



رابطه بین الگوی توزیع فلزات سنگین خاک با کاربری اراضی در دشت یزد- اردکان

حسن فتحی زاد^۱، محمدعلی حکیمزاده اردکانی^{۲*}، روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی^۳، حمید سودایی‌زاده^۴

۱. دکتری بیابان‌زدایی، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
 ۲. دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
 ۳. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران.
 ۴. دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- * نویسنده مسئول: hakim@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی، غلظت فلزات سنگین در محیط‌زیست و همچنین مواد غذایی افزایش یافته‌است. قدرت تجمع زیستی فلزات سنگین از دلایل خطرآفرین بودن، آن‌ها است. با توجه به اهمیت آلودگی عناصر سنگین پژوهش حاضر با هدف ارائه توزیع مکانی آنها در خاک و ارتباط آن با کاربری اراضی در دشت یزد-اردکان، استان یزد انجام شد. محل ۲۰۱ نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ cm بر پایه روش نمونه برداری آبرمکعب (هایپرکیوب) تعیین و برداشت شد و غلظت کل عناصر Fe، Mn، Ni، Pb و Zn به کمک دستگاه جذب اتمی مدل Analytik Jena-novAA300 اندازه گیری شد. سپس برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های سطحی از روش‌های زمین‌آمار IDW، GPI، RBF، LPI، Kriging استفاده شد. نقشه کاربری اراضی دشت یزد- اردکان مربوط به سال ۲۰۱۶ با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در ۷ طبقه تولید شد. نتایج بررسی رابطه غلظت فلزات سنگین خاک با کاربری اراضی نشان داد که کاربری اراضی کشاورزی و باغ و تپه‌های ماسه‌ای با میانگین ۰/۹۵۰ ppm و ۰/۸۳۶ به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت Fe را دارند. بیشترین میانگین غلظت Mn مربوط به کاربری اراضی مسکونی با ۱/۸۲۱ ppm و کمترین مربوط به اراضی صخره‌ای با ۱/۰۸۳ ppm است. مرتع فقیر و اراضی بایر با ۰/۳۰۲ ppm بیشترین و اراضی مسکونی با میانگین ۰/۲۱۹ ppm کمترین غلظت Ni را دارند. بیشترین میانگین Pb در کاربری اراضی کشاورزی و باغ و اراضی مسکونی (۱/۴۶۵ و ۱/۳۷۳ ppm به ترتیب) و کمترین میانگین در اراضی صخره‌ای با ۰/۹۲۵ ppm دیده می‌شود. کاربری‌های اراضی کشاورزی و باغ با ۰/۵۸۳ و اراضی مسکونی با ۰/۵۵۲ بیشترین میانگین غلظت Zn و کاربری اراضی صخره‌ای با ۰/۳۴۲ ppm کمترین غلظت Zn را به خود اختصاص داده‌اند.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک؛ آبرمکعب؛ زمین‌آمار؛ واریوگرام؛ طبقه‌بندی شیء‌گرا

■ مقدمه

آلودگی خاک به وسیله فلزات، در بسیاری از نقاط جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به یک مشکل جدی تبدیل شده است؛ و تجمع آنها در خاک ناشی توجه زیادی به خود جلب کرده است. تجمع فلزات سنگین در خاک ممکن است از فعالیت‌های کشاورزی (۲۴)، شهرنشینی، صنعتی شدن و فعالیت‌های معدنی باشد. در این میان، فعالیت‌های کشاورزی فشرده و صنعتی به عنوان آسیب‌پذیرترین فعالیت‌های انسان‌شناسی در جهان در نظر گرفته شده است. بر پایه بررسی‌های متعدد، آلودگی فلزات سنگین در محیط بیشتر از منابع انسانی حاصل می‌شود (۱، ۳، ۸، ۱۰، ۲۱، ۲۲).

عملیات استخراج معادن که شامل استخراج مواد معدنی از پوسته زمین است، تأثیر قابل توجهی بر محیط زیست، سیمای سرزمین و جوامع زیستی زمین دارد (۴۷). بنابراین عملیات استخراج معادن منجر به سود اقتصادی زیادی می‌شود، اما از سوی دیگر به تهدیدات جدی محیط زیست منجر می‌شود، و دلیل آن کاهش سطح جنگل، تخریب زمین، آلودگی هوا و آب و در نهایت کاهش تنوع زیستی می‌باشد (۴۷). تغییر کاربری زمین می‌تواند به وسیله ترکیبی از فعالیت‌های استخراج معادن و غیر معدن ایجاد شود (۳۷)؛ و هر دو تأثیرهای محیط زیستی و انسانی دارند. در حالی که این تأثیرها اغلب منفی هستند، از جمله تخریب زمین، کاهش تنوع زیستی (۴۶، ۵۳) و جابجایی محل زندگی (۴۴). تأثیر مثبت نیز ممکن است رخ دهد، مانند افزایش فعالیت‌های حفاظتی و مدیریت کیفیت آب (۴۹، ۵۰). کاهش اثر منفی و افزایش اثرهای مثبت یکی از هدف‌های مهم توسعه پایدار است که برای شرکت‌های معدن و سازمان‌های نظارتی به طور یکسان چالش برانگیز است.

نتایج پژوهشی در غرب غنا، تأثیر استخراج طلا در کاربری‌های اراضی نشان می‌دهد که معدنکاری منجر به جنگل‌زدایی و کاهش قابل ملاحظه‌ای از زمین‌های کشاورزی می‌شود (۴۴). بررسی و ارزیابی تأثیر استفاده از زمین بروی غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک‌های سطح استان گلستان نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک کاربردهای صنعتی بیشتر از زمین‌های کشاورزی و طبیعی است. همچنین همبستگی معنی‌داری بین فلزات

سنگین خاک و بین فلزات سنگین خاک و محتوای کربن آلی در انواع مختلف کاربری‌های زمین وجود دارد (۲۰). با بهره‌گیری از راهکار امتیازهای محدودیتی برای تلفیق نقشه‌های تک عنصری فلزات سنگین برای ارائه تصویری از آلودگی کلی خاک در منطقه شهرک صنعتی تخصصی روی زنجان، نشان داد که پهنه‌های خاکی دارای بیشترین غلظت هر سه فلز سنگین Zn، Pb و Ca در قسمت‌های شمال غربی منطقه، یعنی در اراضی مجاور شهرک تخصصی روی مشاهده می‌شوند و با افزایش فاصله از این نواحی، شدت آلودگی به تدریج کاهش می‌یابد (۴۳).

نظر به ماهیت پیچیده خاک و وجود منابع مختلف مسئول در پراکنش فلزات سنگین در خاک، مقدار این آلاینده‌ها تغییرات شدیدی در سطح خاک داشته و الگوی توزیع آن‌ها عموماً دارای ناهمگونی‌های مکانی است (۳۳). این در حالی است که اطلاع از الگوی توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک، پیش شرط شناسایی منشأهای احتمالی آن‌ها و طراحی برنامه‌های مدیریتی صحیح در راستای کنترل این آلاینده‌های خطرناک است (۶۵).

اطلاعات مربوط به توزیع مکانی و زمانی کاربری اراضی ضروری است و نقش مهمی در مدیریت اراضی، بخش منابع طبیعی و فعالیت‌های اقتصادی ایفا می‌کند و آن را یک عامل مهم و لازم برای نظارت بر محیط زیست و مدیریت در نظر می‌گیرند (۱۸). آگاهی از تغییرات کاربری‌های اراضی که در حال تبدیل شدن هستند، اهمیت بسیار بیشتری از منظر محیط زیستی و اقتصادی دارند. تصاویر ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌های برتر خود مثل پوشش وسیع، قابلیت تکرار و بهنگام شدن مداوم می‌تواند به عنوان گزینه اول در بحث شناخت و تهیه پوشش/ کاربری اراضی مطرح باشد. به روز بودن و صحت این نقشه‌ها، می‌تواند نقش چشم‌گیری در مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی داشته باشد. طبقه‌بندی شیء‌گرا فرآیندی است که طبقه‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد (۶۳). پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، روش کاربردی در پردازش تصاویر دیجیتالی است که به تازگی در مقابل آنالیز پیکسل پایه توسعه داده شده است (۴). تجزیه و تحلیل شیء‌گرا به طور فرآیندهای به منظور

میبد-یزد واقع شده‌اند و بیش از ۵۰ درصد کاشی و سرامیک کشور را تأمین می‌کنند. آلاینده‌های صنعتی حاصل فعالیت کارخانجات و کارگاه‌ها هستند و وارد خاک این دشت می‌شوند (۱۹). انباشتگی عناصر سنگین حاصل از فعالیت‌های صنعتی، در درازمدت باعث آلوده شدن خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی، جذب توسط گیاهان، ورود به زنجیره غذایی و ایجاد خطرات جدی برای سلامت انسان‌ها می‌گردد (۲). بنابراین با توجه اهمیت آلودگی عناصر سنگین، پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه فلزات سنگین خاک و ارتباط آن با کاربری اراضی در دشت یزد-اردکان استان یزد صورت گرفته است.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۸۲۹۰۰ هکتار که از نظر موقعیت $36^{\circ} 08' 53''$ تا $32^{\circ} 32' 54''$ طول شرقی و $29^{\circ} 21' 31''$ تا $29^{\circ} 02' 32''$ عرض شمالی در فلات مرکزی ایران و بخش مرکزی استان یزد واقع شده است. بیشینه و کمینه ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۶۸۴ و ۹۹۷ متر از سطح دریا است. بارش‌های این منطقه اندک و نامنظم و به مقدار ۱۱۸ میلی‌متر در سال و مقدار تبخیر آن بین ۲۲۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر در سال است. منطقه مورد مطالعه فاقد رودخانه دائمی و جریان‌های رودخانه‌ای این دشت منحصر به جریان‌های سیلابی است. سیمای پوشش گیاهی در محدوده مطالعاتی گیاهان درختچه‌ای و بوته‌ای است. پوشش گیاهی منطقه به دو گروه الف: گیاهان مقام به شوری مختص اراضی پست مانند سیاه تاغ *Haloxylon aphyllum Iljin* به ارتفاع ۱-۲ متر، اسکنبیل *Calligonum sp.* با ارتفاع ۱/۵ متر، رمس-اسکنبیل *Hammada salicornica Iljin*، *Calligonum polygonoides L.*، گز *Tamarix sp.* با ارتفاع ۱-۱۸ متر، ب: گیاهان مقام به شوری در دشت‌های آبرفتی. گیاهان زراعی منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل گندم *Triticum aestivum L.*، جو *Hordeum vulgare L.*، روناس *Rubia tinctorum L.*، یونجه *Medicago sativa L.*، پسته *Pistacia vera L.*، انار *Punica granatum L.* می‌باشد. طبق طبقه‌بندی تاکسونومی خاک‌های منطقه در دو رده آنتی سول^۱ و اریدی سول^۲ قرار می‌گیرند (۶۶).

