نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۲، ص. ۵۶۹-۵۶۰

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.3, Jul.-Agu. 2013, p. 560-569

تعیین منشاء برخی فلزات سنگین با استفاده از آمار چندمتغیره و زمین‌آمار در منطقه صنعتی ذوب‌آهن اصفهان

سلمان نعیمی مرندی[۱]- شمس اله ایوبی[۲*]- بهروز عظیم زاده[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۹/۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۳/۵

چکیده

آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین یک مسئله مهم زیست‌محیطی می‌باشد، به‌طوری‌که تعیین منشاء فلزات سنگین، انباشت و توزیع این فلزات در خاک مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. هدف از این مطالعه تعیین منشاءهای احتمالی برخی از فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه صنعتی ذوب‌آهن به کمک آمار چند متغیره و زمین‌آمار می‌باشد. طی مطالعات صحرایی تعداد ۲۰۲ نمونه خاک سطحی (۳۰cm-۰) جمع‌آوری شد. مقدار کل غلظت سرب، روی، منگنز، آهن، مس، نیکل، کبالت، کروم و همچنین برخی از خوصیات فیزیکی و شیمیایی در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور شناسایی منشاء فلزات سنگین از روش‌های چند متغیره شامل تجزیه خوشه‌ای، تجزیه مولفه‌های اصلی و نیز نقشه کریجینگ پراکنش امتیاز مولفه‌ها در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی منجر به شناسایی سه مولفه شد. به طوری که این مولفه‌ها به ترتیب تقریباً توانسته بودند ۳۱، ۲۷ و ۱۶ درصد از کل واریانس تاثیرگذار بر غلظت فلزات سنگین را توجیه کنند. با توجه به پراکنش امتیاز هر یک از مولفه‌ها در منطقه مورد مطالعه، احتمال می‌رود مولفه اول به عنوان فعالیت‌های انسانی تغییرات مقدار عناصر آهن، منگنز، سرب و روی، مولفه دوم به عنوان فعالیت‌های زمین‌شناختی مقدار کبالت و در نهایت مولفه سوم به صورت یک عامل مشترک انسانی-زمین‌شناختی تغییرات مقدار عناصر مس، نیکل و کروم را در منطقه مورد بررسی را کنترل کنند.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، تجزیه مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای، زمین‌آمار، منطقه صنعتی ذوب‌آهن

