *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 98: 22-33.
 22. Rodriguez, L., E. Ruiz, J. A. Azcarate and J. Rincon. 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailing and soils around a Pb-Zn mine in Spain. *Journal of Environmental Management*. 90: 1106-1116.
 23. Yalcin, M. G., R. Battaloglu and S. Ilhan. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environ Geol*. 53:399-415.

منابع مورد استفاده

۱. امینی، م.، م. افیونی، و ح. خادمی. ۱۳۸۵. مدل‌سازی توازن جرمی عناصر کادمیوم و سرب در زمین‌های زراعی منطقه اصفهان. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*. (۴): ۷۷-۸۹.
۲. ترابیان، ع. و م. مهجوری. ۱۳۸۱. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر روی جذب فلزات سنگین بوسیله سبزی‌های برگ‌ریز جنوب تهران. *مجله علوم خاک و آب*. ۱۶(۲): ۱۸۹-۱۹۶.
۳. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری آمار کلاسیک (تک متغیره و چند متغیره). انتشارات پلک، صفحه ۴۶-۴۷.
۴. محمدی، ج. ۱۳۸۵. آمار مکانی. انتشارات پلک، صفحه ۲۶۲-۲۷۹.
5. Angelone, M., A. Bellanca, M. Sproveria, R. Neri Salvaggio and D. Manta. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study the city of Palermo (Sicily), Italy. *The since of the Total Environment*. Vol. 300: 229-243.
6. Boisson, J., A. Ruttens, M. Mench and J. Vangronsveld. 1999. Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils. Part 1. Influence of hydroxyapatite on metal exchange ability in soil, plant growth and plant metal accumulation. *Environmental Pollution*. 104: 225-233.
7. 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*. 13:632-634.
8. Corwin, D. L., and R. J., Wagenet. 1996. Application of GIS to the modeling of nonpoint source pollutants in the vadouse zone: A conference overview. *J. Environ. Qua*. 25:403-411.
9. De vos, W., M. J. Batista, A. Demetriades, M. J., Duris, J. Lexa, J. Lis, K. O., Sina and P. J. Connor. 2005. Metallogenic Mineral Provinces and World Class Ore Deposits in Europe. In: *Geochemical Atlas of Europe. Part 1 Background Information, Methodology and Maps*, by Salminen, R. and et al, 2005: Geological Survey of Finland. [Online] Availability.
10. Facchinelli, A., E. Sacchi and L. Mallen. 2001. Multivariate statistical and GIS –based approach to



Study of heavy metals concentration Copper, Zinc and Arsenic soil using GIS and RS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin- Talkhab catchment in Hamedan province)

L. Khodakarami^{1*}, A. R. Soffianian², E. Mohamadi Towfigh³, N. A. Mirghafari²

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

2. Assis. Prof. & Assoc. Prof. College of Natural Resource, Isfahan University of Technology, respectively

3. MSc. Student of Environmental, College of Natural Resource, Isfahan University of Technology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 December 2010

Accepted 30 March 2011

Available online 16 July 2011

Keywords:

Heavy metal

Geographic Information System (GIS)

Remote Sensing (RS)

Geostatistics

Fuzzy

Non-point source pollution

ABSTRACT

In this study, we investigated the effect of agricultural land concentrations of heavy metals including Copper, Arsenic and Zinc and mapping of soil contamination potential the elements in the areas studied using the collected data, GIS, Geo-statistics and remote sensing were conducted. First, using 135 surface soils (0-20cm) classified random systematic sampling in the region area 7262 square kilometers were collected and total element concentrations, soil characteristics, including the pH and organic matters were measured. Interpolation for heavy metals concentrations were done by geo-statistics methods, and assisting location correlation analysis, interpolation suitable method was chosen using MAE and MBE function. For heavy metals concentration maps, Copper and Zinc, we used Ordinary Kriging and exponential model and for Arsenic Ordinary Kriging and Spherical models. For analyzing the metal's concentration distribution maps of pollution time series satellite images were used. For this purpose, five time series of satellite images of IRSP6 sensor Awifs (6 March, 3 April, 27 April, 9 June, 18 July and 16 August) were prepared. Using conventional classification methods and advanced satellite imagery maps of Land Use in 2009 was prepared. Finally fuzzy classification method map due to having the higher kappa coefficient as a final land use map was selected. Site analysis of studied heavy metal interpolation maps assisted by GIS and remote sensing assistive showed that Copper and Zinc have geological and agricultural origins. And Arsenic has originated from bedrock, but agricultural activities according to excessive consumption of chemical fertilizers can increase most of these elements in soil.

* Corresponding author e-mail address: Loghman.kh@gmail.com