تحلیل تصاویر با وضوح زیاد برای تشخیص تغییر در محیط‌های ناهمگن به کار گرفته می‌شود. در این روش علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات متنی برای بهبود دقت نقشه و ارزیابی محاسباتی استفاده می‌شود (۵۲، ۵۸). این روش شیء یا گروه همگنی از پیکسل‌ها را به عنوان واحد اصلی پردازش در نظر می‌گیرد و نیز همزمان علاوه بر ویژگی‌های طیفی، ویژگی‌های غیرطیفی مثل شکل، بافت، هندسی، الگو و ارتباطات با اشیای همسایه را نیز شامل می‌شود (۵). امروزه اهمیت سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در مطالعات آلودگی خاک شناخته شده است. در سال‌های اخیر، سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مدیریت و تخمین منابع آلودگی غیر نقطه‌ای، توسط محققان محیط‌زیست مورد استفاده قرار گرفت (۵۷). همچنین، تصویر ماهواره‌ای در بررسی منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین برای ارزیابی دقیق آلودگی‌های غیر نقطه‌ای در مقیاس وسیع برای استفاده از مجموع علوم مانند آمار کلاسیک لازم است (۴۸). نقشه‌های پیش‌بینی نمونه‌ها معمولاً بر اساس روش‌های زمین‌آمار که بر اساس محاسبه و تخمین در مکان‌های نمونه‌برداری نشده است بدست می‌آیند (۳۲، ۶۱). این رویکرد به طور فزاینده‌ای برای توصیف تنوع مکانی خواص خاک استفاده می‌شود (۲۹، ۳۲، ۳۳، ۵۵، ۵۹). برخی از نویسندگان برای بررسی و تهیه نقشه فلزات سنگین خاک از روش‌های زمین‌آمار استفاده نموده‌اند که می‌توان به (۶، ۹، ۱۳، ۱۷، ۶۰، ۶۲) اشاره کرد. برای بهبود نحوه نمونه‌برداری از سال ۱۹۹۰، روش‌های آماری متفاوتی در تهیه نقشه خاک، توسعه یافته است. یکی از این روش‌ها، روش هایپرکیوب است. روش هایپرکیوب برای اولین بار برای شبیه‌سازی مونت کارلو و انتخاب متغیرهای ورودی برای مدل‌های رایانه‌ای انتخاب شد (۲۵، ۳۴). این روش در مطالعات خاک و محیط زیست برای ارزیابی عدم قطعیت مدل پیش‌بینی (۳۶) و در زمین‌آمار برای شبیه‌سازی ویژگی‌های تصادفی گاوسی استفاده می‌شود (۴۳، ۶۸).

دشت یزد-اردکان بحرانی‌ترین دشت استان یزد در ایران است که نزدیک به ۷۵٪ تراکم جمعیتی استان و تعداد قابل توجهی کارخانه و معدن در این دشت قرار دارد (۱۹). عمده واحدهای تولیدی کاشی و سرامیک یزد در مسیر اردکان-

روش کار

داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد برای اندازه‌گیری توزیع داده‌های آماری، ضریب تغییرات به کار برده شد. ضریب تغییرات از تقسیم انحراف معیار بر میانگین مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1)$$

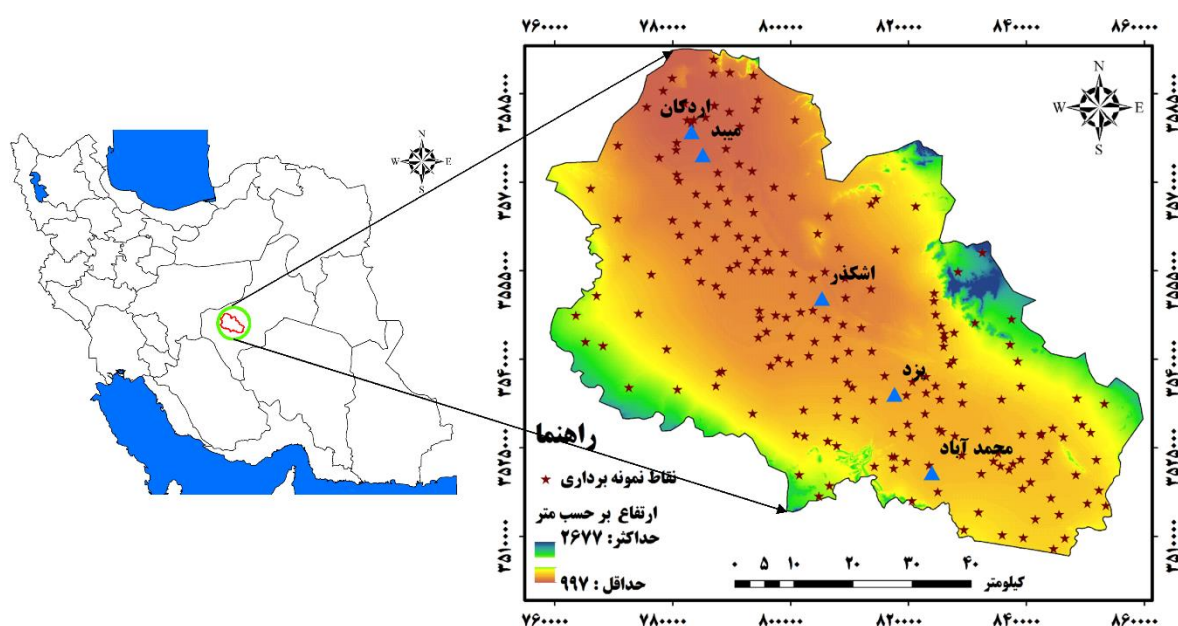
به عبارت دیگر ضریب تغییرات، مقدار پراکندگی به ازای یک واحد از میانگین را بیان می‌کند. این مقدار زمانی تعریف شده است که میانگین صفر نباشد. این مقدار بی‌بعد است به همین دلیل مناسب برای مقایسه داده‌های آماری است که واحدهای مختلفی دارند (۶۴).

تهیه نقشه معادن و کارخانه‌های منطقه مورد مطالعه

معادن و کارخانه‌های دشت یزد-اردکان با استفاده از اطلاعات سازمان صنعت، معدن و تجارت استان یزد و همچنین بازدید میدانی شناسایی شدند. موقعیت معادن و کارخانه‌های دشت یزد-اردکان در شکل (۲) آورده شده است. در منطقه معادن و کارخانه‌های همچون آسفالت‌سازی، شیشه‌سازی، فولادسازی، کاشی‌سازی، شن و ماسه، فولادسازی نیروگاه وجود دارد (شکل ۳).

برای تعیین تعداد و محل نقاط نمونه‌برداری از خاک از روش آبرمکعب (هایپرکیوب) استفاده شد (۵۱). آبرمکعب یک روش نمونه برداری تصادفی طبقه‌بندی شده^۲ است که نمونه برداری کارآمد را از توزیع چند متغیره فراهم می‌کند. محل ۲۰۱ نمونه برداشت خاک بر اساس روش نمونه‌برداری فوق تعیین و برداشت شد (شکل ۱).

پس از یافتن موقعیت جغرافیایی نقاط به کمک سیستم مکانیاب جهانی^۴، از عمق صفر تا ۲۰ cm لایه سطحی، نمونه خاک به وزن ۲-۳ کیلوگرم خاک از هر نقطه جمع‌آوری و در ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه یزد منتقل گردید. پس از هوا خشک کردن نمونه‌های برداشت شده و جداسازی ذرات درشت آن‌ها توسط الک دو میلی‌متری، عصاره‌گیری نمونه‌ها با استفاده از اسید نیتریک پنج نرمال (۳۸) انجام شد و در نهایت غلظت کل عناصر Ni, Mn, Fe, Zn و Pb به کمک دستگاه جذب اتمی^۵ مدل Analytik Jena- novAA300 تعیین شد. پس از اندازه‌گیری داده‌های مربوط به پارامترهای عناصر سنگین خاک، تمامی داده‌های مربوط به هر عنصر از نظر نرمال بودن به وسیله آزمون کلموگراف-اسمیرنف محاسبه شد (۵۴). برای بررسی همبستگی بین



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری

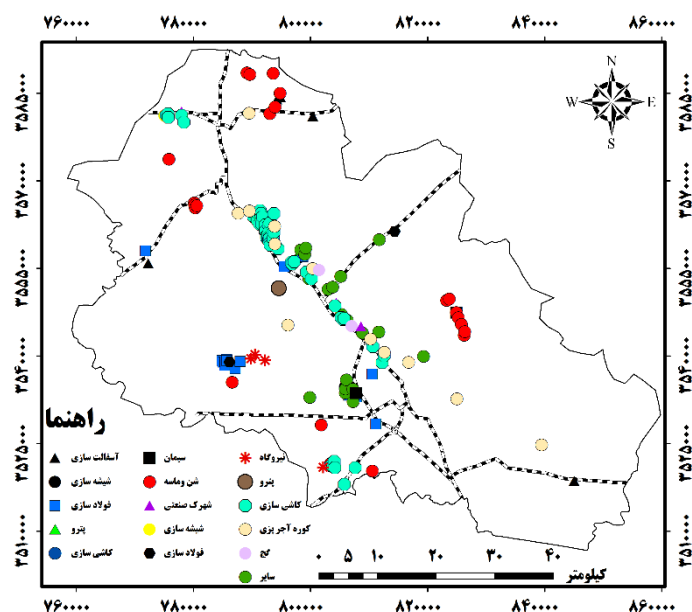
^۱ Antisoil

^۲ Aridisoil

^۳ Stratified random sampling

^۴ Global Positioning System; GPS

^۵ Atomic Absorption Spectrophotometer



شکل ۲. موقعیت معادن و کارخانه‌های دشت یزد-اردکان



شکل ۳. نمایی از معادن و کارخانه‌های منطقه مورد مطالعه (A: کارخانه شن و ماسه شاکر در شمال غرب منطقه B: کارخانه شن و ماسه‌های جاده دربید در شمال منطقه C: کارخانه سیمان سفید آزادگان در شمال منطقه D: کارخانه شن و ماسه جاده خضرآباد در جنوب منطقه)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (۳)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - Y_i}{Y_i} \right|}{n} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (۵)$$

X_i : مقادیر اندازه گیری شده، Y_i : برآورد شده می باشد.