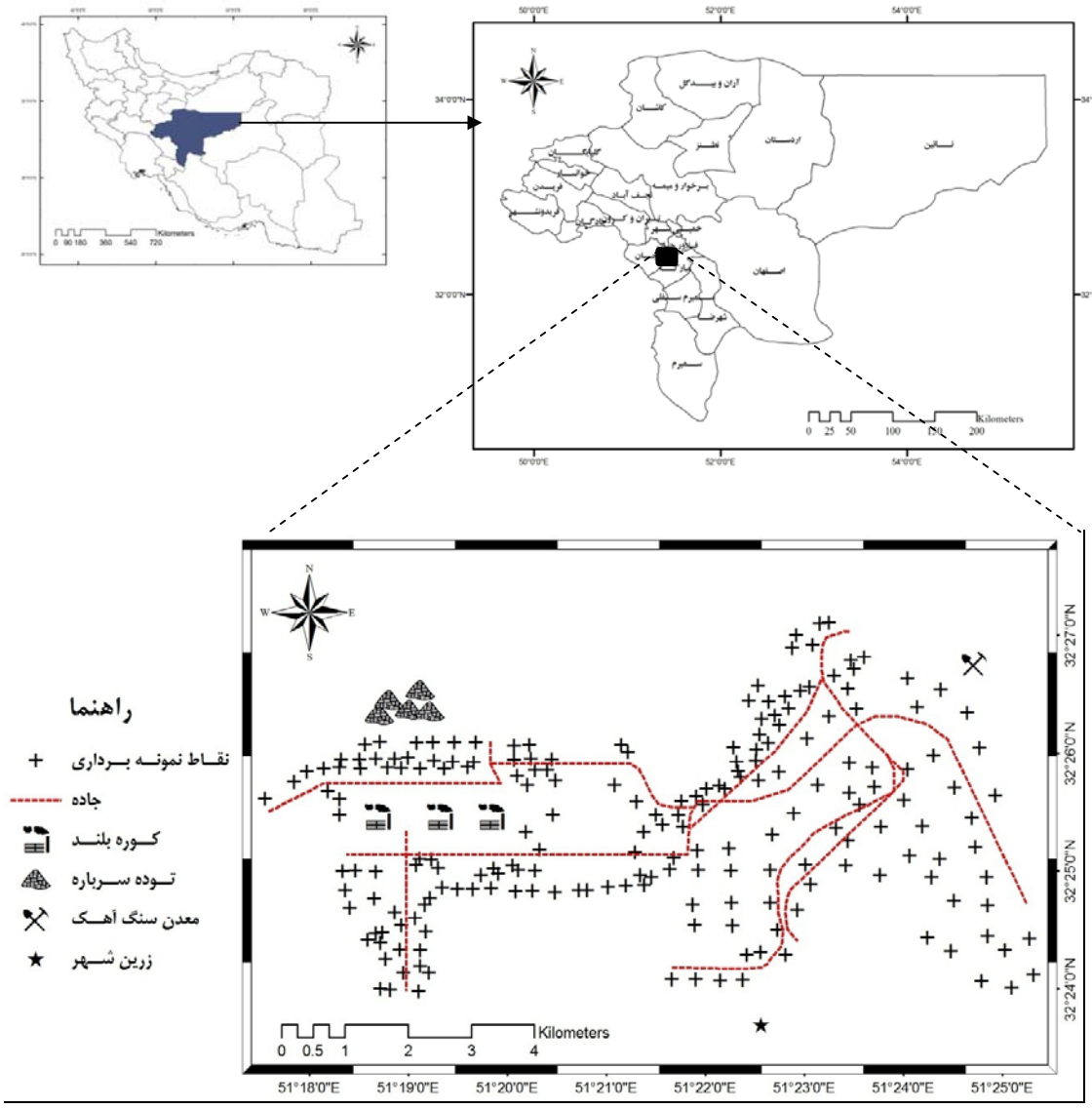
مقدمه

آلودگی زیست‌محیطی شامل تغییرات نامطلوب در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع اصلی حیات یعنی آب، هوا و خاک است، البته به میزانی که بقاء و سلامت انسان و دیگر موجودات را به خطر انداخته و یا فعالیت آن‌ها را محدود سازد (۱۲). این پدیده با صنعتی شدن شدت بیشتری یافته است و به یک معضل مهم در سطح جهان تبدیل شده است. در میان تعداد زیادی از آلاینده‌های زیست‌محیطی، فلزات سنگین به ویژه فلزات سنگین خطرناک به علت سمیت و ماندگاری بالا در محیط زیست و بهداشت عمومی اهمیت زیادی دارد (۳ و ۱۰). فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع متفاوتی وارد محیط زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به داخل محیط زیست، بسیار فراتر از میزانی است که به وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست قابل ملاحظه است. عناصر سنگین دارای منشاءهای بسیار متفاوتی هستند که برخی از آنها ممکن است دور از ذهن باشند. به طور کلی فلزات سنگین دارای دو منشاء اصلی می‌باشند؛ ۱) منشاء طبیعی، که در اثر هوادیدگی سنگ بستر وارد محیط زیست می‌شوند و ۲) منشاء انسانی، که در اثر فعالیت‌های صنعتی، معدن کاری، عبور و مرور وسایل نقلیه و فعالیت‌های انسانی وارد طبیعت می‌شوند (۷ و ۱۷). فلزات سنگین در خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشند. شناخت منشاء، مقدار و الگوی تغییرات مکانی و زمانی فلزات سنگین ضروری است. تحلیل‌های چند متغیره مانند تجزیه مولفه‌های اصلی[۴] (PCA) و تحلیل خوشه‌ای[۵] (CA) به تفسیر داده‌های زیست‌محیطی و جداسازی منابع ورود انسانی و طبیعی به طور گسترده‌ای کمک می‌کنند. تا کنون در مطالعات متعددی از آمار چند متغیره به منظور بررسی منابع ورود عناصر سنگین در رسوبات، خاک‌های مناطق

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)

4- Principal Component Analysis
5- Cluster Analysis

شهری، صنعتی و کشاورزی استفاده شده است. به عنوان مثال، مانتا و همکاران (۹) منبع ورود برخی عناصر سنگین را در ایتالیا بررسی کردند. آن‌ها به منظور کاهش تعداد متغیرهای مورد مطالعه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سرب، روی، مس و جیوه دارای منشاء طبیعی بوده و در یک گروه قرار می‌گیرند در حالی که غلظت نیکل، منگنز، کروم، کبالت و کادمیم در گروه دیگر بوده و به وسیله فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شوند. شای و همکاران (۱۱) توزیع مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی شانگ‌های مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد منبع اصلی نیکل عوامل طبیعی بوده و عوامل انسانی مهمترین منبع ورود روی، سرب و مس در این منطقه می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر تقی‌پور و همکاران (۱۴) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، تجزیه مولفه‌های اصلی و همچنین زمین‌آمار به بررسی منبع کنترل کننده عناصر سنگین در خاک سطحی بخشی از استان همدان پرداختند. آنها نشان دادند که غلظت کروم، کبالت و نیکل در ارتباط با مواد مادری بوده که شامل سنگ‌های شیل در منطقه مورد مطالعه است. غلظت مس بطور مشترک به وسیله فعالیت‌های انسانی و مواد مادری کنترل می‌شود و غلظت سرب و روی به وسیله فعالیت-های انسانی تغییر می‌کند.



شکل ۱- موقعیت عوارض و الگوی نمونه‌برداری در منطقه صنعتی ذوب آهن

به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مرتبط با نمونه برداری برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از روش‌های زمین آماری بسیار مفید می‌باشند (۴). روش‌های کریجینگ برای تعیین توزیع مکانی خصوصیات خاک پتانسیل بالایی دارند و همچنین به عنوان روشی مناسب برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند (۶).

