شناسایی منابع فلزات سنگین در خاک سطحی با رویکرد تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری (مطالعه موردی استان همدان)

لقمان خداکرمی[1]، علی شهبازی[2]، لعبت تقوی

۱- گروه مهندسی نفت، دانشکده فنی، دانشگاه کویا، کویا، منطقه کردستان، عراق.

۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: ali.shahbazi.iut@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۱/۲۷

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی منابع فلز سنگین (کروم، کادمیوم، روی، روی، وی، مس، سرب، نیکل، اسب، آسیو، کادمیوم، کادمیم) در لایه سطحی خاک استان همدان، از روش تصادفی سیستماتیک برای نمونه برداری از خاک استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک برای تعیین منابع فلزات سنگین، از روش‌های آماری چند متغیره (تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ماتریس همبستگی و تحلیل خوشه‌ای) استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره نشان داد که منشاء اصلی کروم، کبالت، نیکل، روی، سرب و وانادیوم مواد مادری و مس کادمیون، آرسنیک و آنتیموان منشاء مشترک مواد مادری و منابع انسانی هستند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که کروم، کبالت، نیکل، آهن، روی، سرب و وانادیم اولین عامل با بیشترین ارتباط بودند. همبستگی نزدیک بین این عناصر می تواند منشأ مشترک آنها را نشان دهد. با توجه به ساختار زمین شناسی و نقشه های کشاورزی منطقه مورد مطالعه، غلظت بالای این اجزا در خاک سطحی مواد مادری است. اما به دلیل مصرف زیاد کودهای شیمیایی (متوسط مصرف کود اوره ۵۰۰-۷۰۰ کیلوگرم در هکتار، مصرف کود پتاس ۲۰۰-۳۳۰ کیلوگرم در هکتار و مصرف کود فسفر ۳۰۰-۵۵۸ کیلوگرم در هکتار در سال) و امکان وجود این عناصر در ساختار شیمیایی کودهای اوره، فسفات و پتاس، افزایش غلظت عناصر در خاک توسط آنها دور از ذهن نیست. مس، آنتیموان، کادمیوم و آرسنیک از جمله اجزای موجود در عامل دوم هستند. با توجه به ساختار زمین شناسی و نقشه کاربری اراضی، غلظت بالای این عناصر هم ناشی از فعالیت های طبیعی و هم فعالیت های انسانی است. نتایج تحلیل خوشه ای این یافته ها را تایید می کند. در مجموع، یافته‌های این مطالعه نشان داد که مطالعه همبستگی بین فلزات سنگین، بررسی منشأ و تجزیه و تحلیل آنها با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره بسیار دقیق و ساده خواهد بود.

کلمات کلیدی:

" آمار چند متغیره"، " فلزات سنگین"، " آنالیز مولفه های اصلی"، " آنالیز خوشه ای "، " منشأیابی "

۱- مقدمه

خاک ترکیب ویژه ای از زیست کره است که نه تنها یک مخزن ژئوشیمیایی برای آلودگی هاست، بلکه به عنوان یک بافر طبیعی کنترل کننده انتقال عناصر شیمیایی هوا کره، آب کره و زیست کره به شمار می رود. گسترش روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش جمعیت و دخالت بی رویه بشر در طبیعت منجر به تخریب و آلودگی محیط زیست شده است. آلودگی خاک بویژه آلودگی خاک به فلزات سنگین از جمله مسائل زیست محیطی مورد توجه بسیاری از محققین می باشد. پراکنش جغرافیایی عناصر سنگین در خاک، چه‌به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت های انسان، مسائل و مشکلاتی را به همراه خواهد داشت. فلزات سنگین می توانند از طریق هوازدگی مواد مادری یا مواد آلوده کننده خارجی وارد محیط خاک شوند. برای برخی از فلزات مانند سرب، آلودگی از طریق منابع خارجی بسیار بیشتر از منابع طبیعی است. از عوامل طبیعی، مواد مادری فاکتور اصلی تعیین کننده غلظت فلزات سنگین در خاک هستند و از عوامل غیر طبیعی فعالیت های صنعتی و کشاورزی در ردیف منابع اصلی ورود فلزات سنگین به خاک محسوب شده و به عنوان منابع انسانی شناخته می شوند. منابع انسانی ورود فلزات سنگین به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می شوند. فلزات سنگین به صورت ناخالصی همراه با منابع اولیه شامل لجن فاضلاب، کودهای شیمیایی و آفت کش ها به خاک اضافه می شوند. منابع ثانویه شامل ورود فلزات سنگین از طریق معادن، فعالیت های صنعتی و یا از طریق فرونشست از هوا می باشد(کاباتا، ۲۰۰۱). به منظور شناسایی منابع ورود فلزات سنگین(کروم، کبالت، روی، وانادیم، مس، سرب، نیکل، آنتیموان، آرسنیک و کادمیوم)

به خاک سطحی استان همدان (۰-۲۰ سانتی متر) از روش های آماری چند متغیره (تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی و خوشه ای) استفاده شد. مطالعات متعددی در زمینه استفاده از آمار چند متغیره در ارزیابی آلودگی خاک انجام گرفته است . بعنوان نمونه لی و همکاران (۲۰۰۹) برای آنالیز و ارزیابی منابع فلزات سنگین در خاکهای ساحلی و ته نشست های رسوبی شانگهای چین، میکو و همکاران (۲۰۰۶) به منظور ارزیابی فلزات سنگین در خاکهای کشاورزی اروپا و چن و همکاران (۲۰۰۸) برای شناسایی منابع عناصر کمیاب از روش های آماری چند متغیره استفاده کردند. همچنین مین ژنگ و همکاران(۲۰۰۸) منابع ورود فلزات سنگین به خاک سطحی در بجینگ چین بررسی کردند. لین (۲۰۰۲) به منظور تعیین منابع ورود فلزات سنگین در خاک شالیزارها و ایناکس (۱۹۹۹)با هدف ارزیابی وضعیت آلودگی خاک، روش های آماری چند متغیره را بکار گرفتند. همچنین فاچینلی و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از آنالیز چند متغیره، به بررسی فاکتورهای مؤثر بر تغییرات غلظت فلزات سنگین و شناسایی منابع آنها پرداختند. جین و همکاران (۲۰۱۹) منابع فلزات سنگین در خاک و گرد و غبار در زمین های بازی کودکان در پکن با استفاده از GIS و تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره بررسی نمودند. نمونه های گرد و غبار خاک و تجهیزات از ۷۱ زمین بازی در سراسر پکن جمع آوری شد که برای ۱۱ فلز سنگین مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) برای شناسایی سازه‌های نهفته که تغییرپذیری فلزات سنگین را کنترل می‌کنند و منابع بالقوه را منعکس می‌کنند، استفاده شد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA) برای گروهبندی مکان‌های نمونه‌گیری انجام شد، که بینش بیشتری در مورد منابع قابل قبول ارائه کرد. فاکتورهای اصلی استخراج شده از PCA سپس مورد تجزیه و تحلیل زمین آماری قرار گرفتند (جین و همکاران، ۲۰۱۹).