در ارزیابی دقت و اعتبار روش های درون یابی از روش اعتبارسنجی متقابل یا حذفی استفاده شد. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور مقداری برآورد شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای کلیه نقاط شبکه این عمل صورت گرفت.

تهیه نقشه کاربری ارضی

در تحقیق حاضر از تصویر ماهواره ای لندست ۸ سال ۲۰۱۶ استفاده شد. پس از انجام تصحیحات رادیومتری به روش چاوز بر روی تصویر ماهواره ای و برش آن در محدوده مورد مطالعه، اقدام به تهیه و استخراج نقشه کاربری ارضی، به روش طبقه بندی نظارت شده شیء گرا به ۷ طبقه کاربری جنگل کاری، اراضی کشاورزی و باغ، اراضی بایر و بدون پوشش گیاهی، مرتع فقیر، اراضی مسکونی، اراضی صخره ای و تپه های ماسه ای تفکیک گردیدند. تصحیح رادیومتری در سنجش از دور بسیار ضروری است. در تحقیق حاضر برای تصحیح رادیومتری تصاویر از روش چاوز که عبارت است از روش کم کردن ارزش پیکسل های تیره^{۱۲}، استفاده شد (۱۱). علت اینکه مساحت برخی کاربری ها خیلی کم بود و قابل طبقه بندی و تفکیک نبودند مورد بررسی قرار نگرفتند. جهت تفکیک آنها از بازتاب طیفی هر کاربری و همچنین بازدید میدانی استفاده شد. برای انجام تصحیح رادیومتری در اولین گام ارزش های رقومی به تابش طیفی تبدیل شد که

تهیه نقشه فلزات سنگین خاک با استفاده از زمین آمار به منظور تبدیل داده های نقطه ای به داده های سطحی از روش های زمین آماری IDW^1 , GPI^2 , RBF^3 , LPI^4 , $Kriging$ استفاده گردید. جهت نشان دادن پیوستگی مکانی عناصر مورد بررسی، تغییرنا (وایروگرام) ترسیم شد (۳۹). برای تعیین مقدار همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درون یابی از تغییرنا استفاده شد. تغییرنا از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (۵۹).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (۲)$$

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند.

n : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند.

$z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x .

$z(x_{i+h})$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.

تغییرنا برای برازش بر داده های هر کدام از پارامترها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده ها را به صورت مطلوب تری از سایر تغییرناها نشان دهد. برای این امر از ضریب تعیین یا R^2 استفاده گردید. ضریب تعیین نشان دهنده این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تاثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل می باشد. به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده شد. در تحقیق حاضر از واریوگرام های خطی^۵، نمایی^۶، گوسی^۷ و کروی^۸ استفاده گردید (۱۷). این روش به طور گسترده در تحلیل بوم شناختی ناهمگنی خاک از طریق محاسبه نیمه واریانس ها به کار می رود (۵۳، ۵۶، ۶۹). برای انتخاب بهترین روش درون یابی در تهیه نقشه عناصر سنگین خاک از شاخص های ارزیابی دقت $RMSE^9$ ، $MAPE^{10}$ ، MAE^{11} استفاده شد (روابط ۳ تا ۵).

⁷ Gaussian Model

⁸ Spherical Model

⁹ Root Mean Square Error

¹⁰ Mean Absolute Percentage Error

¹¹ Mean Absolute Error

¹² Dark object subtraction

¹ Inverse Distance Weighting

² Global polynomial interpolation

³ Radial Basis Function

⁴ Local Polynomial Interpolation

⁵ Linear Model

⁶ Exponential Model

COS(SZ): کوسینوس زاویه خورشید در هنگام تابش در زمان ضبط تصویر ماهواره‌ای.

در طبقه‌بندی شیء گرا فرآیند پیکسل‌ها با درجه عضویت متفاوت در بیش از یک کلاس طبقه‌بندی می‌شوند و بر اساس درجه عضویت نسبت به هر کلاس، طبقه‌بندی بر اساس الگوریتم نزدیکترین همسایه انجام می‌شوند. قطعه‌بندی اولین و مهمترین مرحله در زیر طبقه‌بندی تصویر به واحدهای تصویری مجزا می‌باشد. قطعات باید در داخل خود همگن و تنها نماینده یک طبقه باشند، نه ترکیبی از چند طبقه و در عین حال باید در کل تصویر، ناهمگنی و اختلاف بین پدیده‌های مجاور وجود داشته باشد. نمایی از قطعه‌بندی کاربرهای منطقه مورد مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است. طبقه‌بندی شیء گرا نیز همانند طبقه‌بندی پیکسل پایه نیازمند نمونه‌های آموزشی است. بنابراین در ادامه نمونه‌های آموزشی مورد نیاز برای طبقه‌بندی بر سطح تصویرها پیاده شده و شیء‌های تصویری متناظر آنها به عنوان شیء‌های نمونه آموزشی برای کلاس‌های طبقه‌بندی انتخاب شده است.

این عمل با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده و با استفاده از رابطه شماره (۶) صورت گرفت (۷).

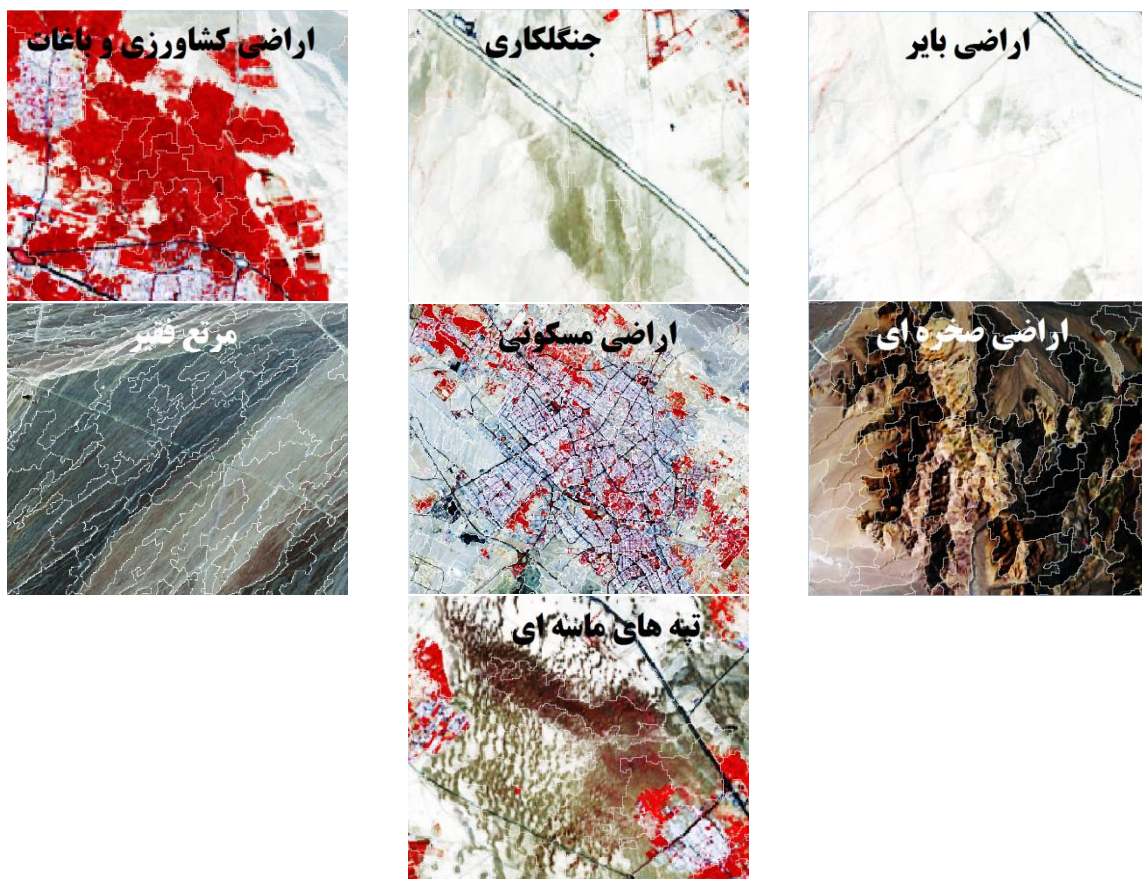
$$L = \text{Gain} \times \text{DN} + \text{Offset} \quad (۶)$$

که در آن L : تابش طیفی ($\text{Wem}^{-2} \text{Ster}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), DN : ارزش رقومی پیکسل از صفر تا ۲۵۵ و Gain و Offset : ضرایب کالیبراسیون سنجنده می‌باشند. در مرحله بعد مطابق با رابطه شماره (۷) مقدار تابش طیفی به بازتاب طیفی تبدیل شد (۲۸، ۴۹).

$$p = \frac{\pi L d^2}{ESUN \cdot \text{COS}(SZ)} \quad (۷)$$

P : بازتاب طیفی بدون واحد بین صفر تا یک.
 π : ۳/۱۴.

L : تابش طیفی در دریچه سنجنده.
 d^2 : مجذور فاصله زمین و خورشید بر اساس واحدهای ستاره‌شناسی.
 $ESUN$: ارتفاع خورشید.