با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی کارخانه ذوب‌آهن اصفهان، نزدیکی به شهرستان‌های پرجمعیت، نزدیکی به رودخانه زاینده‌رود و زمین‌های کشاورزی، تعیین عوامل کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین و همچنین تعیین گسترش و شدت این عوامل برای شناسایی نواحی در معرض خطر آلودگی پیرامون این کارخانه بسیار حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، تجزیه مولفه‌های اصلی و همچنین زمین‌آمار به بررسی منابع احتمالی کنترل‌کننده عناصر سنگین در خاک‌های سطحی منطقه صنعتی ذوب‌آهن اصفهان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۲۰۰۰ هکتار بخشی از اراضی حاشیه منطقه ذوب آهن اصفهان می‌باشد که در شمال و شمال غرب شهرستان زرین‌شهر واقع شده است. این منطقه بین طول جغرافیایی ′۱۸ °۵۱ تا ′۲۳ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ′۲۴ °۳۲ تا ′۲۶ °۳۲ شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۷۶۸ متر و متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه حدود ۱۵۷/۷ میلی‌متر می‌باشد. با استفاده از داده‌های ۵ ساله اخیر ایستگاه هواشناسی زرین-شهر و به کمک نرم افزار Wind Rose Plots 7 جهت وزش باد غالب در منطقه شمال‌غربی تعیین گردید. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب اریدیک[1] و ترمیک[2] می‌باشد. برای انجام نمونه برداری، محل هر نمونه با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) براساس یک شبکه‌بندی منظم تعیین گردید. با توجه به هدف بررسی حاضر که تهیه نقشه‌های کریجینگ در مورد ویژگی‌های مورد بررسی بود، روش شبکه‌بندی منظم با نمونه برداری تصادفی انتخاب شد. شبکه بندی در داخل کارخانه به ابعاد ۳۰۰ × ۳۰۰ متر (یک نمونه در ۹ هکتار) و در فازهای مختلف تاکستان شبکه بندی به ابعاد ۶۰۰×۶۰۰ متر (یک نمونه در ۳۶ هکتار) انجام گرفت. سپس تعداد ۲۰۲ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به منظور انجام آنالیزهای آزمایشگاهی برداشته شد. قبل از انجام آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه خاک‌ها هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. طبق مطالعات زمین‌شناسی استان اصفهان نقاط نمونه‌برداری غالباً بر روی رسوبات آبرفتی دامنه‌ای کواترنری و نهشته‌های قدیمی زاینده‌رود (تراس قدیمی) واقع شده اند. جهت اندازه گیری غلظت کل فلزات سنگین ۰/۲ گرم خاک وزن شد و با استفاده از اسید نیتریک ۵ نرمال عصاره گیری صورت گرفت (۱۳). مقدار کل عناصر سرب و نیکل با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری و زمین‌آماری

آماره‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، حداقل، حداکثر، دامنه تغییرات، چولگی و کشیدگی تعیین گردید. از همبستگی خطی پیرسون میان فلزات سنگین جهت تفسیر روابط بین فلزات سنگین مورد مطالعه استفاده شد. پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، آزمون کولموگرف-اسمیرنف به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. متغیرهایی که از توزیع نرمال پیروی نداشتند با استفاده از تبدیل لگاریتم طبیعی نرمال گشتند. به منظور تعیین منشاء عناصر مورد بررسی از تحلیل‌های چند متغیره شامل تجزیه مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. تمامی تحلیل‌های آماری ساده و تحلیل‌های چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS16.0 صورت گرفت. به منظور بررسی پراکنش عوامل کنترل‌کننده و منشاء احتمالی عناصر مورد مطالعه، پس از محاسبه ارزش هر مولفه استخراجی از روش چند متغیره تجزیه مولفه‌های اصلی در نقاط مورد مطالعه، مدل تئوری تغییرنمای همه جهته آنها با استفاده از نرم افزار Variowin 2.2 بسط داده شد و در نهایت نقشه‌های کریجینگ برای هر مولفه به وسیله برنامه ArcGIS 9.3 ترسیم گردید.

نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها

خصوصیات آماری غلظت کل فلزات مورد بررسی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ بیشترین دامنه تغییرات مربوط به عنصر روی و سرب می‌باشد و کمترین دامنه تغییرات مربوط به عنصر کبالت می‌باشد. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنف نشان داد که غلظت منگنز، سرب، روی و کروم از تابع توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند که با استفاده از لگاریتم طبیعی داده‌ها به حالت نرمال تبدیل شدند.

همبستگی میان فلزات سنگین

جدول ۲ نشان دهنده ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در منطقه مورد بررسی می‌باشد.

1- Aridic
2- Thermic

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) خاک منطقه مورد مطالعه (N=۲۰۲)

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
مس	۲۱/۱	۱۳/۸	۳۲/۵	۰/۷	۰/۹	۳/۱	۱۴/۹
آهن	۱۶۵۸۲/۷	۱۰۲۹۷/۰	۲۸۴۲۷/۰	۰/۶	۰/۰	۳۶۹۱/۶	۲۲/۳
منگنز	۴۵۶/۶	۲۳۶/۵	۸۲۷/۰	۱/۲	۰/۷	۱۳۱/۳	۲۸/۸
نیکل	۵۸/۴	۳۶/۰	۸۲/۵	۰/۰	۰/۱	۹/۰	۱۵/۳
سرب	۹۹/۴	۴۲/۰	۲۷۱/۹	۱/۰	۱/۲	۳۸/۰	۳۸/۲
روی	۱۰۱/۱	۴۷/۰	۳۱۷/۰	۲/۲	۶/۸	۴۱/۹	۴۱/۵
کروم	۲۴/۹	۱۴/۲	۶۴/۵	۲/۲	۷/۸	۷/۸	۳۱/۲
کبالت	۲۰/۶	۱۵/۰	۲۶/۰	−۰/۱	−۰/۳	۲/۴	۱۱/۹