هدف از این مطالعه شناسایی منابع فلزات سنگین در خاک سطحی استان همدان با رویکرد تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری است.

۲- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

استان همدان به وسعت ۱۹۴۹۳ کیلومتر مربع بین مدار های (۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه) تا (۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه) عرض شمالی از خط استوا و (۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه) تا (۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه) طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱). ۴۹/۳ ٪ وسعت استان به کاربری کشاورزی اختصاص دارد. این استان به لحاظ توسعه کشاورزی و دامداری یکی از قطب‌های اقتصادی ایران بحساب میآید. تشکیلات زمین شناسی غالب منطقه شامل تراسهای آبرفتی مربوط به دوره زمین شناسی کواترنری و همین طور تشکیلات آهک اوربیتالین و شیل و مارل 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 و اواخر پالئوژن می‌باشد (نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی ایران). خاک‌های منطقه خاکهای کم عمیق تا نیمه عمیق سنگریزه دار سبک تا متوسط همراه با تجمع مقداری مواد آهکی می‌باشد(گزارش مکان یابی محل دفع پسماند استان همدان، ۱۳۸۶).

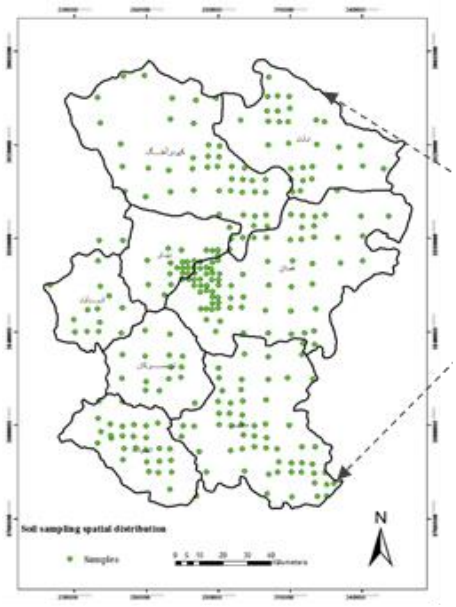
- روش نمونه برداری

نمونه‌برداری بر اساس روش تصادفی سیستماتیک انجام گرفت. بدین منظور ابتدا منطقه، به شبکه‌های ۵*۵ کیلومتری تقسیم شد. در مرحله بعد بر اساس شناخت از منطقه مطالعه و تنوع کاربری ها و فعالیت‌ها، مناطقی که شدت استفاده از زمین زیاد بود فاصله شبکه‌ها ۲/۵ * ۲/۵ کیلومتر و در مناطقی که شدت استفاده از زمین کمتر فاصله شبکه‌ها ۱۰*۱۰ کیلومتر انتخاب و محل تلاقی شبکه‌ها بعنوان نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. در مجموع تعداد ۲۸۶ نمونه خاک به روش ترکیبی از منطقه مطالعه جمع‌آوری گردید در نمونه‌برداری پس از نقطه یابی، در محل سایت نمونه برداری یک پلات ۲۰*۲۰ متر(ماکروپلات) زده و داخل آن به صورت V 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 برداشت و پس از مخلوط نمودن خاک، از آن یک نمونه مرکب ۲ تا ۳ کیلوگرم برداشت شد. همچنین با تکمیل فرم نمونه‌برداری اطلاعاتی در مورد کاربری محل نمونه برداری، نوع کشت (آبی یا دیم)، وضعیت ظاهری زمین، نوع محصول، مختصات جغرافیایی و نزدیکترین روستا تکمیل گردید. نمونه‌برداری خاک از مناطق بکر و دست نخورده، مناطق کوهستانی، شوره زارها، اراضی کشاورزی آبی یا دیم، تاکستان ها، باغ ها و اراضی پیرامون روستاها انجام گرفت.

- آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک

نمونه¬های خاک هوا خشک و پس از عبور از الک ۲ میلی¬متر برای آنالیز آماده گردیدند. بافت خاک (درصد شن ، سیلت و رس) به روش هیدرومتری و درصد مواد آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فروسولفات آمونیوم و دی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ، EC به وسیله EC متر Jemway مدل ۴۳۱۰ و pH نمونه ها در گل اشباع

خاک با استفاده با استفاده از pH متر متراهم ۷۴۴، اندازه‌گیری شد(کلوت، ۱۹۸۶، وبستر و بورگس، ۲۰۰۲). عصاره گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک نیز با استفاده از HCl و HNO^{3} صورت گرفت(کاو و همکاران ۱۹۸۴). غلظت عناصر سنگین سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان، کروم، کبالت، وانادیوم، نیکل و مس با استفاده از دستگاه ICP-MS و کادمیوم به وسیله روش کوره گرافیتی و با استفاده از دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه شیمی موسسه تحقیقات پیشرفته فرآوری مواد معدنی ایران، اندازه گیری شد (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱- پراکنش نقاط نمونه برداری در نقشه استان همدان

- آمار توصیفی

تعیین توزیع داده ها اولین گام در مطالعات آماری است. اکثر روشهای آماری مستلزم داشتن جامعه ای با توزیع نرمال می باشند. تعیین توزیع داده ها به روشهای مختلف مانند جداول فراوانی و نمودارهای مربوطه (هیستوگرام و نمودار احتمال تجمعی) امکان پذیر است. در این مطالعه برای بررسی توزیع و تست نرمال بودن داده ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از شاخصهای میانگین، میانه، چولگی ، کشیدگی و آماره کلموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع از روش تبدیل کاکس – باکس و لگاریتم برای نرمال شدن استفاده گردید. همچنین ضریب همبستگی بین فلزات سنگین ، ضریب همبستگی فلزات سنگین با سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک، آزمون تحلیل عاملی (PCA)برای فلزات سنگین، آنالیز خوشه ای برای فلزات سنگین و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی با کمک برنامه رایانه ای SPSS انجام گرفت.