شکل ۴. نمایی از قطعه‌بندی کاربرهای منطقه مورد مطالعه به روش شیء گرا

■ نتایج

نتایج حاصل از توصیف ویژگی‌های آماری در جدول (۱) آمده است. از میان عناصر سنگین خاک، عنصر Ni بیشترین ضریب تغییرات برابر با ۱/۵ را دارد. همچنین Pb و Zn به ترتیب با ۰/۷۵ و ۰/۷۹ دارای کمترین ضریب تغییرات هستند.

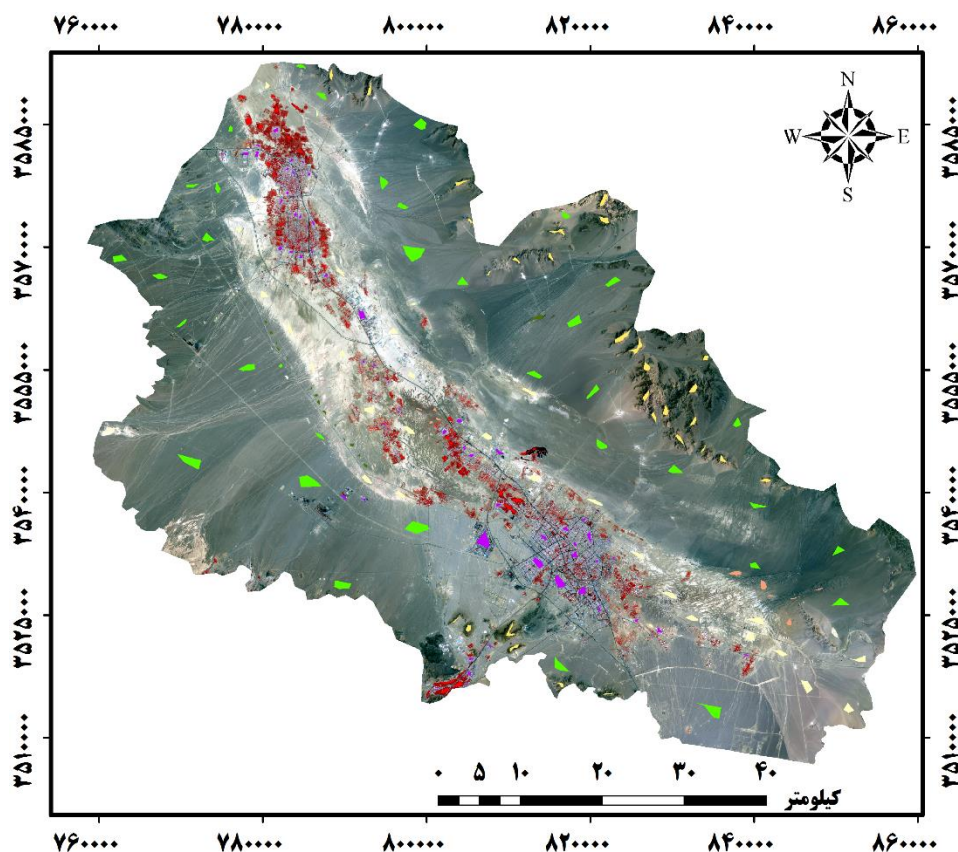
بر این اساس ضرایب همبستگی بین عناصر Ni و Fe، Pb و Fe به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱۴۳ در سطح اطمینان ۵ درصد و ضریب همبستگی بین Zn و Fe، ۰/۲۹۲ در سطح اطمینان ۱ درصد تعیین شد (جدول ۲).

نتایج حاصل از ترسیم تغییرنماهای مختلف در جدول (۳) مشاهده می‌گردد. با توجه به ضریب تبیین به دست آمده برای تغییرنماهای برازش شده Fe، واریوگرام نمایی با مقدار ۰/۹۴، برای عنصر Mn، واریوگرام کروی با مقدار ۰/۹۵، برای عنصر Ni، واریوگرام کروی با میزان ۰/۹۴، برای پارامتر Pb، واریوگرام گوسین با میزان ۰/۹۳ و برای عنصر Zn، واریوگرام نمایی با مقدار ۰/۹۳ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده شدند.

به‌منظور بررسی صحت طبقه‌بندی نیز مقایسه‌ای با نقشه‌های کاربری موجود و همچنین بازدیدهای میدانی صورت گرفت. به این صورت که نقشه مرجع یا واقعیت زمینی از تمامی قسمت‌های منطقه مورد مطالعه و با استفاده از دیگر روش‌ها نظیر بازدید میدانی تهیه گردید (شکل ۵).

در پژوهش حاضر، از روش نمونه‌برداری تصادفی جهت ارزیابی صحت نقشه‌های بدست آمده، استفاده گردید. نمونه‌ها با توجه به نقشه کاربری اراضی و بازدیدهای محلی از منطقه مورد مطالعه با استفاده از GPS، تعدادی پلی‌گون (۱۶) به روش تصادفی از هر گروه از کاربری اراضی ثبت گردید.

به‌منظور بررسی صحت طبقه‌بندی تصویر، با بهره‌گیری از نمونه‌های آزمایشی، نسبت به محاسبه صحت با استفاده از ماتریس خطا و محاسبه پارامترهای آماری صحت کل، ضریب کاپا، دقت تولیدکننده و دقت استفاده‌کننده اقدام شد (۳۰).



شکل ۵. نقشه نقاط واقعیت زمینی

جدول ۱. آمار توصیفی عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه (ppm)

عنصر	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
پارامتر					
حداقل	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
حداکثر	۶/۰۸	۱۰/۵۹	۳/۵۹	۶/۷۴	۲/۱۶
میانگین	۱/۲۰	۱/۶۶	۰/۳۲	۱/۳۷	۰/۵۰
انحراف معیار	۰/۹۹	۲/۰۴	۰/۴۹	۱/۰۳	۰/۳۹
واریانس	۰/۹۷	۴/۱۸	۰/۲۴	۱/۰۵	۰/۱۵
چولگی	۲/۱۹	۲/۶۵	۴/۵۸	۱/۷۳	۱/۷۰

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های عناصر سنگین خاک منطقه مورد مطالعه

	Fe	Zn	Pb	Ni	Mn
Mn					۱
Ni				۱	۰/۰۱۵
Pb			۱	-۰/۰۲۵	۰/۰۳۱
Zn		۱	۰/۰۵۶	۰/۰۱۱	۰/۱۱۸
Fe	۱	**۰/۲۹۲	*۰/۱۴۳	*۰/۱۴۰	-۰/۰۳

*همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنادار است **همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است

جدول ۳. پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف تغییرنا برای تغییرنماهای برازش شده عناصر سنگین خاک منطقه مورد مطالعه

پارامتر	مدل	اثر قطعه (mm ²)	Co	Co+C	اثر آستانه (mm ²)	Co/Co+C	عامل فاصله (m)	Ao	R ²
Fe	گوسین	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۵۰۲	۳۱۱۵۹	۰/۵۲			
	خطی	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۳۷۶	۱۳۸۳۳	۰/۶۶			
	کروی	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۵۰۲	۲۹۰۴۰	۰/۶۹			
	نمایی*	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۷۰۳	۲۵۶۰	۰/۹۴			
Mn	گوسین	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۱۷۵۸۰	۰/۱۷			
	خطی	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۳۸	۱۲۸۲۶	۰/۳۱			
	*کروی	۰/۰۰۱	۰/۳۹۲	۰/۹۹۷	۴۲۰۰	۰/۹۵			
	نمایی	۰/۰۰۱	۰/۳۹۹	۰/۹۹۷	۱۷۴۰	۰/۸۹			
Ni	گوسین	۰/۰۴۰	۰/۲۴	۰/۷۹۹	۴۷۸۰	۰/۹۲۲			
	خطی	۰/۰۴۳	۰/۲۵	۰/۸۲۵	۸۹۸۹	۰/۹۰۳			
	*کروی	۰/۰۱۱	۰/۲۳	۰/۹۵۰	۹۳۸۰	۰/۹۴۲			
	نمایی	۰/۰۲۷	۰/۵۰	۰/۹۴۷	۱۴۷۶۰	۰/۹۲۹			
Pb	گوسین*	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۶۳	۲۷۲۰	۰/۹۳۳			
	خطی	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۴۶	۱۰۹۳۲	۰/۵۷			
	کروی	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۷۵	۵۴۴۰	۰/۹۳۲			
	نمایی	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۸۸	۲۰۶۰	۰/۸۸			
Zn	گوسین	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۵۰۰	۱۵۸۴۰	۰/۷۰			
	خطی	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۳۴۰	۱۰۹۸۱	۰/۸۰			
	کروی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۵۰۱	۲۵۶۶۰	۰/۸۱			
	نمایی*	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۵۴۸	۳۲۲۰	۰/۹۳			