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه(N=۲۰۲)

	Cu	Fe	LnMn	Ni	LnPb	LnZn	LnCr	Co
Cu	۱							
Fe	۰/۰۷	۱						
LnMn	۰/۲۰**	۰/۵۴**	۱					
Ni	۰/۵۷**	۰/۲۰**	۰/۲۴**	۱				
LnPb	−۰/۱۰	۰/۴۷**	۰/۵۳**	−۰/۰۱	۱			
LnZn	۰/۳۴**	۰/۵۸**	۰/۵۱**	۰/۲۶**	۰/۵۶**	۱		
LnCr	۰/۵۶**	۰/۳۴**	۰/۳۴**	۰/۵۹**	۰/۱۰	۰/۴۰**	۱	
Co	۰/۰۷	−۰/۳۲**	−۰/۲۵**	۰/۱۲	−۰/۲۳**	−۰/۳۵**	−۰/۳۴**	۱

**- در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. *- در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

مقادیر بالای ضریب همبستگی بین فلزات نشان دهنده یکسان بودن منبع انتشار این عناصر می‌باشد (۱۶). ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کروم با نیکل (r=۰/۵۹ ، p <۰/۰۱) و کروم با مس (r=۰/۵۶ ، p <۰/۰۱) مشاهده شد. دلیل همبستگی مثبت و بالا بین این عناصر احتمالاً منشاء یکسان آن‌ها است. فاک‌چینلی و همکاران (۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین غلظت کروم و نیکل (r=۰/۸۵) در خاک‌های سطحی ایتالیا گزارش و منشاء احتمالی آنها را در ارتباط با مواد مادری بیان کردند. همچنین ضریب همبستگی معنی‌داری بین آهن با منگنز (r=۰/۵۴ ، p <۰/۰۱)، روی (r=۰/۵۸ ، p <۰/۰۱) و سرب (r=۰/۴۷ ، p <۰/۰۱) مشاهده شد. دلیل همبستگی بالا و مثبت بین این عناصر احتمالاً منبع یکسان انتشار آن‌ها می‌باشد که در لایه های سطحی خاک تجمع یافته‌اند. وانگ و همکاران (۱۵) گزارش کردند که عنصر آهن، سرب و روی جزء اصلی ذرات انتشار یافته از کارخانه ذوب آهن در چین می‌باشد. دنکوب (۲) همبستگی نسبتاً پایین و معنی‌داری را بین آهن و روی، منگنز، سرب و نیکل گزارش کرد و بیان کرد که احتمالاً منبع آهن در خاک‌های ناحیه مورد مطالعه ترکیبی از منابع لیتوژنیک و آنتروپوژنیک می‌باشد. کبالت با اغلب فلزات همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد که نشان دهنده منشاء متفاوت این عنصر از دیگر عناصر می‌باشد.

تجزیه مولفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی در جدول ۳ قابل مشاهده است. با توجه به این جدول سه مولفه اول بعد از چرخش توانسته‌اند حدود ۷۳ درصد از کل واریانس‌ها را توجیه کنند و مولفه اول با توجیه حدود ۳۱ درصد از کل واریانس‌ها مهمترین مولفه مورد بررسی و تاثیرگذار بر تغییرات غلظت فلزات سنگین مورد بحث است. دو مولفه دیگر به ترتیب توانسته‌اند ۲۶/۶۵ و ۱۵/۷۲ درصد کل واریانس‌ها را توجیه کنند.

مقدار بار فلزات سنگین ارتباط میان آنها و مولفه‌ها را نشان می‌دهد که به ترتیب در مولفه اول بار سرب< منگنز< آهن< سرب< روی< نیکل< کروم< مس< کبالت، در مولفه دوم بار مس< نیکل< کروم< منگنز< آهن< کبالت< سرب< روی و در مولفه سوم کبالت< نیکل< سرب< مس< منگنز< آهن< روی< کروم است. این ترتیب قرار گیری از اهمیت خاصی برخوردار بوده و نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری و کنترل‌کنندگی هر مولفه در هر عنصر است.