- آنالیز تحلیل عاملی (PCA)

آنالیزهای مولفه های اصلی برای طبقه بندی ارتباطات بین متغیرهای اندازه گیری شده به کار می رود. در مواردی که تعداد متغیرهای مورد ارزیابی زیاد باشد تحلیل آنها از طریق ضریب همبستگی مشکل می باشد. در این گونه موارد از تحلیل عاملی استفاده می شود. با استفاده از تحلیل عاملی می توان تعداد زیاد متغیرها را در تعداد محدودی عامل بیان داشت بدین ترتیب که هر عامل از ترکیب خطی چند متغیر که دارای همبستگی بالایی می باشند به دست می آید. این آنالیز یک فن آماری است که به طور خطی مجموعه ای از داده های اصلی را به مجموعه اساساً کوچکتری از متغیرهای جدید بدون همبستگی با قابلیت درک و استفاده راحتتر فشرده می کند. اینکه داده ها مناسب تحلیل عاملی می باشند با استفاده از ضریب کمو (kmo) مشخص می شود. اگر این ضریب بیشتر از ۰/۷ باشد، داده ها برای انجام آنالیز تحلیل عاملی مناسب هستند. (حسنی پاک و شرفلدین، ۱۳۸۰، واکرنگل ۱۹۹۸) برای انجام تحلیل عاملی در این مطللعه از روش مولفه های اصلی(Principal components method) و روش چرخش varimax استفاده شد.

- روش های سلسله مراتبی گروه بندی

رایجترین روش گروه بندی داده ها بر پایه ساختار سلسله مراتبی گروهها استوار است. انجام این روش ها با محاسبه فواصل بین متغیر های مورد مطالعه آغاز می گردد. جهت گروه بندی داده ها، معمولاًیکی از دو رویکرد (شیوه) «انباشتگی» یا «تقسیط» به کار گرفته می شود که رویکرد اول رایج تر است. در این مطالعه برای گروه بندی متغیرها از روش انباشتگی استفاده شده است. این روش ابتدا با یک متغیر آغاز می شود لذا در شروع پردازش، تعداد گروهها برابر با تعداد متغیرهای مورد مطالعه (متغیرهای هدف) است. سپس گروههای مشابه و متجانس، بایکدیگر ترکیب وبا کاهش تجانس، تمامی زیر گروهها بر روی هم انباشته و متراکم می گردند و در نهایت یک گروه منفرد را تشکیل می دهند. نتایج حاصل از گروه بندی را می توان به صورت شماتیک و با استفاده از نموداری دو بعدی که اصطلاحاً «دندروگرام» نامیده می شود، نشان داد. این نمودار، ترکیب یا تقسیم شدن متوالی گروهها در مراحل مختلف عملیات گروه بندی را نشان می دهد (محمدی، ۱۳۸۵). در روش سلسله مراتبی، روش های مختلفی برای محاسبه شباهت درون گروهی خوشه ها وجوداردد، سه روش اصلی آن شامل: ۱- ضرایب فاصله ۲- ضرایب همبستگی ۳- ضرایب اتحاد می باشد (سوان و همکاران، ۱۹۹۶) در این مطالعه از ضریب همبستگی به عنوان ملاک شباهت استفاده شده است.

۳- نتایج

آمار توصیفی

توصیف آماری غلظت عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک در جدول (۱)خلاصه شده است. ضریب تغییرات برای کادمیوم ، آرسنیک ، آنتیموان ، آهک ، مواد آلی، شن و EC بالاتر از ۵۰ درصد می باشد که بیانگر وجود تغییرات زیاد غلظت این خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک منطقه مطالعه می باشد، اما برای سایر عناصر و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ضریب تغییرات کمتر از ۵۰ درصد می باشد که نشاندهنده عدم وجود تغییرات خیلی زیاد غلظت این عناصر است. ضریب تغییرات بالای فلزات سنگین می تواند نشان دهنده تأثیر منابع انسانی در ورود فلزات سنگین به خاک باشد. ژنگ و همکاران(۲۰۰۹) و آکوستا و همکاران(۲۰۱۰) نیز در مطالعات خود از آنالیز چند متغیره استفاده کردند و فلزات سنگین بر اساس ضریب تغییرات، در دو گروه مقادیر کمتر از ۰.۵ و بالاتر از آن دسته بندی کردند. بر اساس نتایج آنها فلزات سنگین با منابع طبیعی می توانند با ضریب تغییرات پایین در حالیکه فلزات با منبع انسانی ضریب تغییرات بالایی را دارند .خاک منطقه مورد مطالعه با میانگین اسیدیته ۷/۷۳ دارای کمترین ضریب تغییرات و EC با میانگین ۱/۷ مدارای بیشترین ضریب تغییرات می باشند .نتایج آنالیز آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد داده های مربوط به آرسنیک، کادمیوم، کروم، کبالت، وانادیوم، سرب، مواد آلی و EC نرمال نیستند، برای نرمال کردن عناصر آرسنیک، سرب، کروم، کبالت و متغیر هدایت الکتریکی از تبدیل لگاریتمی استفاده شد و کادمیوم و وانادیوم و همچنین درصد مواد آلی با اصلاح داده های پرت نرمال شدند. در مطالعاتی که توسط بیگی (۱۳۸٤) و جیاکن و همکاران (۲۰۰۷) بر روی توزیع مکانی فلزات سنگین انجام شده از تبدیل لگاریتم برای نرمال کردن غلظت آن دسته از عناصری که دارای توزیع غیر نرمال بودند استفاده شد(بیگی،۱۳۸٤ ، جیاکن و همکاران ، ۲۰۰۷).

آنالیز چند متغیره

ماتریس همبستگی

از آنالیز همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی کلیه متغیرها و همچنین همبستگی فلزات سنگین با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک (pH، EC، ماده آلی و رس) استفاده شد. نتایج آنالیز همبستگی پیرسون بین متغیرها درجدول ۲ آمده است. همبستگی بالا بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق فعالیت‌های کشاورزی و یا از طریق مواد مادری به خاک باشد. در مطالعه انجام شده توسط گورهان و همکاران (۲۰۰۷) نیز همبستگی بین فلزات سنگین را از روش ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و به این نتیجه رسیدند، فلزاتی که همبستگی قوی با هم دارند احتمالاً منابع آلاینده یکسانی دارند. همچنین امینی (۱۳۸۳) در مطالعه خود همبستگی بین فلزات سنگین سرب،کادمیوم، مس و کبالت را از روش ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و به این نتیجه رسید،که همبستگی بالای بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منبع مشترک باشد.