* نشان دهنده بهترین تغییرنا

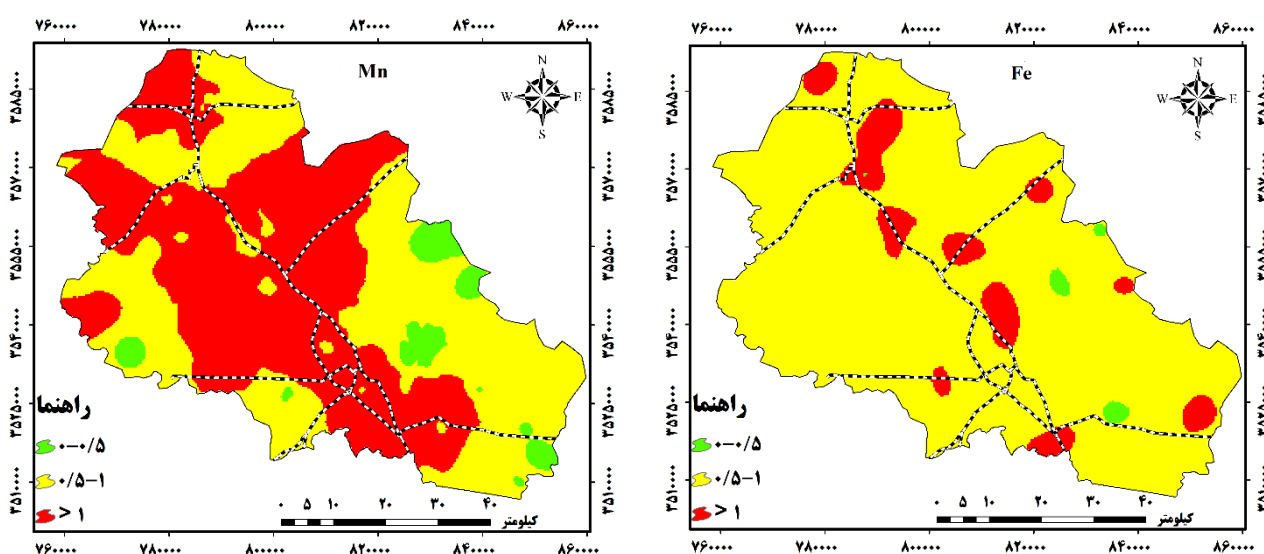
مورد فلز Pb در قسمت جنوبی منطقه، حداکثر فراوانی را مشاهده می‌کنیم و دلیل آن وجود کارخانه‌های فولادسازی در این ناحیه است. بیشتر فراوانی فلزات Ni و Zn در طبقه پایین و متوسط قرار دارند و غلظت زیادی در منطقه ندارند. نقشه‌های کاربری اراضی دشت یزد-ارکان مربوط به سال ۲۰۱۶ با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا (شکل ۷) و همچنین درصد مساحت هر کاربری (شکل ۸) بررسی شد. مساحت و درصد مساحت تعداد کل نقاط برای صحت‌سنجی هر طبقه در جدول (۵) آورده شده است. ماتریس خطا نیز برای این نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ تشکیل شد و ضریب کاپای کلی برای نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۶ برابر ۹۱/۷۷ بدست آمد (جداول ۶ و ۷).

نتایج حاصل از ارزیابی بهترین مدل‌های درونیابی عناصر سنگین خاک دشت یزد-ارکان بر اساس RMSE، MAE و MAPE (۱۷)، در جدول (۴) ارائه شده است. همچنین نقشه پهنه‌بندی بهترین مدل‌های هر کدام از عناصر در سه طبقه ۰-۰/۵ ppm یا غلظت کم ۰/۱-۵ ppm یا غلظت متوسط، و $ppm > 1$ یا غلظت زیاد، تقسیم‌بندی و پهنه‌بندی انجام شد (شکل ۶).

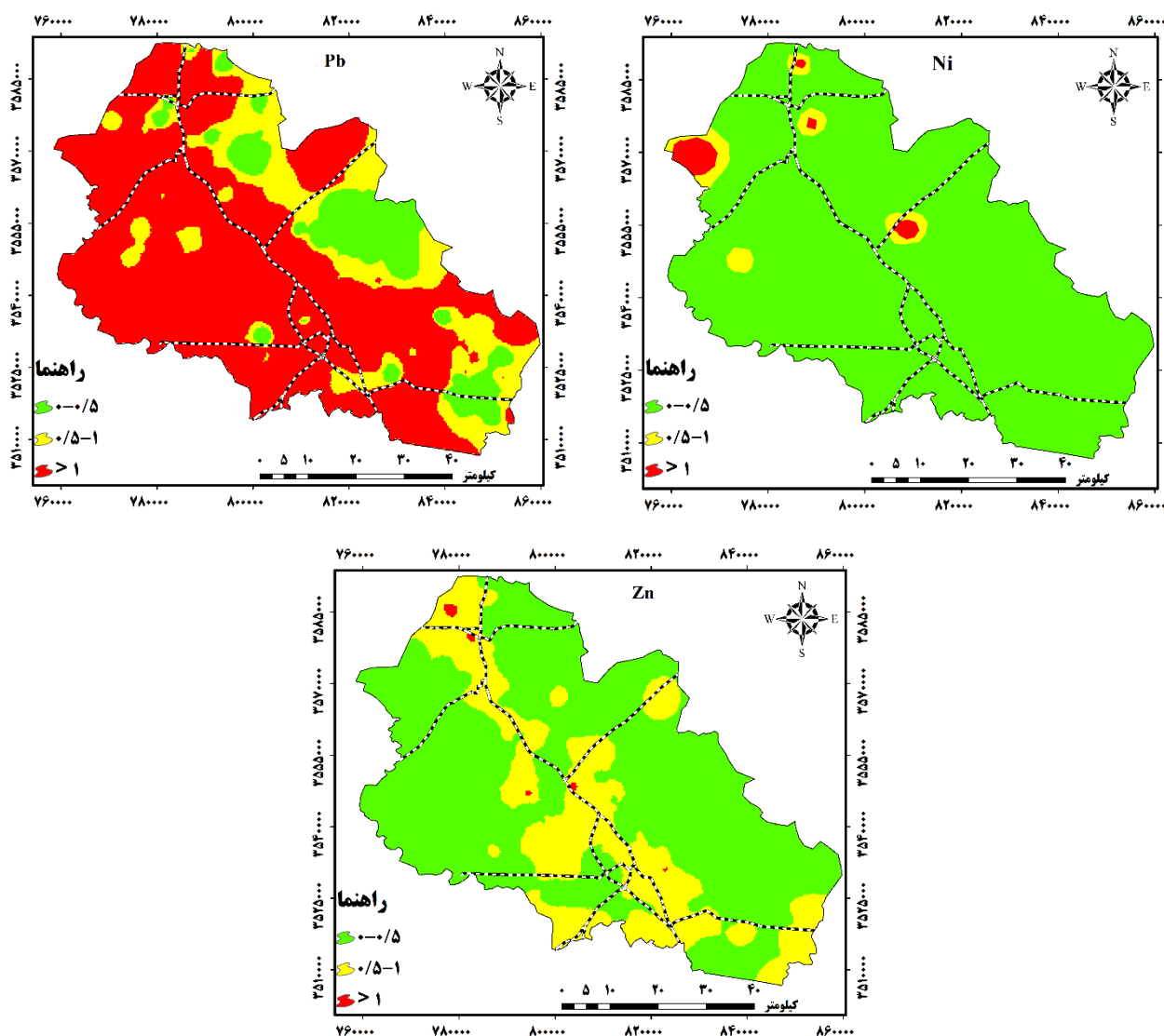
بر اساس شکل (۲)، پراکنش معادن و کارخانه‌ها در مرکز و همچنین در مسیر جاده‌ها می‌باشد. در مورد Mn در مرکز و همچنین در مسیر جاده‌ها بیشترین فراوانی و طبقه زیاد را دارا می‌باشد. در مورد Fe در مرتع فقیر در طبقه متوسط قرار دارد و بیشترین فراوانی در مسیر جاده یزد-ارکان قرار دارد. در

جدول ۴. ارزیابی آماری عناصر سنگین خاک بر اساس روش‌های مختلف آماری

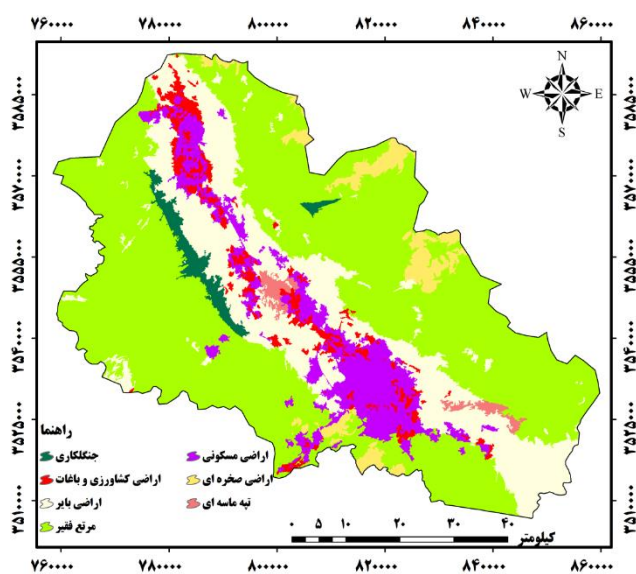
مدل	MAE	MAPE	RMSE(ppm)
Fe	۱۲/۳۱۰	۰/۱۸۸	۰/۰۳۷
Mn	۰/۲۱۴	۱۳/۳۲۱	۰/۲۷۰
Ni	۰/۰۵۸	۱۸/۹۸۲	۰/۰۷۱
Pb	۰/۰۸۶	۶/۳۸۹	۰/۱۱۰
Zn	۰/۰۱۹	۳/۸۷۷	۰/۰۲۵



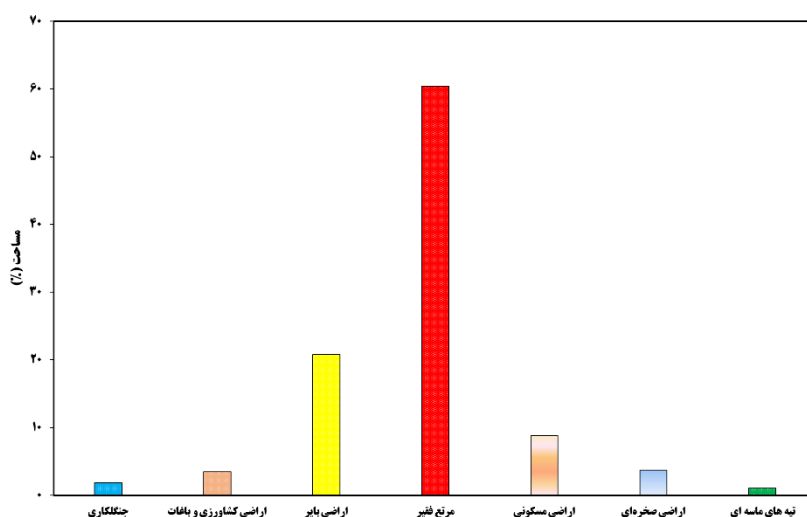
شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی عناصر سنگین خاک با استفاده از بهترین مدل‌های درونیابی بر حسب (ppm)