با توجه به میزان بار عاملی چرخش یافته[1] فلزات سنگین به ترتیب عناصر آهن، منگنز، سرب، روی و مس، نیکل و کروم با هم

1- Rotated factor loading

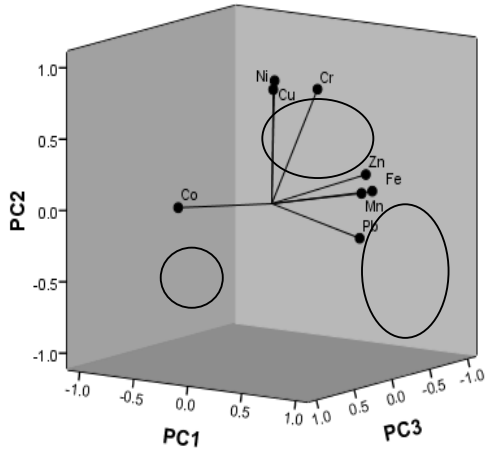
بیشترین بار مولفه اول و دوم را تشکیل داده‌اند. همچنین عنصر کبالت به تنهایی بیشترین بار مولفه سوم را اختصاص داده است. شکل ۳ نشان دهنده نمودار ۳ بعدی بار عاملی چرخش یافته مولفه‌های حاصل از تجزیه عامل‌ها است. عناصری که بیشترین بار هر یک از مولفه‌ها را تشکیل داده‌اند، از نظر فضایی در کنار یگدیگر قرار گرفته‌اند و به این طریق این فلزات به احتمال زیادی از لحاظ منابع کنترل کننده یکسان هستند.

کرایبک و همکاران (۷) با استفاده از تحلیل عامل‌ها و نقشه مولفه‌ها به منظور جداسازی منابع انسانی و طبیعی تأثیرگذار بر غلظت فلزات سنگین و گوگرد در خاک‌های یک منطقه معدن‌کاوی در زامبیا نشان دادند که فلزات کروم، روی، سرب و آرسنیک با قرار گرفتن در یک گروه به سرباره حاصل از واحدهای ذوب و عناصر گوگرد، کبالت، مس و جیوه به گروه گازهای متصاعدشده از ذوب‌کننده‌ها نسبت داده شدند.

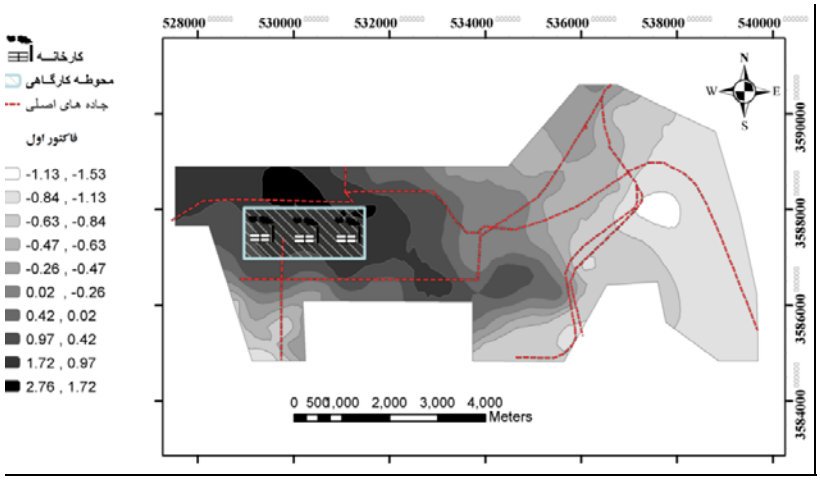
نقشه پراکنش امتیاز مولفه اول در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میزان مولفه اول در غرب و شمال غرب منطقه، اطراف محوطه کارگاهی، کوره بلند و در نزدیکی سرباره‌های صنعتی بدون پوشش مشاهده می‌شود (شکل ۴). همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌شود که روند آلودگی ناشی از مولفه اول با جهت باد غالب (شکل ۵) در منطقه که حامل دود ناشی از کوره‌ها می‌باشد مطابقت دارد. مولفه اول که شامل عناصر آهن، منگنز، سرب، روی و مس است به منشاء انسانی یا تاثیر فعالیت‌های صنعتی ناشی ذوب آهن در منطقه نسبت داده شد. لی و همکاران (۸) با استفاده از آمار چندمتغیره منبع عناصر سنگین را در خاک‌های ساحلی تشکیل شده بر روی رسوبات آبرفتی در چین با استفاده از نتایج تحلیل عامل‌ها و آنالیز همبستگی نشان داد که عناصر مس، نیکل، سرب و کادمیم در گروه فعالیت‌های انسانی قرار داشته و از طریق استفاده از کودهای شیمیایی، قارچ‌کش‌ها، صنعت، و لجن فاضلاب به خاک وارد می‌شوند.

جدول ۳- بار عامل چرخش یافته فلزات سنگین برای سه مولفه اول با مقدار ویژه بیشتر از واحد