جدول ۱- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

فاکتور خاک	حداکثر	حداقل	میانگین	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	دامنه	چولگی	کشیدگی
As	۸۵	۷/٤	۱/۸۵	۵/۱۲	۹/۸	۵/٦٦	۲/۸۰	۲/۲	۱/۷۷
Cd	۸۸/۰	۰۹/۰	۱٤/۰	۱۱/۰	۰۸/۰	۵/۵۸	۷/۹۰	۰۸/۲	۱/۲۸
Fe(%)	٦	۸/۱	۲/۹	٤	٦۷/۰	۱/۲۷	۲/٤	۱۵/-۰	۵۲/۰
Co	۳٤	۱/۸	۱/۹۸	۱۹	۹/۳	۲/۵۰	۹/۲۵	۳٤/۰	۰/۸
Cr	۱۸۰	۳۰	۹/۸٦	۹٤	٤/۳٦	۲/۲۷	۱۵۰	۳۵/۰	۳۱/۰
Cu	۷۵	۱/٤	۳/۲٦	۵/۳۵	۰٦/۱۰	۲/۸۷	۹/۷۰	۳۲/۰	۰/۸
Ni	۱٤۰	۲٦	۰۳/٦۹	٦۸	٤/۲۰	۲/٦۹	۱۱٤	۵۲/۰	۱٤/۰
Pb	٦۹	۱۳	۲/٦۵	۲٤	۷/٦	۲/٤٦	۵٦	۷/۲	۱/۳۲
Sb	۲۸	۵/۰	۲/۹	۵/۲	۷/۲	۹/٦۲	۵/۲۷	۷/٦	۵/٦۲
V	۱۹۰	۵۰	۱/٤۰۹	۱۱۰	٤/۲۲	۲/۵۰	۱٤۰	۱۱/۰	۵٦/۰
Zn	۲۰۰	۳۵	۰۳/۸۰	۰۷۲/۹	۷/۱۸	۲/٤۳	۱٦۵	۵/۱	٦/۷
PH	۳/۸	۷/٦	۷/۷	۷/۷	۲۵/۰	۳/۲	٦/۷۱	۳۳/-۰	۵۵/۰

واحد لندازه گیری فلزات سنگین بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم می باشد

آنالیز تحلیل عاملی

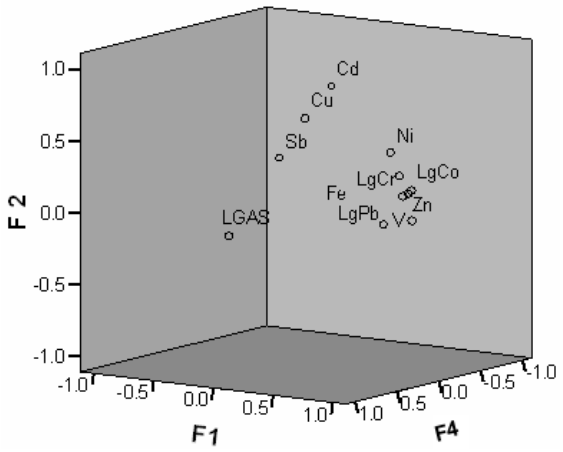
تناسب داده ها برای اجرای آنالیز مولفه اصلی با بررسی مقدارKMO ارزیابی گردید. در این مطالعه مقدار KMO ۰/۸۳بدست آمد که نشان دهنده تناسب داده ها برای انجام آنالیز تحلیل عاملی می باشد. بر اساس نتایج آنالیز مولفه های اصلی ۵ فاکتور اول ۷۴/۲۵ درصد از تغییرات را و ۹ فاکتور بعدی بقیه تغییرات (۲۵/۷۵ درصد) را توجیه میکرد (جدول۳). به منظور مشخص کردن ارتباط بین متغیرها با هر کدام از فاکتورها از بار عاملی استفاده شد. طبق جدول ۳ ، فاکتور اول ۳۵٪ تغییرات را توجیه می کند. بار عاملی آن برای عناصر کروم، کبالت، نیکل، آهن، روی، سرب و وانادیوم تقریبا مشابه است(جدول٤). همبستگی بالای بین این عناصر می‌تواند بیانگر منشا مشترک آنها باشد. با بررسی موقعیت جغرافیایی نمونه هایی که دارای امتیاز بالای در اولین مولفه اصلی هستند مشخص میشود محل این نمونه ها منطبق بر سنگ بسترهای شیل، ماسه سنگ، سنگ دگرگونی و سنگ آهک در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشند. بنابراین به نظر می رسد که این فاکتور منشأ زمین شناسی داشته باشد. میکو و همکاران(۲۰۰٦) نیز فلزات سنگین در خاکهای کشاورزی اروپا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنالیز مؤلفه های اصلی آنها نشان داد فلزات کروم، کبالت، آهن، منگنز و روی در مؤلفه اول با بیشترین واریانس قرار می گیرند و به این نتیجه رسیدند که تغییر پذیری عناصر با سنگ مادر کنترل می شود .فاکتور دوم ۱۲٪ از کل تغییرات توزیع عناصر را تشریح می کند این فاکتور همراهی مس، آنتیموان و کادمیوم را نشان می دهد(جدول۳). بار فاکتوری آن برای سه عنصر مس، آنتیموان و کادمیوم به ترتیب برابر۰/٦۳، ۰/۵۷ و۰/۷۹ می باشد(جدول٤). با بررسی ساختار زمین شناسی و کاربری اراضی به نظر می رسد این فاکتور توسط عوامل طبیعی و انسانی(فعالیت های کشاورزی) کنترل می شود .