ادامه شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی عناصر سنگین خاک با استفاده از بهترین مدل‌های درونیابی بر حسب (ppm)



شکل ۷. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نمودار درصد مساحت طبقه‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶

جدول ۵. مساحت و درصد مساحت تعداد کل نقاط واقعیت زمینی برای صحت‌سنجی

کاربری	مساحت نقاط واقعیت زمینی (هکتار)	درصد مساحت نقاط واقعیت زمینی (٪)
جنگل کاری	۱۴۹/۲۸	۱/۷۷
اراضی کشاورزی و باغات	۵۵۱/۷۸	۶/۵۳
مرتفع فقیر	۳۶۴۶/۳۲	۴۳/۱۵
اراضی بایر	۱۶۳۹/۲۹	۱۹/۴۰
اراضی مسکونی	۱۱۰۰/۲۱	۱۳/۰۲
اراضی صخره‌ای	۱۱۲۷/۶۳	۱۳/۳۴
تپه‌های ماسه‌ای	۲۳۵/۹۲	۲/۷۹
مجموع	۸۴۵۰/۴۳	۱۰۰

جدول ۶. ماتریس خطای نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶

	Af	Ag & Gr	Br	Pr	Re	Ro	Sd	مجموع	خطای اضافه ^۱
Af	۴۲۲۷۱	۶۷	۲۹۷	۰	۱۴۷	۲۳۶	۴۹۸	۴۳۵۱۶	۰/۰۲۸۶
Ag & Gr	۵۰	۱۳۰۹۳	۳۵	۲۰۵	۳۱	۴۷	۴۴۲	۱۳۹۰۳	۰/۰۵۸۳
Br	۶۸۰	۲۲	۱۳۴۵۰	۱	۴	۱	۳۱	۱۴۱۸۹	۰/۰۵۲۱
Pr	۰	۱۱۷	۰	۶۶۶۹	۱	۰	۳	۶۷۹۰	۰/۰۱۷۸
Re	۷۳۲	۱	۰	۰	۲۷۰۶	۰	۲۶	۳۴۶۵	۰/۳۱۹
Ro	۸۲	۸۸	۱۷	۰	۷	۱۵۲۷	۹۳۶	۳۴۰۰	۰/۵۵۰۹
Sd	۳۹۷	۲۴۲	۱۲۹	۲	۲۹	۴۵	۱۸۳۲۶	۱۹۱۷۰	۰/۰۴۴
مجموع	۴۴۹۵۵	۱۳۶۳۰	۱۳۹۲۸	۶۸۷۷	۲۹۲۵	۱۸۵۶	۲۰۲۶۲	۱۰۴۴۳۳	-
خطای حذف ^۲	۰/۰۵۹۷	۰/۰۳۹۴	۰/۰۳۴۳	۰/۰۳۰۲	۰/۰۷۴۹	۰/۱۷۷۳	۰/۰۹۵۵	-	۰/۰۶۱۲

Af: جنگل کاری، Ag & Gr: اراضی کشاورزی و باغات، Br: اراضی بایر، Pr: مرتفع فقیر، Re: اراضی مسکونی، Ro: اراضی صخره‌ای، Sd: تپه ماسه‌ای

^۱ Error Commission

^۲ Error Omission

جدول ۷. پارامترهای آماری دقت نقشه کاربری اراضی به روش شیء گرا

سال	۲۰۱۶	
	دقت تولید کننده	دقت استفاده کننده
Af	۸۱/۷	۴۳/۹
Ag & Gr	۹۶/۸	۹۸/۱
Br	۸۸/۳	۹۴/۵
Pr	۸۹/۸	۹۵
Re	۹۵/۵	۹۳/۳
Ro	۹۶	۹۴
Sd	۹۲/۳	۷۷/۵
دقت کل (%)	۹۵/۱۸	
ضریب کاپا (%)	۹۱/۷۷	

بررسی رابطه کاربری اراضی با فلزات سنگین خاک

خلاصه‌ای از آمار توصیفی برای غلظت کل عناصر سنگین در کاربری‌های مختلف در جدول (۸) نشان می‌دهد.

دامنه تغییر Fe در تمام منطقه بین ۰/۴۴۲ تا ۱/۵۹۱ ppm می‌باشد. کاربری اراضی کشاورزی و باغ و تپه‌های ماسه‌ای با میانگین ۰/۹۵۰ و ۰/۸۳۶ ppm به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت Fe را نشان می‌دهند. تغییرات Mn بین صفر تا ۴/۷۶۹ ppm می‌باشد که بیشترین میانگین مربوط به کاربری اراضی مسکونی به مقدار ۱/۸۲۱ ppm و کمترین میانگین مربوط به اراضی صخره‌ای به مقدار ۱/۰۸۳ ppm می‌باشد. مقدار تغییرات Ni بین ۰/۰۹۱ تا ۱/۲۴۱ است که کاربری‌های مرتع فقیر و اراضی بایر بیشترین میانگین به مقدار ۰/۳۰۲ ppm و کاربری اراضی مسکونی کمترین میانگین به مقدار ۰/۲۱۹ ppm را به خود اختصاص داده‌اند.

بیشترین میانگین Pb در کاربری اراضی کشاورزی و باغات و همچنین اراضی مسکونی به ترتیب به مقدار ۱/۴۶۵ و ۱/۳۷۳ ppm کمترین میانگین در اراضی صخره‌ای به مقدار ۰/۹۲۵ ppm دیده می‌شود. کاربری‌های اراضی

کشاورزی و باغات و اراضی مسکونی بیشترین میانگین غلظت Zn به ترتیب به مقدار ۰/۵۸۳ و ۰/۵۵۲ ppm و کاربری اراضی صخره‌ای کمترین غلظت Zn به مقدار ۰/۳۴۲ ppm را دارند.

■ بحث و نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های غلظت عناصر سنگین، یکی از مراحل مهم و اولیه در راستای تصمیم‌گیری برای جداسازی محدوده‌های آلوده یا تعیین محدوده‌های مناسب برای اقدامات حفاظتی می‌باشد.

نتایج همبستگی بین داده‌های عناصر سنگین خاک نشان دهنده این واقعیت است که بخش اعظمی از تغییرات این Ni، Fe، Pb و Zn عنصر در خاک توسط عوامل مشابهی مانند عملیات معدن‌کاوی، استخراج و فعالیت‌های صنعتی این مواد و همچنین دود ناشی از عبور و مرور خودروها و وسایل نقلیه سبک و سنگین در مجاور بزرگراه و جاده بندرعباس-تهران در منطقه کنترل می‌شود.

نتایج به دست آمده توسط دیگر محققان نیز عوامل مشابهی را در تغییرات عناصری مانند Pb و Zn مؤثر دانسته‌اند (۶۲، ۲۷).

جدول ۸. آمار توصیفی غلظت کل عناصر سنگین در کاربری‌های مختلف دشت یزد-اردکان

عنصر	پارامتر	جنگلکاری	اراضی کشاورزی و باغات	مرتفع فقیر اراضی بایر	اراضی مسکونی	تپه‌های ماسه‌ای
Fe	حداقل	۰/۷۸۳	۰/۴۴۲	۰/۴۴۲	۰/۴۴۲	۰/۶۶۲
	حداکثر	۰/۹۷۰	۱/۵۹۱	۱/۱۹۰	۱/۴۴۲	۰/۹۷۰
	میانگین	۰/۹۳۶	۰/۹۵۰	۰/۹۳۵	۰/۹۳۹	۰/۸۳۶
Mn	حداقل	۰/۹۳۴	۰/۴۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۱۶
	حداکثر	۴/۷۶۹	۴/۷۶۹	۴/۷۶۹	۴/۷۶۹	۲/۳۵۳
	میانگین	۱/۶۸۶	۱/۶۲۴	۱/۰۹۰	۱/۳۳۴	۱/۱۲۵
Ni	حداقل	۰/۱۴۳	۰/۰۹۱	۰/۰۹۱	۰/۱۴۳	۰/۱۷۳
	حداکثر	۰/۴۷۵	۰/۷۵۳	۱/۲۴۱	۱/۲۴۱	۰/۴۷۵
	میانگین	۰/۲۳۳	۰/۲۴۷	۰/۳۰۲	۰/۳۰۲	۰/۲۹۴
Pb	حداقل	۰/۷۷۵	۰/۴۹۰	۰/۰۰	۰/۴۹۰	۰/۴۹۰
	حداکثر	۱/۹۸۱	۴/۲۶۲	۲/۸۲۱	۴/۲۶۲	۱/۹۸۱
	میانگین	۱/۲۵۴	۱/۴۶۵	۱/۱۵۱	۱/۲۴۸	۱/۲۰۴
Zn	حداقل	۰/۱۴۲	۰/۲۷۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۲۱۷
	حداکثر	۰/۵۳۲	۱/۲۶۷	۱/۲۶۷	۱/۲۶۷	۱/۲۶۷
	میانگین	۰/۳۶۹	۰/۵۸۳	۰/۳۴۷	۰/۴۵۳	۰/۳۵۲

اراضی مسکونی دارای غلظت متوسط روی یا طبقه ۱-۵/۰ هستند. غلظت Mn در مسیر دشت یزد-اردکان که معادن و کارخانه‌ها وجود دارند در طبقه زیاد قرار دارد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی شده عنصر Mn، غلظت آن در کل منطقه زیاد است و نیاز به مدیریت دارد. منبع اصلی Mn در خاک، از پوسته زمین حاصل می‌شود، در حالیکه مهمترین منابع آلودگی Mn عوامل محیطی شامل تخلیه فاضلاب شهری، لجن فاضلاب و احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن و کارخانه‌ها می‌باشد (۲۳).