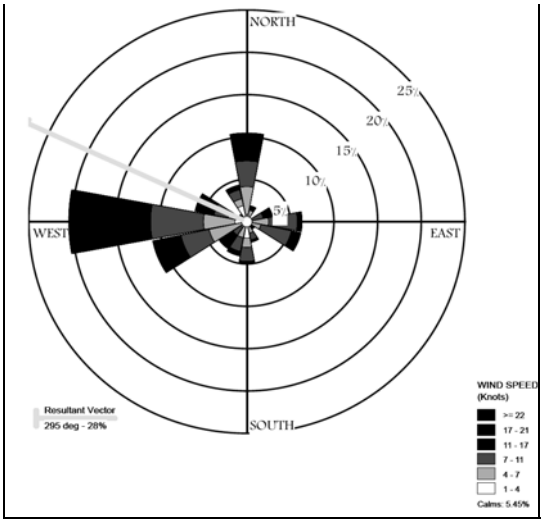
عناصر	مولفه‌ها		
	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم
مس	۰/۰۴	۰/۸۷	۰/۰۳
آهن	۰/۷۶	۰/۱۳	-۰/۲۵
منگنز	۰/۸۰	۰/۱۵	-۰/۰۵
نیکل	۰/۱۳	۰/۸۴	۰/۱۷
سرب	۰/۸۴	-۰/۱۵	۰/۰۴
روی	۰/۶۹	-۰/۲۴	-۰/۲۶
کروم	۰/۰۸	۰/۷۴	-۰/۴۸
کبالت	-۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۹۳
مقدار ویژه اولیه	۲/۴۶۴	۲/۱۳۲	۱/۲۵۸
واریانس نسبی توجیه‌شده (٪)	۳۰/۸۱	۲۶/۶۵	۱۵/۷۲
واریانس تجمعی توجیه‌شده (٪)	۳۰/۸۰	۵۷/۴۶	۷۳/۱۸



شکل ۲- نمودار ۳ بعدی بار چرخش‌یافته سه مولفه اصلی



شکل ۳- نقشه کریجینگ مولفه اول در منطقه مورد مطالعه

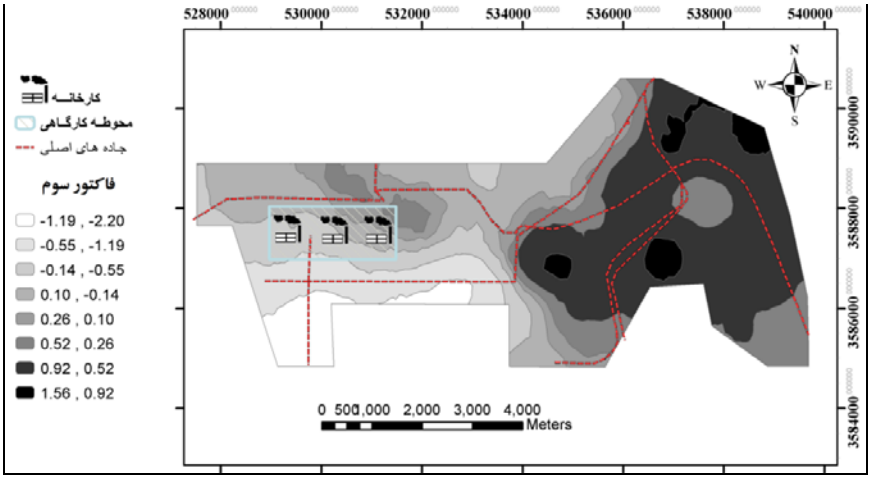


شکل ٤- گلباد منطقه مورد بررسی بر اساس داده‌های ۵ ساله باد غالب از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰

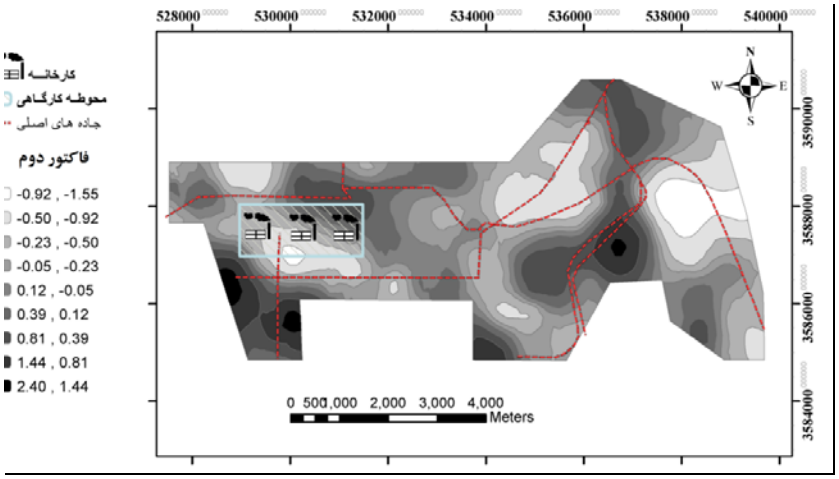
شکل ۶ نقشه پراکنش امتیاز مولفه سوم در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل با دورشدن از منطقه صنعتی و فعالیت‌های ناشی از آن امتیاز این مولفه افزایش نشان می‌دهد. با توجه به شرایط زمین‌شناسی یکسان کل منطقه مورد مطالعه (رسوبات آبرفتی دامنه‌ای و نهشته‌های قدیمی) و عوامل اصلی کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین در خاک‌ها (فعالیت‌های انسانی و طبیعی)، احتمال می‌رود شرق منطقه تحت تاثیر عوامل طبیعی مانند ترکیب ژئوشیمیایی یا فرآیندهای خاکسازی قرار داشته باشد. با توجه به این مطالب مولفه سوم که تنها شامل عنصر کبالت است به منشاء زمین-شناختی یا طبیعی نسبت داده شد. در مطالعه‌ای که تقی‌پور و همکاران (۱۴) با استفاده از تجزیه مولفه‌های اصلی به بررسی منبع کنترل‌کننده عناصر سنگین در خاک سطحی بخشی از استان همدان پرداختند نشان دادند که غلظت کروم، کبالت و نیکل در ارتباط با مواد مادری بوده که شامل سنگ‌های شیل در منطقه مورد مطالعه است.