نتایج آنالیز مؤلفه های اصلی بر روی فلزات سنگین در مطالعه لی و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که فلزات مس کادمیوم، نیکل و سرب در مؤلفه اول با بیشترین واریانس قرار گرفتند و این مؤلفه را به عنوان مؤلفه آنتروپوژنیک (انسانی) در نظر گرفتند.. فاکتور سوم تنها ۱۰ درصد از تغییر پذیری را توجیه می کند که شامل فاکتورهای مواد آلی و هدلیت الکتریکی خاک می‌باشد(جداول ۳ و ٤). فاکتور چهارم نیز که تنها ۸ درصد تغییرات را نشان می دهد و شامل آرسنیک می باشد، با توجه به جدول بردارهای ویژه، این عنصر دارای بار عامل حدود ۰/۹۲ بوده و به تنهایی در این فاکتور قرار می گیرد(جداول ۳ و ٤). با بررسی کاربری اراضی و ساختار زمین شناسی استان همدان به نظر می رسد آرسنیک منشا زمین شناسی و انسانی(فعالیت های کشاورزی) داشته باشد. مطالعه چن وهمکاران(۲۰۰۸) نیز نشان داد که غلظت این عنصر می تواند منشا انسانی داشته باشد. فاکتورپنجم ۸ درصد از تغییر پذیری را توجیه می کند و تنها شامل اسیدیته خاک می باشد که بار عاملی آن برابر است با ۰/۸٦ می باشد(جداول ۳ و٤). باقیمانده فاکتورها شامل آنهایی هستند که در افزایش واریانس کل اهمیت زیادی ندارند. شکل ۲ نمودار بار عاملی گروه بندی عناصر در فاکتور اول (F۱) شامل عناصر آهن ، نیکل، روی، کروم، سرب، کبالت و وانادیوم ، فاکتور دوم(F۲) شامل مس، آنتیموان و کادمیوم و فاکتور چهارم(F٤) شامل آرسنیک می باشد را نشان می دهد.

جدول ۲- ضرائب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکی و شمیایی خاک

	Fe	Cu	Ni	Sb	V	Zn	LnAs	LnCr	LnPb	LnCo	Cd	PH	OM	LnEC
Fe	۱													
Cu	۰/٤۳۳(**)	۱												
Ni	۰.٦۹۱(**)	۰.٤۳۰(**)	۱											
Sb	۰.۳۳٦(**)	۰.۲۲٤(**)	۰.۲۵۹(**)	۱										
V	۰.۸۵۲(**)	۰.۲۷۵(**)	۰.۵۷۹(**)	۰.۲٤۲(**)	۱									
Zn	۰.۷۰۵(**)	۰.۳٤۹(**)	۰.۵۰۲(**)	۰.۳٤۰(**)	۰.٦٤۹(**)	۱								
LnAs	۰.۰۹۷	۰.۱۵۹(**)	-۰.۰۲۲	۰.۱۵۰(*)	۰.۰٤۱	-۰.۰۰۹	۱							
LnCr	۰.۷۲۵(**)	۰.۳۵٦(**)	۰.۸۵۹(**)	۰.۲۷۱(**)	۰.۷۱۷(**)	۰.۵۲٤(**)	۰.۰٤۳	۱						
LnPb	۰.٤٦۸(**)	۰.۱۱۷(*)	۰.۲۷۵(**)	۰.۰۸۰	۰.۵۲۸(**)	۰.۵۹۳(**)	۰.۰۹۸	۰.۳۹٦(**)	۱					
LnCo	۰.۸۹۹(**)	۰.۳۷۸(**)	۰.۷٦۱(**)	۰.۲۹۳(**)	۰.۸۵۵(**)	۰.٦۵۹(**)	۰.۰۵۰	۰.۸۳۱(**)	۰.٤۹۱(**)	۱				
Cd	۰.۱۵۸(**)	۰.۳۲۰(**)	۰.۲۵۹(**)	۰.۲۵۱(**)	۰.۰۷۷	۰.۳٤٤(**)	-۰.۰۹۸	۰.۱۹٦(**)	۰.۰۷۲	۰.۱۸۷(**)	۱			
PH	-۰.۰۰۷	-۰.۰٦۳	-۰.۰۳۱	۰.۰۷۸	۰.۰۰۲	۰.۰٦۷	-۰.۰۲۷	-۰.۰۲۳	۰.۰٤۳	-۰.۰۵۳	۰.۰۰۵	۱		
OM	-۰.۰۰۸	۰.۰۹٤	۰.۰۰۲	-۰.۰۵۲	-۰.۰٤٤	۰.۱۰۳	۰.۱۳(*)	۰.۰۱۹	۰.۱۳۱(*)	-۰.۰۰٦	۰.۰۸٦	-۰.۱۱٦	۱	
LnEC	-۰.۰۷۷	۰.۰۰۹	۰.۱۹(**)	-۰.۰٦٤	-۰.۰۷۰	-۰.۰۵۱	۰.۰۷۸	-۰.۰۹۱	۰.۰۸۹	-۰.۰٦۹	-۰.۰۱۰	۰.۰۰۳	۰.۳۱۸(**)	۱

جدول ٤- مولفه‌های اصلی انتخاب شده به همراه مقادیر بار هر یک از متغیرها خاک بعد از چرخش



شکل۲. نمودار پراکنش فاکتورها برای فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه مطالعاتی

آنالیز خوشه ای

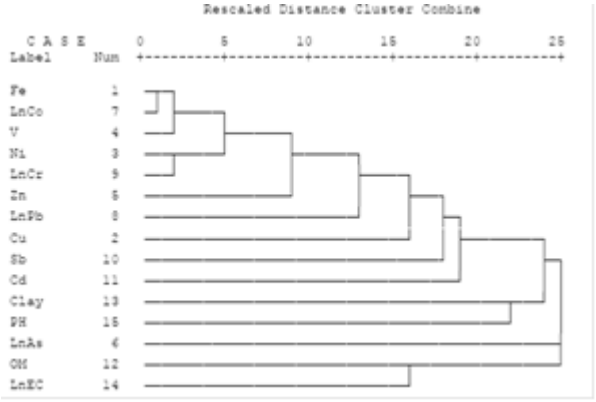
هدف از تحلیل خوشه نیل به ملاکی برای طبقه بندی هر چه مناسب تر متغیرها و یا نمونه ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. شکل ۳ نمودار دندوگرام فلزات سنگین و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. براساس نمودار خوشه ای (دندوگرام) ابتدا دو فلز کبالت وآهن با بیشترین ضریب همبستگی دریک خوشه قرار گرفته اند و عناصر وانادیوم، نیکل، کروم روی و سرب در مراحل بعدی به این خوشه متصل می شوند که نشان دهنده شباهت هرچه بیشتر این متغیرها با هم می باشد. همچنین نتایج آنالیز مولفه اصلی نیز نشان داد که این عناصر دارای بار عاملی مشابه هستند و در فاکتور اول قرار گرفتند که براساس بررسیهای انجام شده نتایج آنالیز خوشه ای با آنالیز مولفه های اصلی مطابقت دارد. با بررسی موقعیت مکانی نمونه های بر روی نقشه زمین شناسی مشخص شد بیشترین شباهت غلظت این عناصر خاک منطبق بر سنگ بسترهای شیل، ماسه سنگ، سنگ دگرگونی و سنگ آهک است. به نظر می رسد غلظت این عناصر در خاک توسط عوامل طبیعی کنترل می شوند. مطابق نتایج آنالیز خوشه ای سه عنصر مس، آنتیموان و کادمیوم دارای همبستگی و شباهت بالایی هستند که در مراحل بعدی به خوشه اول متصل می شوند. لذا میتوانند منبع یا منابع مشترک داشته باشند. بررسی ساختار زمین شناسی و کاربری اراضی منطقه نشان می دهد احتمالا" میزان این عناصر در خاک توسط عوامل طبیعی و انسانی(فعالیت های کشاورزی) کنترل می شود. این با نتایج آنالیز مولفه های اصلی نیز مطابقت دارد.

براساس آنالیز مولفه اصلی نیز این سه عنصر در یک فاکتور (فاکتور دوم) قرار گرفتند.

	مولفه ها ی اصلی				
	۱	۲	۳	٤	٥
Fe	۰.۰۹۰٤				
Cu		۰.٦۳٤			
Ni	۰.۷٥٥				
Sb		۰.٥۷۳			
V	۰.۹۱۱				
Zn	۰.۷۳٦				
LnAs				۰.۹۲۲	
LnCr	۰.۸٥۰				
LnPb	۰.٦٥۸				
LnCo	۰.۹۳٤				
Cd		۰.۷۹۲			
PH					۰.۸٦۷
OM			۰.۷٥۰		
LnEC			۰.۷۸۲		

عنصر آرسنیک بعد از فاکتور های فیزیکی و شیمیایی اسیدیته و درصد رس به خوشه اول متصل شد که نشان دهنده همبستگی پایین این عنصر با سایر عناصر است. همچنین نتایج آنالیز تحلیل عاملی را نیز تایید می کند .

نتایج آنالیز خوشه بندی میتواند تأیید کننده و تکمیل کننده آنالیز مولفه هایاصلی باشد و صحت آن را افزایش دهد. خصوصاً زمانی که تعدادی زیادی از مولفه ها بواسطه درصد تغییر پذیری پایین، کم اهمیت در نظر گرفته می شوند. در این مطالعه آنالیر خوشه ای مشخص کرد عناصر کروم، کبالت، نیکل، آهن، روی، سرب و ولنادیوم تقریبا دارای بیشترین همبستگی و در مرحله بعد عناصر مس، آنتیموان و کادمیوم دارای همبستگی بیشتر باهم و از همبستگی پاینتری با سایر فلزات برخوردار هستند . همچنین عنصر آرسنیک دارای پایین ترین همبستگی با سایر متغیرها می باشد. این نتایج مشابه نتایج آزمون مولفه های اصلی بوده و در کل صحت آنالیزها و نتیجه گیریها را افزایش میدهد. لی و همکاران(۲۰۰۹) و چن و همکاران (۲۰۰۸) نیز در مطالعات خود با بررسی آنالیز تحلیل عاملی و آنالیز خوشه ای‌به این نتیجه رسیدندکه نتایج این دو پارامتر آماری‌با هم مطابقت دارند و میتوان با اطمینان بیشتری نتایج را قبول کرد.



شکل۳- نمودار دندوگرام فلزات سنگین و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی منطقه مورد مطالعه

مین ژنگ و همکاران(۲۰۰۸) برای بررسی منابع ورود فلزات سنگین خاک سطحی در بجینگ چین، لین (۲۰۰۲) برای تعیین منابع فلزات سنگین در خاک شالیزارها و ایناکس (۱۹۹۹) جهت تعیین وضعیت آلودگی از روش های آماری چند متغیره استفاده کردند. فاچینلی و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از آنالیز چند متغیره، به بررسی فاکتورهای مؤثر بر تغییرات غلظت فلزات سنگین و شناسایی منابع آنها پرداخت.

٤- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از اندازه گیریی غلظت کل فلزات سنگین در خاک سطحی استان همدان نشان داد با بکار گیری آنالیز تحلیل عاملی می توان منشا تجمع فلزات سنگین را تشخیص داد. این آنالیز عناصر کروم، کبالت، نیکل، آهن، روی، سرب و وانادیوم را در فاکتور اول با بالاترین همبستگی قرار داد. همبستگی بالای بین عناصر می تواند دلیل بر منبع مشترک آنها باشد. با بررسی ساختار زمین شناسی و نقشه های الگوی کشاورزی منطقه مطالعه به نظر می رسد عامل اصلی بالا بودن غلظت این عناصر در خاک سطحی مواد مادری است اما به دلیل مصرف بالای کود های شیمیایی (میانگین مصرف کود اوره حدود ۷۰۰-۵۰۰ ، کود پتاس حدود ۳۳۰-۲۰۰ و کود فسفره ۵۵۸-۳۰۰ کیلو گرم در هکتار در سال می‌باشد) و احتمال وجود این عناصر در ساختار شیمیایی کودهای اوره، فسفات و پتاس، افزایش غلظت عناصر توسط آنها در خاک دور از ذهن نیست. فاکتور دوم شامل عناصر مس، آنتیموان و کادمیوم می باشد و عنصر آرسنیک در فاکتور چهارم قرار می گیرد. با بررسی ساختار زمین شناسی و نقشه کاربری اراضی به نظر می رسدکه غلظت بالای این عناصر منشا طبیعی و همچنین ناشی از فعالیت های انسانی (فعالیت های کشارزی) باشند نتایج حاصل از آنالیز خوشه ای هم این نتایج را تایید می کند. به طور کلی با استفاده از روش های آماری چند متغیره (آنالیز تحلیلی عاملی و آنالیز خوشه ای) بررسی همبستگی فلزات سنگین ، منشا ورود آنها و همچنین تجزیه و تحلیل عناصر ساده تر خواهد شد.دای و همکاران (۲۰۱۸) برای شناسایی منابع فلزات سنگین در رسوبات دریاچه پویانگ چین از تجزیه و تحلیل زمین آماری چند متغیره استفاده کردند. در این مطالعه، غلظت فلزات سنگین (کروم، مس، کادمیوم، سرب و روی) در سطح و رسوبات هسته بزرگترین دریاچه آب شیرین چین، دریاچه پویانگ، مورد بررسی قرار گرفت. نقشه های پیش بینی زمین آماری توزیع فلزات سنگین در رسوبات سطحی و همچنین داده کاوی بیشتر تکمیل شد. نقشه برداری ماتریس همبستگی و تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی نشان داد که کروم، سرب و روی ممکن است عمدتاً از هر دو فعالیت های لیتوژنیک و انسانی، مانند حمل و نقل جریان جوی و رودخانه مشتق شوند، در حالی که مس و کادمیوم ممکن است عمدتاً از منابع انسانی، مانند فعالیت های معدنی و کاربرد کود مشتق می شوند. بالابانوا و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که استفاده از آمار چند متغیره کاربری زیادی در تعیین منشا طبیعی و انسانی فلزات سنگین در خاک دارد. آنها برای تعیین منشا ٦٩ فلز سنگین از روش آمار چند متغیره استفاده کردند. شهبازی و همکاران نشان دادند که افزایش غلظت فلزات کمیاب در خاک های کشاورزی استان همدان به دنبال افزایش مصرف کود در منطقه است. خاک های کشاورزی راهی برای ورود عناصر کمیاب در زنجیره غذایی انسان فراهم می کند. بنابراین پایش خاک های آلوده برای کنترل و پیشگیری از خطرات ناشی از خاک های آلوده ضروری است (شهبازی و همکاران، ۲۰۱۸).

سپاسگزاری

از دفتر آلودگی آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست و معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان برای مساعدت و همکاری در انجام این پروژه تشکر و قدردانی می¬شود.

منابع

- **امینی م. افیونی م و خادمی ح. ۱۳۸۵ مدل سازی توازن جرمی عناصر کادمیوم و سرب در زمینهای زراعی منطقه اصفهان. مجله علو و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ٤: ۷۷-۸۹**
- **بیگی م. ۱۳۸٤. تهیه نقشه های آلودگی خاک به فلزات سنگین در منطقه مرکزی اصفهان با استفاده از GIS و زمین آمار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۷۰-٦٤.**
- **حسنی پاک ع. ا و شرف الدین م. ۱۳۸۰. تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص.**
- **شهبازی, علی, سفیانیان, علیرضا, و میرغفاری, نوراله. (۱۳۹۹). بررسی اثرات فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات کادمیوم، کبالت و کروم در خاک. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۲۲(۸), ۲٤۹-۲٦۰.**
- **مطالعات مکان یابی محل دفن و دفع پسماندهای ویژه در استان همدان، گزارشات هواشناسی، هیدرولوژی، زمین شناسی، خاک شناسی، تکتونیک – لرزه خیزی و تلفیق باGIS ، معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی ،۱۳۸٦ .**
- **محمدی ج . ۱۳۸۵ . پدومتری ۱(آمار کلاسیک) ، انتشارات پلک، ۵۳۱ ص.**
-

Acosta, J. A. Faz, A. and Martinez, S. ۲۰۱۰. Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain). Environmental Monitoring and Assessment , V: ۱٦۹, N, ۱-٤, ۵۱۹-۵۳۰.

Balabanova, B., Stafilov, T., & Šajn, R. (۲۰۲۱). Use of multivariate statistical techniques to determine the source apportionment of heavy metals in soils and sediments. In Heavy Metals in the Environment (pp. ۱۱۹-۱٤۱). Elsevier.

Cao H. F., Chang A. C. and Page A. L. ۱۹۸٤. Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. Journal of environmental quality۱۳:٦۳۲–٦۳٤.

Chen T., Xingmei L., Muzhi Z., Keli Z., Jianjun W., Jianming X., and Panming H. ۲۰۰۸. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urbanerural transitional area of Hangzhou, China Environmental Pollution ۱۵۱: ٦۷-۷۸.

Dai, L., Wang, L., Li, L., Liang, T., Zhang, Y., Ma, C., & Xing, B. (۲۰۱۸). Multivariate geostatistical analysis and source identification of heavy metals in the sediment of Poyang Lake in China. Science of the total environment, ٦۲۱, ۱٤۳۳-۱٤٤٤.

Einax, J.W and Soldt, U.۱۹۹۹. Geostatistical and multivariate statistical methods for the assessment of polluted soils-merits and Limitations. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. V, ٤٦, P:۷۹-۹۱.

Facchinelli, A.Sacchi, E. and Mallen, L. ۲۰۰۱. Multivariate geostatistical and GIS based approach to identify metals soueces in soil. Enviromental Pollution ۱۱٤ : ۳۱۳-۳۲٤.

Jiachun Sh., Haizhen W., Jianming X., Jianjun W., Xingmei L., Haiping, Z., and Chunlan, Y. ۲۰۰۷. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China, Enviromental Geology, ۵۲:۱–۱۰.

Jin, Y., O'Connor, D., Ok, Y. S., Tsang, D. C., Liu, A., & Hou, D. (۲۰۱۹). Assessment of sources of heavy metals in soil and dust at children's playgrounds in Beijing using GIS and multivariate statistical analysis. Environment international, ۱۲٤, ۳۲۰-۳۲۸.

Kabata- Pendias A., Pendias H. ۲۰۰۱. Trace Elements in Soil and Plants, CRC Press, Boca raton, London. ٤۱۳ pages.

Klute A. ۱۹۸٦. Methods of soil analysis, part I, physical and mineralogical methods, Second edition, Soil Science Society of America INC., Wisconsia, USA.

Li J., He M., Han W., Gu Y. ۲۰۰۹. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods, Journal of Hazardous Materials ۱٦٤: ۹۷٦–۹۸۱.

Mico C., Recatala L., Peris M., Sa´nchez J. ۲۰۰٦. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere ٦۵ : ۸٦۳–۸۷۲.

Pin lin.Y,. ۲۰۰۲. Multivariate geostatistical methods to identify and map spatial Variations of soil heavy metals. Environmental Geology , V: ٤۲, N: ۱,۱-۱۰

Shahbazi, A., Soffianian, A. R., Mirghaffari, N., & Rezaei, H. (۲۰۱۸). Impact of agricultural activities on accumulation of Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Nickel and Lead in soil of Hamedan province. Environmental resources research, ٦(۱), ۷۹-۸۷.

Swan A.R.H., Sndilands, M., and Mccabe, P. ۱۹۹۶. Introduction to Geological Data Analysis, Backkwill Science, pp. ٤٤٦.

Wackernagel H., ۱۹۹۸. Multivarite Geostatistics. Springer- Verlage, Berlin, German pp. ۳۵۷.

Webster R., and Burges T. M.. ۲۰۰۲. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties III-changing drift and universal kriging. Journal of soil science. ۳۱:۵۰۵-۵۲٤.

Yalcin G., Battaloglu M., and Ilhan R S. ۲۰۰۷. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. Enviromental Geology, ۵۳:۳۹۹–٤۱۵.

Yuan-Ming. Z, Tong-Bin Ch۲ and Ji-Zheng, H. ۲۰۰۸. Multivariate Geostatistical Analysis of Heavy Metals in Topsoils from Beijing, China. J.SoilsSediments۸(۱)۵۱–۵۸.

Zheng, Y-M. Chen, T-B. and He, J-Z. ۲۰۰۸. Multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils from Beijing, China. Journal of Soils and Sediments, V: ۸, N, ۱, ۵۱-۵۸.

Sources Identification of Heavy Metals in Surface Soil with the Approach of Statistical Multivariate Analysis (Case Study of Hamadan Province)

Loghman Khodakarami[۱], Ali Shabazi[۲], Lobat Taghavi

[۱] Department of Petroleum Engineering, Faculty of Engineering, Koya University, Koya, Kurdistan Region, Iraq.

[۲] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[۳]Associate Professor in Environmental Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran

Introduction

The expansion of industries, the development of cities, the increase in population, and the excessive human intervention in nature have led to the destruction and pollution of the environment. Soil pollution, especially soil pollution with heavy metals, is one of the environmental issues of concern to many researchers. The geographical distribution of heavy elements in the soil, either naturally or through human activities, will bring issues and problems. Heavy metals can enter the soil environment through the weathering of parent materials or external pollutants. For some metals, such as lead, pollution from external sources is much more than from natural sources. Among the natural factors, parent materials are the main factors that determine the concentration of heavy metals in the soil, and among the unnatural factors, industrial and agricultural activities are among the main sources of heavy metals entering the soil and are known as human sources. Human sources of heavy metal entry are divided into primary and secondary categories. Heavy metals are added to the soil as impurities along with primary sources including sewage sludge, chemical fertilizers and pesticides. Secondary sources include the entry of heavy metals through mines, industrial activities or through deposition from the air. The purpose of this study is to identify the sources of heavy metals (chromium, cobalt, zinc, vanadium, copper, lead, nickel, antimony, arsenic and cadmium) in the surface soil of Hamedan province (۰-۲۰ cm) using multivariate statistical methods. (Analysis of main and cluster components).

Methodology

In this study, to investigate sources of ten heavy metals (Cr, Cd, Zn, V, Cu, Pb, Ni, Sb, As, Cd,) in soil surface layer in Hammadan province, a systematic random method was utilized for soil sampling and ۲۸۶ soil samples were collected from ۰-۲۵cm depth. For this purpose, first, the region was divided into ۵ x ۵ km grids. In the next step, based on the knowledge of the study area and the variety of uses and activities, the grid spacing was ۲٫۵ x ۲٫۵ km in the areas where the intensity of land use was high, and the grid spacing was ۱۰ x ۱۰ km in the areas where the intensity of land use was less. And the intersection of networks was considered as sampling points. A total of ۲۸۶ soil samples were collected from the study area by a combined method in sampling after spotting, at the sampling site a plot of ۲۰x۲۰ meters (macroplot) and inside it three plots of ۳x۳ meters (microplot) was applied, then ۵ soil samples were taken crosswise from each microplate from a depth of ۰-۲۰ cm and after mixing the soil, a ۲-۳ kg composite sample was taken from it. Also, by completing the sampling form, information about the use of the sampling location, the type of cultivation (irrigated or rainfed), the appearance of the land, the type of product, geographical coordinates and the nearest village was completed. Soil sampling was done from pristine and untouched areas, mountainous areas, salt marshes, irrigated or rainfed agricultural lands, vineyards, gardens and lands around villages.Soil samples were dried and prepared for analysis after passing through a ۲ mm sieve. Extraction was done to determine the total concentration of heavy metals in the soil using HCl and HNO_3. The concentration of heavy elements lead, zinc, arsenic, antimony, chromium, cobalt, vanadium, nickel and copper was measured using ICP-MS device and cadmium was measured by graphite furnace method and using atomic absorption device.In this study, the mean, median, skewness, skewness and Kolmogorov-Smirnov statistics were used to examine the distribution and test the normality of the data at the ۹۵٪ confidence level. Principal component analysis is used to classify relationships between measured variables. In cases where the number of evaluated variables is large, it is difficult to analyze them through the correlation coefficient.In this study, the accumulation method was used to group the variables. This method starts with one variable, so at the beginning of processing, the number of groups is equal to the number of studied variables (target variables). Then, the similar and homogeneous groups are combined with each other and with decreasing homogeneity, all the subgroups are piled up and condensed and finally form a single group.

Conclusion
Results of multivariate statistical analysis showed that the main origin of the chromium, cobalt, nickel, zinc, lead and vanadium is parent material and copper cadmium, arsenic and antimony have common origins of natural material and anthropogenic sources (agricultural activities). Finding appropriate information about possible resources of heavy metals can be used for the monitoring and evaluation processes of agricultural soils in the study area. The results obtained from measuring the concentration of total heavy metals in the surface soil of Hamadan province showed that by using factor analysis, the source of heavy metal accumulation can be identified. The results of factor analysis showed that chromium, cobalt, nickel, iron, zinc, lead, and vanadium were the first factor with the highest connection, according to the results of factor analysis. The close correlation between these elements could explain their shared origin. The high concentration of these components in the surface soil of the mother matter appears to be the key reason, according to the geological structure and agricultural maps of the study area. However, because of the high consumption of chemical fertilizers (average urea fertilizer consumption is ۵۰۰-۷۰۰ kg/ha per year, potash fertilizer consumption is ۲۰۰-۳۳۰ kg/ha per year, and phosphorus fertilizer consumption is ۳۰۰-۵۵۸ kg/ha per year), and the possibility of these elements in the chemical structure of urea, phosphate, and potash fertilizers, increasing the element concentration in the soil by them is not far from the mind. Copper, antimony, cadmium, and arsenic are among the components present in the second factor. According to the geological structure and land use map, the high concentrations of these elements are due to both natural and human activity (agricultural activities). The results of a cluster analysis confirm these findings. Overall, the findings of this study revealed that studying the relationship between heavy metals, investigating their origins, and analyzing them using multivariate statistical methods (factor analysis and cluster analysis) would be very accurate and simple.

Keywords

Multivariate statistics; Heavy metals; Principal component analysis; Cluster analysis; Source identification