غلظت عنصر Ni در منطقه در طبقه کم قرار دارد. همانطور که در نقشه پهنه‌بندی عنصر Ni مشاهده می‌شود در کاربری مرتفع فقیر بیشترین توزیع را داریم. بر خلاف انتظار در مکان‌های که معادن و کارخانه‌ها، اراضی کشاورزی و باغات و اراضی مسکونی قرار دارند غلظت عنصر Ni پایین است و این نشان دهنده عدم ارتباط این عنصر با کاربری اراضی می‌باشد. محققین مقدار Ni در خاک را مرتبط با مواد دانسته‌اند (۳۵). در خاک‌های چین، منشاء Ni در خاک سطحی به مواد مادری ربط داده شد (۶۷، ۴۵، ۱۴) طبق نتایج تحقیقات صورت گرفته غلظت عنصر Ni با کاربری زمین ارتباطی ندارد و تغییرات آن مرتبط با مواد مادری در خاک‌ها می‌باشد (۴۰).

تغییرنماهای مورد استفاده در تحقیق حاضر به خوبی نشان دادند که ترسیم تغییرنما علاوه بر اثبات همبستگی مکانی بین داده‌های فلزات سنگین خاک، قابلیت مدل تغییرات همبستگی مکانی در جهت‌های مختلف را نیز دارند. همبستگی داده‌ها نشان دهنده این واقعیت است که بخش اعظمی از تغییرات این پنج عنصر شامل Fe، Mn، Ni، Pb و Zn در خاک توسط عوامل مشابهی مانند عملیات معدن‌کاوی، استخراج و فعالیت‌های صنعتی در منطقه کنترل می‌شود. مطالعات بسیار نشان داده است که خاک-های مناطق شهری به دنبال فعالیت‌های بشر مثل ساخت و ساز، فعالیت‌های معادن و صنایع مدرن توسط مقادیر زیادی از فلزات سنگین آلوده شده‌اند (۳۰).

تعداد معادن و کارخانه در منطقه مورد مطالعه بیش از ۲۸۰ عدد است و بیشترین حضور آنها در مرکز منطقه و در مسیر جاده یزد به اردکان است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی عناصر سنگین خاک، بیشترین درصد مساحت توزیع عنصر Fe در طبقه ۱-۵/۰ یا متوسط می‌باشد و به صورت نقطه‌ای در جاهایی که تجمع معادن و کارخانجات وجود دارند، غلظت Fe بالا می‌باشد. مساحت طبقه غلظت پایین، خیلی ناچیز می‌باشد که نشان دهنده افزایش مقدار Fe در منطقه است. مناطق با کاربری‌های اراضی کشاورزی و باغات و

در جاهایی که تجمع معادن و کارخانجات وجود دارند عنصر Zn در طبقه متوسط و بقیه منطقه در طبقه پایین قرار دارد. مساحت طبقه بالا ۰/۵- بسیار ناچیز است. در مطالعه‌ای که بر روی خاک‌های سطحی اسپانیا انجام شد، فعالیت‌های انسانی و نوع مواد مادری را عامل افزایش غلظت روی به خاک‌های کشاورزی منطقه معرفی کردند (۴۲). همچنین (۱۲) نشان دادند که غلظت روی در خاک به وسیله مواد مادری و فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود.

درون‌یابی داده‌های Pb نشان می‌دهد که کانون اصلی غلظت Pb، در مرکز به سمت جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشد (مناطق که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند). در این مناطق مقدار غلظت Pb به دلیل تجمع معادن و کارخانه‌ها، اراضی کشاورزی و باغات و اراضی مسکونی در طبقه بالا قرار دارند و در شمال و شرق منطقه غلظت Pb در طبقه‌های متوسط و کم قرار دارند (۱۵). برای تعیین منابع فلزات سنگین در خاک به این نتیجه رسیدند که غلظت عنصر Pb توسط منابع انسانی کنترل می‌شود. همچنین نتایج در خاک‌های اروپا نشان می‌دهد که غلظت عنصر Pb همبستگی بالایی با کشاورزی دارد (۳۱). نتایج به دست آمده توسط سایر محققین نیز عوامل مشابهی را در کنترل تغییرات عناصری مانند Pb و Zn دخیل دانسته‌اند (۲۷).

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان‌دهنده کارایی و اعتمادپذیری بالای روش شیء‌گرا در استخراج نقشه

کاربری اراضی می‌باشد (ضریب کاپای بالای ۰/۹۱). با این حال محدودیت در انتخاب پارامترهای بهینه قطعه‌بندی و خطای بالقوه موجود در قطعه‌بندی از مشکلات و آسیب‌های قطعه‌بندی و به‌نوعی روش شیء‌گرا محسوب می‌شود. خطاهای موجود در قطعه‌بندی می‌تواند باعث بروز خطا در طبقه‌بندی شود و این موضوع استفاده این روش را دچار چالش جدی خواهد نمود. از دلایل عمده پایین بودن دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی تپه‌های ماسه‌ای، کاهش دقت هم‌پوشانی طیفی و مشابهت نسبی در الگوی کاربری‌ها بوده است. در تحقیقی که در دامنه سبلان انجام شد نتایج نشان داد که کاربری زراعت دیم نیز به علت شباهت طیفی با کاربری مرتع، باعث کاهش تفکیک این دو عارضه می‌شود (۲۶).

با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه و تنوع کاربری‌ها در منطقه به خصوص وجود کاربری‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، بدیهی است که این منطقه در معرض آلودگی‌های مختلف از جمله آلودگی خاک به فلزات سنگین قرار گیرد، بنابراین تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین و ارائه راه‌های مؤثر و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مناسب و کارآمدتر جهت پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی خاک به فلزات سنگین امری ضروری است.

■ References

1. Acosta, J., Faz, A., Martinez-Martinez, S., Zornoza, R., Carmona, D., & Kabas, S. (2011). Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation. *Geochemical Exploration*, 109(1-3), 8-17.
2. Barzin, M., Kheirabadi, H., & Afyuni, M. (2015). An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan province using pollution index. *Water and Soil Science*, 19(72), 69-80 (In Farsi).
3. Bini, C., Sartori, G., Wahsha, M., & Fontana, S. (2011). Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. *Geochemical Exploration*, 10(1-3), 125-133.
4. Blaschke, T., & Lang, S. (2006). Briding remote sensing and GIS-what are the main supportive pillars. *1st International Conference on Object-based Image Analysis*. Page 6.
5. Bouziani, M., Goita, K., & He, D.C. (2010). Rule-based classification of a very high-resolution image in an urban environment using multispectral segmentation guided by cartographic data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(8), 3198-3211.

6. Braimoh. A.K., & Stein, A. (2004). Land evaluation for Maize based on Fuzzy set and interpolation. *Environmental Management*, 33(2), 226-238
7. Bruce, C. M., & Hilbert, D. W. (2004). Pre-processing methodology for application to Landsat TM/ETM⁺ imagery of the Wet Tropics. *Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management. Rainforest CRC, Cairns*, 38 pages.
8. Cai, L., Xu, Z., Ren, M., Guo, Q., Hu, X., Hu, G., Wan, H., & Peng, P. (2012). Source identification of eight hazardous heavy metals in agricultural soils of Huizhou, Guangdong Province, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78, 2-8.
9. Caniani, D., Lioi, D.S., Mancini, I. M., & Masi, S. (2011). Application of fuzzy logic and sensitivity analysis for soil contamination hazard classification. *Waste Management*, 31(3), 583-594.
10. Chabukdhara, M., & Nema, A. K. (2012). Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: a chemometric and geochemical approach. *Chemosphere*, 87(8), 945-953.
11. Chavez P.S.J.R., & Mackinnon, D.J. (1994). Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60(5), 571-583.
12. Chen T., Liu X., Li X., Zhao K., Zhang J., Xu J., Shi J., & Dahlgren, R.A. (2009). Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*. 157, 1003-1010.
13. Chen, T., Xingmei, L., Muzhi, Z., Jiangun, W., Jianming, X., & Panming, H. (2008). Identification of trace element source and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*, 151, 67-78.
14. Chen, T.B., Zheng, Y.M., Lei, M., Huang, Z.C., Wu, H.T., Chen, H., Fan, K.K., Yu, K., Wu, X., & Tian, Q.Z. (2005). Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*. 60(4), 542-551.
15. Facchinelli, A., Sacchi, E., & Mallen, L. (2001). Multivariate statistical and GIS based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*. 114, 313-324.
16. Fathizad, H., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Taghizadeh Mehrjardi, R., & Sodaiezhadeh, H. (2018). Evaluating desertification using remote sensing technique and object-oriented classification algorithm in the Iranian central desert. *Journal of African Earth Sciences*. 145, 115-130.
17. Fathizad, H., Mobin, M.H., Gholamnia, A., & Sodaiezhadeh, H. (2017). Modeling and mapping of solar radiation using geostatistical analysis methods in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(17), 391.
18. Feizizadeh, B., Blaschke, T., Tiede, D., & Moghaddam, M. H. R. (2017). Evaluating fuzzy operators of an object-based image analysis for detecting landslides and their changes. *Geomorphology*, 293, 240-254.
19. Ghanavati, Nasrin. Azari, N., Taghizadegan, M., Khoshdeli, F., Rafsanjani Nejad, S., Sori, R., & Fekri, M. (2016). Development Challenges in Yazd Province. *The Center for Strategic Studies*. pp: 31. (in Farsi)
20. Ghorbani, H., Hafezi Moghadas, N., & Kashi, H. (2015). Effects of land use on the concentrations of some heavy metals in soils of Golestan province. *Agricultural Science and Technology*, 17, 1025-1040.
21. Gu, Y. G., Wang, Z. H., Lu, S. H., Jiang, S. J., Mu, D. H., & Shu, Y. H. (2012). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. *Environmental Pollution*, 163, 248-255.
22. Guo, G., Wu, F., Xie, F., & Zhang, R. (2012). Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *Environmental Sciences*, 24(3), 410-418.

23. Howe, P. D., Malcolm, H. M., & Dobson, S. (2004). Manganese and its compounds: environmental aspects. WHO, Geneva, Concise international chemical assessment document (CICAD).
24. Huang, S.W., & Jin, J.Y. (2008). Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use. *Environmental Monitoring and Assessment*, 139(1-3), 317-327.
25. Iman, R.L., & Conover, W.J. (1980). Small sample sensitivity analysis techniques for computer models, with an application to risk assessment. *Communications in Statistics Theory and Methods*, 9, 1749-1874.
26. Kakeh Mami, A., Ghorbani, A., Kayvan Behjoo, F., & Mirzaei Mosivand, A. (2017). Comparison of visual and digital interpretation methods of land use/cover mapping in Ardabil province. *RS & GIS for Natural Resources*. 8(3), 121-134. (in Farsi)
27. Li, X., & Feng, L. (2012). Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China. *Atmospheric Environment*. 47, 58-65.
28. Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W. (1994). Remote sensing and image interpretation, John Wiley and Sons, New York.
29. Lin, Y.P., Chang, T.K., & Teng, TP. (2001). Characterization of soil lead by comparing sequential Gaussian simulation simulated annealing simulation and kriging methods. *Environmental Geology*, 41, 189-199.
30. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *Remote Sensing*, 25(12): 2365-2407.
31. Luis, R.L., Tomislav, H., & Hannes, LR. (2008). Heavy metal; in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 148, 189-199.
32. Maas, S., Scheifler, R., Benslama, M., Crini, N., Lucot, E., Brahmia, Z., Benyacoub, S., & Giraudoux, P. (2010). Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. *Environmental Pollution*. 158, 2294-2301.
33. McGraph, D., Zhang, C.S., & Carton, O. (2004). Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines, area Ireland. *Environmental Pollution*, 127, 239-248.
34. McKay, M. D., Beckman, R. J., & Conover, W. J. (1979). A comparison of three methods for selecting values of input variables in analysis of output from a computer code, *Technometrics*, 21(2), 239-245.
35. Mico, C., Recatala, L., Peris, M., & Sanchez, J. (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of a European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 65(5), 863-872.
36. Minasny, B., & McBratney, A.B. (2002). Uncertainty analysis for pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, 53, 417-430.
37. Moran, C.J., & Brereton, D. (2013). The use of aggregate complaints data as an indicator of cumulative social impacts of mining: a case study from the Hunter Valley, NSW, Australia. *Resources Policy*, 38(4), 704-712.
38. Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and mineralogical properties. Agronomy Series No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
39. Paz-Gonzalez, A., Viera S. R., & Castro, M. T. (2000). The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, 97(4), 273-292.
40. Pouyat, R, V., Yesilonis, I., Russell-Anelli, J., & Neerchal, N.K. (2007). Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover. *Soil Science Society of America Journal*. 71(3), 1010-1019.

41. Richards, J.A. (1993). An introduction to remote sensing digital image analysis, Springer-Verlag New York.
42. Rodriguez Martin, J.A., Lopez Arias M., & Grau Corbi, J.M. (2006). Heavy metal contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution*. 144, 1001-1012.
43. Safari, Y. (2017). Mapping the overall soil pollution by heavy metals using limitation scores. *Soil Management and Sustainable Production*, 6(4), 56-70. (in Farsi)
44. Schueler, V., Kuemmerle, T., & Schroder, H. (2011). Impacts of surface gold mining on land use systems in Western Ghana. *Ambio*, 40, 528-539.
45. Shi, G., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C., & Teng, J. (2008). Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. *Environmental Pollution*. 156(2), 251-260.
46. Simmons, J.A., Currie, W.S., Eshleman, K.N., Kuers, K., Monteleone, S., Negley, T.L., Pohl, B.R., & Thomas, C.L. (2008). Forest to reclaimed mine land use change leads to altered ecosystem structure and function. *Ecological Applications*, 18, 104-118.
47. Singh, P. K., Singh, R., & Singh, G. (2010). Impacts of coal mining and Industrial activities on land use pattern in Angul - Talcher Region of Orissa, India. *Engineering Science and Technology*, 2(12), 7771-7784.
48. Soffianian, A. R., Bapeer Bakir, H., & Khodakarami, L. (2015). Evaluation of heavy metals concentration in soil using GIS, RS and Geostatistics. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 9(12), 61-72.
49. Sonter, L.J., Barrett, D.J., & Soares-Filho, B.S. (2014). Offsetting the impacts of mining to achieve no-net-loss of native vegetation. *Conservation Biology*, 28(4), 1068-1076
50. Sonter, L.J., Moran, C.J., & Barrett, D.J., 2013. Modeling the impact of revegetation on regional water quality: a collective approach to manage the cumulative impacts of mining in the Bowen Basin, Australia. *Policy*, 38, 670-677.
51. Taghizadeh Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Tazeh, M., Omid, M., Toomanian, N., Rousta, M.J., & Rahimian, M.H. (2015). Comparison of different sampling methods for digital soil mapping in Ardakan region. *Watershed Engineering and Management*. 6(4), 253-263. (in Farsi)
52. Tong, X., Lin, X., Feng, T., Xie, H., Liu, S., Hong, Z., & Chen, P. (2013). Use of shadows for detection of earthquake-induced collapsed buildings in high-resolution satellite imagery. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 53-67.
53. Townsend, P.A., Hesters, D.P., Kingdon, C.C., McNeil, B.E., de Beurs, K.M., & Eshleman, K.N. (2009). Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976-2006 Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 113, 62-72.
54. Valizadeh Kamran, K., Roostaei, S., Rahimpour, T., & Nakhostin Rohee, M. (2017). Determining the most appropriate geostatistical method for groundwater salinity mapping (Case Study: Shiramin Plain, East Azerbaijan Province). *Hydrogeomorphology*. 2(6), 17-32.
55. Van Meirvenne, M., & Goovaerts, P. (2001). Evaluating the probability of exceeding a site-specific soil cadmium contamination threshold. *Geoderma*, 102, 63-88.
56. Virgilio, N.D., Monti, A., & Venturi, G. (2007). Spatial variability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field Crops Research*, 101, 232-239.

57. Walsh, S.J. (1988). Geographic Information Systems: An Instructional tool for earth science educators. *Geography*, 89, 17-25.
58. Wang, S. Z., Zhao, Z. H., Xia, B., Qiu, H., Morel, J. L., & Qiu, R. L. (2014). A fuzzy-based methodology for an aggregative environmental risk assessment of restored soil. *Pedosphere*, 24(2), 220-231.
59. Webster, R., & Oliver, M.A. (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley, Chichester, 330 Pages
60. Weerasiri, T., Wirojanagud, W., & Srisatit, T. (2014). Assessment of potential location of high arsenic contamination using Fuzzy overlay and spatial anisotropy approach in Iron Mine Surrounding Area. *Scientific World Journal*, 11.
61. Xie, Y., Chen, T., Lei, M., Guo, Q., Song, B., & Zhou, X. (2011). Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation method: Accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*, 82, 468-476.
62. XingMei, L., Jjianjun, W.V., & Jiangming, X.U. (2006). Characterizing the risk assessment of heavy metal and sampling uncertainty analysis in paddy fields by Geostatistics and GIS. *Environmental Pollution*, 41, 279-289.
63. Yan, GAO, (2003). Pixel based and object-oriented image for coal fire research.
64. Yu, A.H., & Zhao, Y. (2011). Evaluation on the soil pollution degree on two sides of highway with the Fuzzy Mathematics Method. *International Conference on Remote Sensing. Environment and Transportation Engineering*, 24, 4023-4026.
65. Zaree, M. (2011). Data analysis in natural resources research using spss software. Jahad Daneshgahi Tehran, 310 pp.
66. Zehtabian, G.R., Sardari, M., & Souri, M. (2005). The study of irrigation on soil salinity (case study: Yazd-Ardakan plain). *Desert*, 11(1), 197-210. (in Farsi)
67. Zhang, X.P., Deng, W., & Yang, X.M. (2002). The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(2), 167-174.
68. Zhang, Y., & Pinder, G.F. (2004). Latin-hypercube sample-selection strategies for correlated random hydraulic-conductivity fields. *Water Resources Research*, 39(8), 1226.
69. Zhao, Y., Peth, S., Krummelbein, J., Horn, R., Wang, Z., Steffens, M., Hoffmann, C., & Peng, X. (2007). Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological Modeling*, 205, 241-254.

Investigating the Relationship Between the Distribution Pattern of Heavy Metals in Soil and Land Use in the Yazd-Ardakan Plain

H. Fathizad¹, M.A. Hakimzadeh Ardakani^{2*}, R. Taghizadeh-Mehrjardi³, H. Sodaiezhadeh⁴

1. Ph. D Combat Desertification, Department of arid and desert regions management, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Associate Professor, Department of arid and desert regions management, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources Department, Ardakan University, Yazd, Iran.
4. Associate Professor, Department of arid and desert regions management, School of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

*Corresponding Author: hakim@yazd.ac.ir

Received date: 17/12/2018

Accepted date: 23/06/2019

Abstract

In recent years, due to the expansion of industrial activities, the concentration of heavy metals in the environment as well as foods has increased. Heavy metals are dangerous because of their bioaccumulation. Regarding the importance of contamination of heavy elements of the soil, the present study aimed to provide the spatial distribution of heavy metals and its relationship with land use in the Yazd-Ardakan plain, Iran. First, 201 soil samples from depths of 0 to 20 cm were sampled using the hypercube method, and the total concentration of iron, manganese, nickel, lead, and zinc elements were determined using Analytical Jena-novAA300 atomic absorption device. Then, to convert point data to surface data, geostatistical methods of IDW, GPI, RBF, LPI, and Kriging were used. The land cover/use map of the Yazd-Ardakan plain in 2016 was mapped using an object-oriented classification method. Results of the relationship between heavy metals concentration and land cover/use showed that the agricultural lands and gardens and sand dunes with the mean of 0.950 and 0.836 ppm had the highest and lowest iron concentrations. The highest mean concentration of manganese was related to the residential land (1.821 ppm) and the lowest mean of rocky terrains (1.083 ppm), the most average for poor rangelands and bare land was (0.302 ppm), Residential areas had the lowest nickel concentration (0.192 ppm). The highest mean of lead metal in agricultural land and gardens, as well as residential areas (1.465 and 1.373 ppm, respectively) and the lowest, mean in rocky terrains (0.925 ppm). Agricultural and gardens areas, and residential lands, have the highest mean of zinc concentration (0.583 and 0.552 ppm, respectively), and the rocky terrain has the lowest zinc concentration (0.342 ppm).

Keywords: Soil pollution; Hypercube; Geostatistics; Object-oriented classification