شکل ۷ نشان دهنده نقشه پراکنش مولفه دوم است. پراکنش این مولفه پیچیدگی بیشتری نسبت به دو مولفه دیگر دارد و امتیاز آن هم در اطراف محوطه کارگاهی و هم شرق منطقه که به دور از فعالیت‌های صنعتی است، افزایش نشان داد است. با توجه به شکل ۲ از نظر فضایی مولفه دوم که شامل نیکل، مس و کروم است میان دو مولفه اول و سوم و یا به بیانی دیگر میان دو عامل انسانی و طبیعی قرار دارد به همین دلیل احتمال می‌رود مولفه دوم دارای منشاء توام و یا مشترک طبیعی- انسانی[1] باشد. کِی و همکاران (۱) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره در خاک‌های کشاورزی استان گانگدانگ چین نشان دادند که عنصر سرب در منطقه هم دارای منشاء طبیعی و هم تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی و منابع ترافیکی قرار دارد.

1- Natural-anthropogenic



شکل ۵- نقشه کریجینگ مولفه سوم در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- نقشه کریجینگ مولفه دوم در منطقه مورد مطالعه

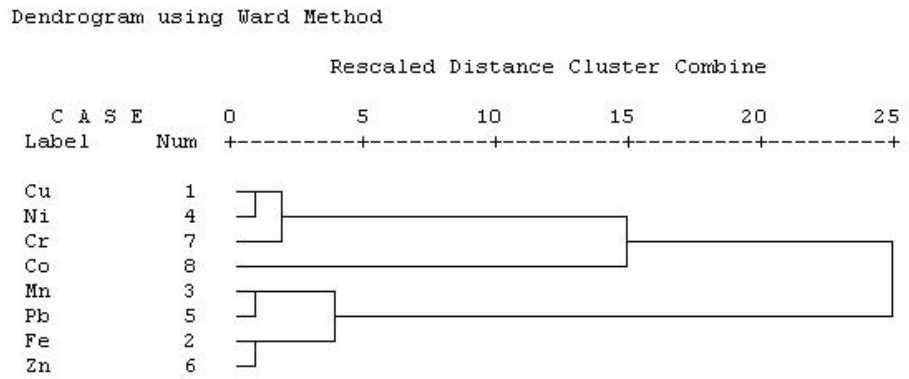
تحلیل خوشه‌ای

در مطالعه حاضر تجزیه خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی عناصر با خصوصیات ژئوشیمیایی یکسان صورت پذیرفت. برای انجام تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، از نمره استاندارد[1] داده‌ها استفاده شد. زیرا تغییرات بزرگ در یک متغیر ممکن است به اندازه تغییرات کوچک مقیاس متغیر دیگر مهم باشد و همچنین نمی‌توان فاصله داده‌هایی با واحدهای مختلف را سنجید. در این مطالعه از روش الگوریتم وارد[2] و فواصل اقلیدوسی[3] برای محاسبه تشابهات بین متغیرها (فلزات سنگین)، در تحلیل خوشه‌ای و رسم دندروگرام استفاده شد (۵).

نتایج حاصل در شکل ۸ به صورت یک دندروگرام قابل مشاهده است. گروه‌بندی حاصل با نتایج حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی یکسان است. این موضوع به وسیله محققان دیگر نیز گزارش شده است (۱ و ۱۴).

فاصله خوشه‌ای نشان دهنده درجه شباهت توزیع و واریانس میان فلزات است. هرچه این میزان کاهش یابد میزان ارتباط معنی‌دار خوشه‌ها افزایش می‌یابد. فاصله خوشه‌ای ۵ به منظور گروه‌بندی عناصر انتخاب شد. مس، نیکل و کروم به خوبی با یکدیگر همبستگی یافته و تشکیل یک خوشه منحصر به فرد داده اند. فلزات منگنز، سرب، روی و آهن نیز با کمی فاصله بیشتر نسبت به خوشه قبلی، تشکیل خوشه‌ای دیگر را داده اند. عنصر کبالت به طور مجزا از دیگر عناصر و تشکیل خوشه تک عضوی داده است و این خوشه در فاصله زیادی به خوشه مس، کروم و نیکل متصل شده است.

1- Z-score
2- Ward-algorithmic method
3- Euclidean distances



شکل ٦- دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌ای فلزات سنگین در منطقه مورد مطلعه

نتایج تحلیل خوشه‌ای همانند تجزیه مولفه‌های اصلی بر تاثیر فعالیت‌های انسانی در تغییرات غلظت فلزات منگنز، سرب، روی و آهن و عوامل طبیعی بر غلظت کبالت تاکید دارد. همچنین فلزات مس، کروم و نیکل نیز به طور مشترک و تواماً دارای منابع انسانی و زمین‌شناختی است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل چندمتغیره (تحلیل خوشه‌ای، تجزیه مولفه‌های اصلی) و الگوی پراکنش مکانی مولفه‌های اصلی نشان داد که امکان بررسی منشاءهای احتمالی و اصلی توزیع فلزات سنگین در خاک‌های مناطق صنعتی و به طور کلی محیطزیست را دارا می‌باشند. همچنین به طور کلی فلزات سنگین مورد بررسی در ارتباط با منشاء طبیعی و انسانی توزیع فلزات سنگین در خاک‌ها دارای سه حالت مختلف بودند. به نحوی که عناصر آهن، منگنز، سرب و روی دارای منشاء انسانی، کبالت دارای منشاء زمین‌شناختی و فلزات مس، نیکل و کروم به طور مشترک دارای دو منشاء انسانی و زمین‌شناختی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

منابع

1- Cai L., Xu Z., Ren M., Guo Q., Hu X., Hu G., Wan H. and 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.

2- Dankoub Z., Ayoubi S., Khademi H. and Sheng-Gao L. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, central Iran. Pedosphere, 22:33-47.

3- Facchinelli A., Sacchi E. and Mallen L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environmental Pollution, 114:313-324.

4- Jiachun S., Haizhen W., Jianming X., Jianjun W., Xingmei L. and Haiping Z. 2007. Spatial distribution of heavy metal in soil: a case study of changing, China. Environmental Geology, 52:1-10.

5- Johnson D. E. 1998. Applied Multivariate Methods for Data Analysis. Duxbury Press, Pacific Grove, California, USA, 425 pages.

6- Juang K.W., Lee D.Y. and Ellsworth T.R. 2001. Using rank-order geostatistics for spatial interpolation of highly skewed data in heavy metal contaminated site. Journal of Environmental Quality, 30:894-903.

7- Kříbek B., Majer V., Veselovský F. and Nyambe I. 2010. Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metals and sulphur in soils of the central-northern part of the Zambian Copperbelt mining district: a topsoil vs. subsurface soil concept. Journal of Geochemical Exploration, 104:69-86.

8- Li J., He M., Han W. and Gu Y. 2009. Analysis and assessment on heavy metal source in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. Journal of Hazardous Materials, 164:976-981.

9- Manta D.S., Angelone M., Bellanca A., Neri R. and Sprovieria M. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study

from the city of Palermo (Sicily), Italy. Science of The Total Environment, 300:229-243.
10- Mico C., Recatala L., Peris M. and Sanchez J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere, 65:863-872.
11- Shi G., Chen Z., Xu S., Zhang J., Wang L., Bi C. and Teng J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China Environmental Pollution, 156:251-260.
12- Sparks G.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. Academic Press, San Diego, California, USA.
13- Sposito G., Lund L.J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in aird-zone field soils amended with sewage sludge: I .Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46:260-264.
14- Taghipour M., Ayoubi S. and Khademi H. 2011. Contribution of lithologic and anthropogenic factors to surface soils heavy metals in western Iran using of multivariate geostatistical analysis. Soil and Sediment Conatmination, 20:921-937.
15- Wang D.Y., Wang W.Z, Chen W.Q., Zhou R.Z. and Lin Z.C. 1998. Present state and development trend of disposal technique of in-plant Zn–Pb-bearing dust. Iron and Steel, 33:65-68 (in Chinese).
16- Xie S., Dearing J.A., Boyle J.F., Bloemendal J. and Morse A.P. 2001. Association between magnetic properties and element concentrations of Liverpool street dust and its implications. Journal of Applied Geophysics, 48:83-92.
17- Zhang C. 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. Environmental Pollution, 142:501-511.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.3, Jul.-Agu. 2013, p. 560-569

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۲، ص. ۵۶۹-۵۶۰

Use of Multivariate Statistics and Geostatistics to Differentiate the Lithologic and Anthropogenic Sources of some Heavy Metals in Zobahan Industrial District, Isfahan Province

S. Naeimi Marandi[1] – S. Ayoubi[2]* – B. Azimzadeh[3]

Received:28-11-2012
Accepted:26-05-2013

Abstract

Soil pollution by heavy metals is an important environment issue throughout the world. Heavy metals' origin, accumulation, and distribution in soil have been the focus of much attention by many researchers. The objective of this study was to recognize the sources of some heavy metals in surface soils in Zob-Ahan industrial district, Isfahan province, using multivariate geostatistical techniques. A total of 202 surface (0–30 cm) soil samples were collected. Total lead (Pb), zinc (Zn), manganese (Mn), iron (Fe), copper (Cu), nickel (Ni), cobalt (Co) and chromium (Cr) contents of the samples were determined. A multivariate geostatistical analysis was performed to identify the common source of heavy metals. The results of principal component analysis led to the identification of three components. So, these components were explained 31, 27, and 16 % of total variance of heavy metal concentration, respectively. The distribution of scores of each components were shown that the quantities of Fe, Mn, Pb and Zn were found to be associated with anthropogenic activities, corresponding to the first factor was termed the "anthropogenic component". The quantities of Co were found to be associated with parent rocks, corresponding to the second factor was termed the "lithologic component". Also, the third factor was mainly attributed to Cu, Ni and Cr which also comprised the first and third factors, indicating a mixed source both from lithologic and anthropogenic inputs.

Keywords: Soil pollution, Heavy metals, Principal Component analysis, Cluster analysis, Geostatistics, Zob-ahan industrial distruct

1,2,3- MSc Student, Associate Professor and MSc Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Respectively
(*-Corresponding Author Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir)