نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۶۳۷-۶۲۷

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 627-637

# منشأیابی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک روی زنجان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره

محمد امیر دلاور[1*]- یاسر صفری[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۲۰

## چکیده

در این پژوهش برای تعیین منابع احتمالی کنترل‌کنندهٔ توزیع فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک صنعتی روی زنجان از تکنیک‌های آماری چندمتغیره استفاده شده است. برای انجام این مطالعه، از خاک‌های سطحی (صفر تا ۱۰ سانتی‌متری) ۱۸۴ نقطه‌ی نمونه‌برداری در قالب الگوی شبکه‌ای منظم به فاصله‌ی ۵۰۰ متر نمونه‌برداری و غلظت کل فلزات سرب، روی، کادمیوم، نیکل و مس در آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای تشخیص منابع احتمالی ورود آلاینده‌های فلزی به خاک، از تکنیک‌های ماتریس هم‌بستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه به عامل‌ها استفاده شد. نتایج بیان‌گر آن بود که خاک‌های منطقه به سرب، روی و کادمیوم آلوده هستند و میانگین غلظت آن‌ها در خاک‌ها به‌ترتیب ۱۵۲/۸، ۲۹۴/۲ و ۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. ولی عناصر نیکل و مس در این خاک‌ها خطر آلودگی چندانی ندارند. بررسی ماتریس هم‌بستگی نشان از بالا بودن ضرایب هم‌بستگی میان جفت عناصر روی-کادمیوم و نیکل-مس داشت که دلیلی بر کنترل شدن توزیع این عناصر توسط عوامل مشترک است. استفاده از راهکار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی منتج به استخراج تنها دو مؤلفه‌ی اثرگذار بر توزیع داده‌ها شد که در مجموع، حدود ۸۴ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه می‌کنند. به‌نظر می‌رسد فعالیت‌های مختلف صنعتی انجام گرفته در شهرک صنعتی روی، عامل اصلی کنترل کنندهٔ توزیع عناصر سرب، روی و کادمیوم در خاک‌های اراضی مطالعاتی است؛ در حالی‌که عناصر نیکل و مس تحت تأثیر عامل مواد مادری می‌باشند. انطباق یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین در منطقهٔ مطالعاتی، بیان‌گر کارایی آمار چندمتغیره برای شناسایی منشأهای احتمالی فلزات سنگین در خاک است.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی خاک، تجزیه به عامل‌ها، زنجان، عناصر سنگین، ماتریس هم‌بستگی

## مقدمه

امروزه آلودگی محیط زیست با به مخاطره انداختن سلامت جهانی به یکی از معضلات مهم پیش‌روی جامعهٔ بشری تبدیل شده است (۲). این مفهوم، شامل تغییرات نامطلوب در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع اصلی حیات، یعنی آب، هوا و خاک است (۳۱). آلودگی‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تخریب و تنزل کیفیت بیوسفر و اجزای آن محسوب می‌شوند و در این میان فلزات سنگین از نقطه‌نظرهای بیولوژیکی، اکولوژیکی و سلامتی بشر حائز اهمیت ویژه‌ای هستند (۲ و ۱۲). طبق تعریف، عناصر سنگین به دسته‌ای از عناصر اطلاق می‌شود که وزن اتمی آن‌ها از ۶۳/۵ تا ۲۰۰/۶ متغیر بوده و دارای چگالی ویژه‌ی بزرگ‌تر از پنج هستند (۳۳).

بر خلاف آلاینده‌های آلی، این آلاینده‌ها توسط ریزجانداران قابل تجزیه نبوده و اغلب برای مدت‌های طولانی بدون تغییر در محیط باقی می‌مانند (۱۶). تحرک و پویایی اندک فلزات سنگین در خاک و تمایل آن‌ها به تجمع در بدن گیاهان و ریزجانداران خاک موجب تشدید خطر این آلاینده‌ها برای حیات انسان و دیگر موجودات زنده شده است (۱۸).

داشتن درک مناسبی از چرخه‌ی بیوژئوشیمیایی فلزات سنگین در میان اجزای تشکیل‌دهندهٔ بیوسفر، پیش‌شرط دست‌یابی به راه‌کارهای عملی سودمند در راستای کاهش خطر عناصر سنگین برای سلامتی بشر و مدیریت پایدار اراضی است (۲۰). در میان اجزای بیوسفر، خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چرا که علاوه بر ایجاد یک محیط هدف ژئوشیمیایی مناسب برای آلاینده‌ها، یک محیط بافر طبیعی کنترل‌کنندهٔ انتقال عناصر به هیدروسفر، اتمسفر و موجودات زنده است (۸). خاک منبع طبیعی فلزات سنگین و دیگر عناصر شیمیایی است؛ گرچه فعالیت‌های بشری گاه موجب افزایش چند برابری غلظت فلزات

۱ و ۲- استادیار و دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: adelavar443@yahoo.com)

سنگین در خاک‌ها می‌شوند (۲۰).

در مجموع، فلزات سنگین موجود در خاک‌های مختلف از منابع لیتوژنیک، پدوژنیک و آنتروپوژنیک نشأت می‌گیرند. عناصر لیتوژنیک شامل دسته‌ای از عناصر هستند که به‌صورت مستقیم از لیتوسفر (سنگ‌کره) یا همان مواد مادری به خاک منتقل شده‌اند. علی‌رغم داشتن منبع لیتوژنیک، توزیع و تجمع عناصر پدوژنیک در ذرات و لایه‌های خاک در پی فرآیندهای خاک‌سازی دستخوش تغییراتی شده است. عناصر آنتروپوژنیک به دسته‌ای از عناصر اطلاق می‌شوند که در نتیجه‌ی مستقیم یا غیرمستقیم فعالیت‌های انسانی به درون خاک راه یافته‌اند (۲۲ و ۳۷). نکته‌ی حایز اهمیت آن است که رفتار عمومی فلزات سنگین در خاک و در نتیجه، زیست‌فراهمی آن‌ها تابعی از منشأ این عناصر فلزی است (۲۳). پژوهش‌های مربوطه گویای آن است که صرف‌نظر از نوع فعالیت‌های بشری، عناصر آنتروپوژنیک نسبت به عناصر پدوژنیک از قابلیت زیست‌فراهمی بالاتری در خاک برخوردارند (۱۰ و ۲۱). بنابراین، آگاهی از منشأ فلزات سنگین می‌تواند اطلاعات سودمندی راجع به رفتار این عناصر کمیاب در خاک‌ها در راستای جلوگیری از ورود آن‌ها به حلقه‌های انتهایی زنجیره‌ی غذایی انسان در دسترس قرار دهد. از این‌رو، بسیاری از پژوهش‌های اخیر به منشأیابی فلزات سنگین موجود در خاک‌ها، به‌منظور تفکیک میزان اثرات فعالیت‌های انسانی در مقایسه با روند طبیعی ورود فلزات سنگین به خاک پرداخته‌اند (۶، ۱۱، ۱۲، ۲۴، ۲۷ و ۳۵).

در کنار تکنیک‌های آماری تک‌متغیره‌ای هم‌چون شاخص‌های غنی‌شدگی[1] و زمین‌انباشتگی[2]، در سال‌های اخیر آمار چندمتغیره مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران علوم محیطی در راستای منشأیابی آلاینده‌های فلزی قرار گرفته است. این راهکار، ابزاری سودمند در تشخیص الگوهای متداول و مسئول پراکنش داده‌ها بوده و با کاهش حجم سری داده‌های اولیه و خلاصه‌سازی ابعاد تغییرپذیری متغیرهای محیطی، تفسیر نتایج را تسهیل می‌کند (۵). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[3]، تجزیه به عامل‌ها[4] و ماتریس هم‌بستگی[5] از رایج‌ترین تکنیک‌های آماری چندمتغیره هستند که برای تعیین الگوی ارتباطی فلزات سنگین با یکدیگر و شناخت منابع احتمالی آن‌ها مورد استفاده‌ی محققان مختلف قرار گرفته است (۴، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۲۴، ۲۶، ۲۸ و ۳۶).

سان و همکاران (۳۴) در تشخیص منشأهای احتمالی فلزات سنگین در بخشی از اراضی کشاورزی کشور چین با استفاده از آمار چند متغیره، چنین بیان کردند که غلظت کل عناصر روی، نیکل و کروم توسط عامل مواد مادری کنترل می‌شود؛ حال آن‌که تجمع عناصر مس و سرب در خاک، تحت کنترل فعالیت‌های صنعتی در منطقه است. چن و همکاران (۹) در تعیین میزان مشابهت اثرپذیری توزیع فلزات سنگین مختلف در خاک از عوامل طبیعی و انسانی از آمار چندمتغیره بهره گرفته و چنین نتیجه‌گیری نمودند که ترافیک عامل اصلی افزایش مقادیر سرب و مس در خاک‌های مطالعاتی است؛ در حالی‌که مواد مادری کنترل‌کننده‌ی اصلی توزیع عناصر منگنز، نیکل و وانادیوم می‌باشند. نعیمی مرندی و همکاران (۲۷) با استفاده از زمین‌آمار و آمار چندمتغیره در منشأیابی برخی فلزات سنگین در اصفهان، گزارش کردند که توزیع برخی فلزات سنگین در خاک در کنترل عوامل مشترک بشری و زمین‌شناسی است.

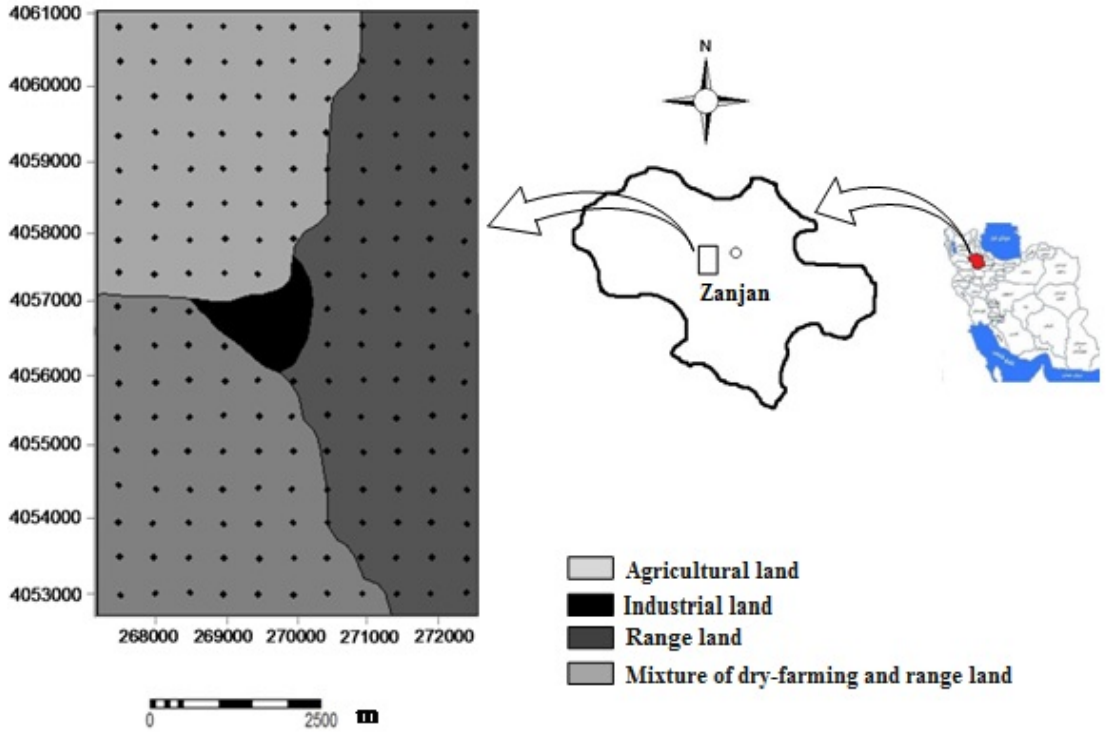
با وجود مقبولیت جهانی تکنیک‌های چندمتغیره‌ی مزبور در راستای منشأیابی فلزات سنگین در خاک، متأسفانه این راهکارها توسعه‌ی چندانی در مطالعات علوم خاک در کشورمان نیافته‌اند. از این‌رو هدف اصلی پژوهش حاضر آن است که با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره به اطلاعات سودمندی پیرامون عوامل مؤثر بر گسترش آلاینده‌های فلزی در خاک‌های بخشی از اراضی استان زنجان دست یابد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مطالعاتی در شش کیلومتری جنوب شهر زنجان و در اطراف شهرک صنعتی روی واقع شده است. این شهرک در سال ۱۳۷۵ تأسیس شده و دارای ۴۲ واحد بهره‌برداری روی است. در این شهرک سالانه با مصرف بیش از یک میلیون تن سنگ خام روی، ۰/۱۹ میلیون تن فلز روی تولید می‌شود (۲۹). در محدودهٔ این شهرک، بیش از ۲/۵ میلیون تن پسماند حاوی فلزات سنگین انباشته شده است و فعالیت‌های صنعتی انجام گرفته در آن، احتمال تجمع فلزات سنگین مختلف در خاک‌های اطراف را فراهم نموده است. مساحت محدوده‌ی مورد مطالعه، بالغ بر ۴۰۰۰ هکتار است و در بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). متوسط بارندگی و دمای سالیانهٔ منطقه، به‌ترتیب، ۳۱۳/۱ میلی‌متر و ۱۱/۰ درجهٔ سلسیوس، و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا، ۱۶۶۰ متر است. کاربری‌های عمدهٔ اراضی موجود در این ناحیه، شامل مناطق صنعتی، کشاورزی، مرتع و مخلوط مرتع و کشت دیم است (شکل ۱). بر اساس نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان، تراس‌های آبرفتی قدیمی واحد زمین‌شناسی اصلی منطقه بوده و خاک‌های منطقه مورد مطالعه به‌طور عمده بر روی نهشته‌های آبرفتی کواترنری تکامل یافته‌اند.

1 - Enrichment Factor; EF
2 - Geoaccumulation Index; GI
3 - Principal Component Analysis; PCA
4 - Factor Analysis; FA
5 - Correlation Matrix; CM




**شکل ۱- حدود منطقهٔ مورد مطالعه همراه با الگوی توزیع نقاط نمونه‌برداری**
**Figure 1- Location of the study area along with sampling points**

## نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

برای انجام این مطالعه، ابتدا با مطالعهٔ نقشه‌های توپوگرافی منطقه، موقعیت جغرافیایی تعداد ۱۸۴ نقطهٔ نمونه‌برداری در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم به فاصلهٔ ۵۰۰ متر تعیین گردید (شکل ۱). پس از یافتن موقعیت جغرافیایی نقاط در صحرا به‌کمک دستگاه سیستم مکان‌یاب جهانی[1]، به‌منظور تهیهٔ نمونه‌های مرکّب، دایره‌ای فرضی به مرکزیت هر نقطهٔ مشاهداتی و قطر دو متر در نظر گرفته شد و از لایهٔ سطحی (عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) پنج نقطهٔ واقع در روی محیط این دایره نمونه‌برداری انجام گردید. در مجموع حدود یک کیلوگرم خاک از هر نقطهٔ مشاهداتی با استفاده از بیلچه برداشت شد و در ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی دانشگاه زنجان منتقل گردید.

پس از هوا خشک نمودن نمونه‌های برداشت‌شده و جداسازی ذرات درشت آن‌ها توسط الک، مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، شامل بافت، درصد موادآلی، واکنش خاک، هدایت الکتریکی و میزان آهک با استفاده از روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین گردید (۳۰). برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین، یک گرم از هر نمونه خاک با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و ۲۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۵ نرمال در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری به آن‌ها اضافه شد. محتویات ارلن به‌مدت ۱۲ ساعت به‌حال خود رهاشده و پس از آن به‌مدت ۱۰ دقیقه با قرار گرفتن بر روی صفحه گرما، حرارت و جوشانده شدند. بعد از سرد شدن، نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ در بالن ژوژه‌های ۲۵ میلی‌لیتری صاف گردیده و با آب مقطر به حجم رسانیده شدند. در پایان، غلظت کل عناصر سنگین، شامل سرب، روی، کادمیوم، مس و نیکل تمامی عصاره‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل Varian A-A 20 قرائت گردید (۳۲).

## تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای اطلاع از الگوی توزیع داده‌های مربوط به غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی، مهم‌ترین ویژگی‌های آماری آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ محاسبه شد. برای کسب آگاهی از انطباق توزیع داده‌ها با شرایط توزیع نرمال، آزمون نرمالیتهٔ کولموگروف–اسمیرنوف مورد پردازش قرار گرفت. هم‌چنین، به‌منظور ارزیابی ارتباط متقابل میان توزیع عناصر مختلف، راهکارهای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه به عامل‌ها و ماتریس ضرایب هم‌بستگی در این محیط نرم‌افزاری انجام گردید.

1 - Global Positioning System; GPS

روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تکنیکی مفید برای کاهش حجم داده‌های اولیه و استخراج تعداد اندکی عامل مستقل (همان مؤلفه‌های اصلی) در بررسی ارتباط میان متغیرهای محیطی است. در این راهکار با در نظر گرفتن چند مؤلفه‌ی اصلی به‌عنوان عوامل مسئول در تغییرپذیری مقادیر متغیرها و ارتباط دادن تغییرات هر متغیر به یک یا چند عامل، می‌توان سهم نسبی منابع مختلف را در توزیع مقادیر متغیرهای مختلف ارزیابی نمود (۴). روش تجزیه به عامل‌ها با کاهش متغیرهای پیچیده در قالب تعداد کمی عامل ناشناخته، به بررسی ارتباط میان متغیرهای اندازه‌گیری‌شده می‌پردازد (۳۸). استفاده از این تکنیک در مطالعات علوم محیطی، منجر به استخراج اطلاعات مشخص از داده‌های چندبعدی شده و تفسیر مشاهدات را تسهیل می‌کند (۷).

## نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها به‌عنوان اولین قدم در راستای سامان‌دهی داده‌ها و اطلاع از وضعیت توزیع آن‌ها ضروری است. جدول ۱ مهم‌ترین ویژگی‌های آماری عناصر سنگین مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

مقایسهٔ مقادیر میانگین غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی در این مطالعه با مقادیر میانگین جهانی قابل قبول این عناصر برای خاک‌های غیر آلوده (۲۰)، گویای آن است که مقادیر عناصر سرب، روی و کادمیوم در خاک‌های منطقه بالاتر از این حدود هستند؛ در حالی‌که غلظت کل نیکل و مس در خاک کمتر از حدود جهانی قابل قبول برای این عناصر است. وجود مقادیر بسیار بزرگ‌تر از مقدار میانگین عناصر سرب، روی و کادمیوم در خاک، ضمن بالا بردن ضریب تغییرات آن‌ها باعث چولگی شدید داده‌ها و عدم تبعیت آن‌ها از الگوی توزیع نرمال شده است (جدول ۱).

چنین گزارش شده است که ضریب تغییرات فلزات سنگین ناشی از منابع طبیعی نسبتاً کوچک است؛ در حالی‌که چنان‌چه فلزات سنگین از فعالیت‌های انسانی ناشی شده باشند، ضریب تغییرات آن‌ها مقادیر بسیار بزرگی خواهد داشت (۱۹). بر این اساس، بالا بودن نسبی این ویژگی برای فلزات سرب، روی و کادمیوم را (جدول ۱)، شاید بتوان دلیلی بر آن دانست که غلظت کل این عناصر در خاک‌های منطقه توسط فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود. بالعکس، با توجه به پایین بودن نسبی ضریب تغییرات برای عناصر نیکل و مس (جدول ۱)، به‌نظر می‌رسد عوامل طبیعی کنترل‌کنندهٔ توزیع آن‌ها در اراضی منطقه هستند. در تطابق با این یافته‌ها، چن و همکاران (۶) بالا بودن ضریب تغییرات عنصر جیوه در خاک‌های بخشی از کشور چین را دلیلی بر نقش فعالیت‌های انسانی در کنترل توزیع آن در خاک دانستند؛ در حالی‌که با توجه به پایین بودن ضریب مزبور برای سایر عناصر سنگین، عوامل طبیعی به‌عنوان مهم‌ترین منشأ آن‌ها گزارش شدند. ضرایب هم‌بستگی فلزات سنگین مورد مطالعه با یکدیگر، در جدول ۲ ارایه شده است.

**جدول ۱- خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک (تعداد ۱۸٤ نمونه)**

**Table 1- Summary statistics of total concentrations (mg kg-1) in soils (184 samples)**

| متغیر Variable | میانگین Mean | حداقل Minimum | حداکثر Maximum | انحراف معیار Standard deviation | ضریب تغییرات ٪ Coefficient of variation | Kolmogorov-Smirnov |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pb | 152.8 | 0.7 | 3440 | 542.1 | 354.8 | 0.000 |
| Zn | 294.2 | 1.8 | 5400 | 875.4 | 297.6 | 0.000 |
| Cd | 5.6 | 0.3 | 75.0 | 12.8 | 228.5 | 0.008 |
| Ni | 0.8 | 0.2 | 4.8 | 0.6 | 75.0 | 0.053 |
| Cu | 2.8 | 0.2 | 11.7 | 2.3 | 82.1 | 0.081 |

**جدول ۲- ضرایب هم‌بستگی میان فلزات سنگین مورد مطالعه (تعداد ۱۸٤ نمونه)**

**Table 2- Correlation coefficients between of heavy metals studied (184 samples)**

| متغیر (Variable) | Zn | Pb | Cd | Cu | Ni |
|---|---|---|---|---|---|
| Zn | 1 | | | | |
| Pb | $0.64^{**}$ | 1 | | | |
| Cd | $0.85^{**}$ | $0.61^{**}$ | 1 | | |
| Cu | $0.39^{**}$ | $0.29^{**}$ | $0.43^{**}$ | 1 | |
| Ni | $0.45^{**}$ | $0.35^{**}$ | $0.45^{**}$ | $0.81^{**}$ | 1 |

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ است.

**Represent statistically significant differences ($p < 0.01$).

بیشترین مقادیر ضرایب هم‌بستگی، به‌ترتیب میان جفت عناصر روی-کادمیوم و نیکل-مس مشاهده گردید (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد این مقادیر بالای ضریب هم‌بستگی شاهدی بر کنترل شدن توزیع این عناصر توسط عوامل مشترک باشد؛ به‌گونه‌ای که می‌توان چنین استنباط نمود که غلظت کل عناصر روی و کادمیوم در خاک توسط یک عامل یکسان و غلظت کل فلزات نیکل و مس نیز توسط عامل دیگری کنترل می‌شوند. البته مشاهده می‌شود که حتی کم‌ترین مقادیر ضریب هم‌بستگی موجود در جدول نیز در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند (جدول ۲). دلیل احتمالی این مشاهده، تعداد نسبتاً بالای نقاط نمونه‌برداری است؛ چرا که همبستگی بین متغیرها به حجم نمونه بستگی دارد (۲۵). در پژوهشی مشابه عبداللهی و همکاران (۱)، بالا بودن ضریب هم‌بستگی میان فلزات روی و کادمیوم را شاهدی بر این مدعا دانستند که غلظت کل این دو عنصر در خاک‌های اراضی اطراف شهر زنجان تحت کنترل فعالیت‌های فرآوری و استخراج فلزات سنگین قرار دارد.

از سوی دیگر مقدار ضریب هم‌بستگی فلز سرب با عناصر نیکل و مس نسبتاً کم و با عناصر روی و کادمیوم نسبتاً زیاد است (جدول ۲). از این‌رو می‌توان گفت فلز سرب نیز تا حد زیادی تحت تأثیر عاملی است که غلظت عناصر روی و کادمیوم را در کنترل دارد و از عامل مؤثر بر توزیع نیکل و مس اثر کمتری می‌پذیرد. با این حال، احتمال می‌رود عامل دیگری نیز توزیع مکانی این عنصر را در خاک تحت تأثیر قرار دهد. برخی از پژوهش‌گران معتقدند که گاه مشخص نمودن یک عامل اصلی کنترل کننده‌ی توزیع عناصر مختلف در خاک تقریباً غیر ممکن است (۱۵ و ۲۶). نعیمی مرندی و همکاران (۲۷) نیز گزارش کردند که تفکیک نقش عوامل طبیعی از عوامل انسانی در کنترل توزیع فلزات مس، نیکل و کروم در خاک‌های بخشی از اراضی اطراف اصفهان مشکل است و یک عامل مشترک انسانی-زمین‌شناسی توزیع این عناصر را کنترل می‌کند.

## تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در جدول ۳ ارایه شده است. از آن‌جا که در این پژوهش، قبلاً اطلاعاتی از تعداد عوامل مؤثر بر توزیع عناصر سنگین در خاک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در دسترس نیست، در راهکار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در ابتدا به تعداد متغیرهای مورد مطالعه، مؤلفه‌ی اثرگذار بر توزیع مقادیر متغیرها در نظر گرفته می‌شود. در ادامه، تعداد کمتری از مؤلفه‌ها به‌عنوان عوامل اصلی و مهم‌تر در کنترل پراکنش داده‌ها از سایر مؤلفه‌ها تفکیک می‌شوند. با توجه به نتایج موجود در جدول ۳، دو مؤلفه اول توانسته‌اند حدود ۸۴ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه کنند؛ به‌نحوی که مؤلفه‌ی اول با اختصاص دادن حدود ۴۷ درصد واریانس کل به‌خود، مهم‌ترین مؤلفه محسوب می‌شود و پس از آن، مؤلفه‌ی دوم حدود ۳۷ درصد تغییرات کل داده‌ها را در کنترل خود دارد.

**جدول ۳- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی**

**Table 3- Results Principal Component Analysis (PCA)**

| مؤلفه (Components) | مقدار ویژه اولیه (Initial eigenvalues) | | | مجموع مربعات بارهای استخراجی (Extraction sums of squared loadings) | | | مجموع مربعات بارهای چرخشی (Rotation sums of squared loadings) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کل (Total) | % واریانس (Variance %) | % تجمعی واریانس (Accumulated Variance %) | کل (Total) | % واریانس (Variance %) | % تجمعی واریانس (Accumulated Variance %) | کل (Total) | % واریانس (Variance %) | % تجمعی واریانس (Accumulated Variance %) |
| 1 | 3.12 | 62.43 | 62.43 | 3.12 | 62.43 | 62.43 | 2.36 | 47.25 | 47.25 |
| 2 | 3.10 | 22.01 | 84.44 | 3.10 | 22.01 | 22.01 | 1.86 | 37.19 | 84.44 |
| 3 | 0.43 | 8.62 | 93.07 | | | | | | |
| 4 | 0.20 | 3.99 | 97.06 | | | | | | |
| 5 | 0.15 | 2.93 | 100 | | | | | | |

جدول ٤- نتایج تجزیه به عامل‌ها

**Table 4- Results Factor analysis (FA)**

| متغیر (Variable) | ماتریس مؤلفه‌ها (Component matrix) | | ماتریس چرخش‌یافته‌ی مؤلفه‌ها (Rotated component matrix) | | اشتراک (Communality) |
|---|---|---|---|---|---|
| | مؤلفه‌ی اول (PC1) | مؤلفه‌ی دوم (PC2) | مؤلفه‌ی اول (PC1) | مؤلفه‌ی دوم (PC2) | |
| Pb | 0.737 | -0.410 | 0.834 | 0.128 | 0.742 |
| Zn | 0.859 | -0.353 | 0.895 | 0.248 | 0.862 |
| Cd | 0.860 | -0.318 | 0.874 | 0.275 | 0.840 |
| Ni | 0.760 | 0.565 | 0.254 | 0.913 | 0.898 |
| Cu | 0.723 | 0.622 | 0.190 | 0.934 | 0.909 |

مشاهده می‌شود که استفاده از تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با کاهش حجم داده‌های اولیه توانسته است تنها دو عامل مستقل را به‌عنوان عوامل کنترل‌کنندهٔ تغییرات داده‌ها شناسایی نماید (جدول ۳). در پژوهشی مشابه، سان و همکاران (۳۴) با استفاده از تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، چنین گزارش کردند که فلزات روی، نیکل و کروم در خاک از مواد مادری ناشی شده‌اند و فلزات مس و سرب در نتیجهٔ فعالیت‌های صنعتی، مصرف سوخت‌های فسیلی و عملیات کشاورزی متداول در منطقه در خاک تجمع یافته‌اند.

## تجزیه به عامل‌ها

نتایج استفاده از راهکار تجزیه به عامل‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، کم‌ترین میزان اشتراک[1] تغییرات متغیرهای مورد مطالعه با مؤلفه‌های اصلی استخراج شده، در مورد عنصر سرب (۰/۷۴۲) و بیشترین مقدار آن در مورد عنصر مس (۰/۹۰۹) مشاهده شد. نزدیک بودن این آماره به عدد یک بیان‌گر آن است که عمده‌ی تغییرات متغیرهای مورد مطالعه توسط مؤلفه‌های اصلی استخراج شده قابل توجیه بوده و عدم توجه به سایر مؤلفه‌ها که بخش کوچکی از تغییرات کل داده‌ها را در کنترل دارند، تفسیر نتایج را با اشکال مواجه نمی‌سازد (۱۵). بنابراین، بر اساس مقادیر نسبتاً بالای این آماره در پژوهش حاضر (جدول ۴)، می‌توان اظهار داشت که مختصر ساختن ابعاد کل تغییرات فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه تنها دو عامل اصلی اثرگذار قابل قبول بوده و لحاظ داشتن عوامل جزیی دیگر ضرورتاً موجب بهبود نتایج نمی‌شود.

قبل از اعمال چرخش بر ماتریس مؤلفه‌ها، تمامی عناصر سنگین مورد مطالعه هم‌بستگی مثبت و نسبتاً بالایی را با مؤلفه‌ی اول نشان دادند (جدول ۴)؛ این در حالی است که با وجود مثبت بودن هم‌بستگی عناصر نیکل و مس با مؤلفه‌ی دوم، عناصر سرب، روی و کادمیوم با این مؤلفه هم‌بستگی منفی داشتند. اعمال چرخش بر ماتریس مؤلفه‌ها سبب شده است تا هم‌بستگی عناصر سرب، روی و کادمیوم با مؤلفه‌ی اول اندکی افزایش یابد؛ حال آن‌که چرخش موجب کاهش نسبتاً شدید میزان هم‌بستگی عناصر نیکل و مس با این مؤلفه شده است (جدول ۴). از سوی دیگر، در مورد مؤلفهٔ دوم اعمال چرخش بر ماتریس موجب افزایش میزان هم‌بستگی تمامی متغیرها شده است. البته در مورد عناصر سرب، روی و کادمیوم این افزایش تنها شامل تغییر علامت هم‌بستگی با مؤلفهٔ دوم شده ولی میزان هم‌بستگی چندان قابل توجه نیست. اما در مورد عناصر نیکل و مس، افزایش قابل توجه میزان هم‌بستگی با مؤلفهٔ دوم در اثر چرخش، هم‌بستگی بسیار بالایی را رقم زده است.

بر اساس نتایج موجود در جدول ۴، مؤلفهٔ اصلی اول توزیع واریانس داده‌های مربوط به عناصر سرب، روی و کادمیوم را در کنترل خود دارد؛ در حالی‌که پراکنش مقادیر غلظت فلزات نیکل و مس در کنترل مؤلفهٔ دوم است. با توجه به واقع شدن کارخانه‌های فرآوری و استخراج فلز روی در اراضی مطالعاتی و انجام عملیات مختلف خالص‌سازی، خردایش و تغلیظ فلزات در محدودهٔ شهرک صنعتی و نیز تجمع پسماندهای صنعتی حاوی فلزات سنگین در این محدوده، به نظر می‌رسد مؤلفهٔ اول در ارتباط با این فعالیت‌های انسانی است. در همین ارتباط، پری‌زنگنه و همکاران (۲۹) معتقدند که دود خروجی از دودکش کارخانه‌های واقع در شهرک صنعتی روی حاوی مقادیر نسبتاً زیادی از عناصر سنگین بوده و انتقال ذرات هوابرد و فرونشست آن‌ها در اراضی اطراف شهرک، موجب افزایش غلظت فلزات سرب، روی و کادمیوم در خاک‌های منطقه شده است. ایشان، انتقال فلزات سنگین در قالب ذرات کوچک موجود در پسماندها و ضایعات صنعتی کارخانه‌های شهرک روی از طریق باد یا جریانات سطحی آب و فاضلاب‌های صنعتی را از دیگر روندهای محتمل در آلوده‌سازی اراضی اطراف شهرک به فلزات آلاینده می‌دانند.

فرهمندکیا و همکاران (۱۴) اظهار داشتند که ذرات هوابرد خروجی از دودکش کارخانه‌های واقع در شهرک صنعتی روی حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین بوده که ضمن آلوده‌سازی خاک‌های

1 - Communality

اطراف، با طی فاصله‌ی کوتاه موجود، به شهر زنجان رسیده و ممکن است همراه با هوای تنفس شده توسط ساکنان شهر، وارد بدن آن‌ها شوند. این پژوهش‌گران چنین بیان داشتند که فلزات روی و سرب موجود در ذرات راسب‌شونده از هوای شهر زنجان، دارای منشأ یکسان هستند؛ ولی این منشأ (کارخانه‌های صنعتی) اثر کمتری بر افزایش عنصر کروم در هوای شهر دارد. هم‌چنین، نتایج پژوهش عبداللهی و همکاران (۱) حاکی از آن است که فعالیت‌های صنعتی مربوط به استخراج فلزات روی و سرب و گرد و غبار برخواسته از عملیات معدن‌کاوی موجب افزایش غلظت عناصر سرب، رویو کادمیوم در منطقه‌ی انگوران زنجان شده است.

از سوی دیگر، در هیچ‌یک از پژوهش‌های انجام‌شده پیرامون اثرات زیست‌محیطی شهرک صنعتی روی و دیگر کارخانه‌های استخراج فلزات واقع در شهر زنجان، شواهدی مبنی بر آلودگی قابل ملاحظه‌ی خاک به عناصر نیکل و مس یافت نشده است (۱، ۳ و ۲۹). از این‌رو، به نظر می‌رسد مؤلفه‌ی دوم که مسئول توزیع این عناصر در خاک است، به عامل مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی مرتبط باشد. کوچک بودن نسبی ضریب تغییرات این عناصر در مقایسه با عناصر مشتق شده از فعالیت‌های انسانی و مشابهت الگوی توزیع داده‌ها به توزیع نرمال (جدول ۱) نیز می‌تواند شاهدی بر این مدعا قلمداد گردد.

در تطابق با این یافته‌ها، نتایج استفاده از راهکار تجزیه به عامل‌ها توسط فرانکو یوریا و همکاران (۱۵) در کشور اسپانیا، مؤید آن بود که توزیع عناصر آهن، منگنز، مس، کبالت، کروم و نیکل به‌طور عمده تحت کنترل عامل مواد مادری قرار دارد؛ در حالی‌که فعالیت‌های انسانی، نظیر افزایش کودهای شیمیایی و دامی به خاک و فعالیت‌های شهری و صنعتی عامل تعیین‌کننده‌ی الگوی پراکنش فلزات سرب، روی و کادمیوم بیان گردید. هم‌چنین، در پژوهش انجام شده توسط چن و همکاران (۹) در بخشی از اراضی کشور چین، ترافیک عامل اصلی افزایش مقادیر سرب و مس در خاک‌های مطالعاتی گزارش شد؛ در حالی‌که مواد مادری کنترل‌کننده‌ی اصلی توزیع عناصر منگنز، نیکل و وانادیوم بودند و پراکنش عناصر روی، کروم و کبالت در اراضی مورد مطالعه توسط طیف وسیعی از فعالیت‌های انسانی شامل ترافیک، زباله‌های شهری و فعالیت‌های صنعتی کنترل می‌شدند.

## نتیجه‌گیری کلی

بر اساس مقایسه‌ی مقادیر میانگین غلظت کل فلزات سنگین مورد بررسی در منطقهٔ مطالعاتی با مقادیر میانگین جهانی قابل قبول این عناصر، مشخص شد که خاک‌های منطقه به سرب، روی و کادمیوم آلوده هستند؛ ولی غلظت کل عناصر نیکل و مس در خاک کمتر از حد مجاز جهانی این عناصر است. مشاهدهٔ مقادیر ضرایب هم‌بستگی نسبتاً بالا، به‌ترتیب میان جفت عناصر روی–کادمیوم و نیکل–مس، گواهی بر کنترل شدن توزیع این عناصر توسط عوامل مشترک است. استفاده از راهکار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گویای آن بود که مؤلفه‌های اول و دوم به‌ترتیب، ۴۷ و ۳۷ درصد و در مجموع، حدود ۸۴ درصد از واریانس کل داده‌ها را توجیه می‌کنند. بنابراین، استفاده از این تکنیک با کاهش حجم داده‌های اولیه توانسته است تنها با استخراج دو عامل مؤثر بر توزیع واریانس داده‌ها به شناسایی منشأهای احتمالی تجمع فلزات سنگین در خاک کمک شایانی نماید. در پی استفاده از راهکار تجزیه به عامل‌ها معلوم شد که متغیرهای مورد مطالعه با دو مؤلفه‌ی اصلی استخراج شده، اشتراک بالایی داشته و از این‌رو می‌توان اظهار داشت که مختصر کردن ابعاد کل تغییرات فلزات سنگین تنها دو عامل اصلی اثرگذار، تفسیر نتایج را با اشکال مواجه نمی‌سازد. به‌نظر می‌رسد فعالیت‌های صنعتی مربوط به استخراج و فرآوری فلز روی عامل اصلی کنترل کننده‌ی توزیع عناصر سرب، روی و کادمیوم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است؛ در حالی‌که عناصر نیکل و مس تحت تأثیر عامل مواد مادری و فرآیندهای خاک‌سازی قرار دارند. انطباق یافته‌های حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین در منطقه‌ی مورد مطالعه، بیان‌گر کارایی تکنیک‌های آماری چندمتغیره برای شناسایی منشأهای احتمالی فلزات سنگین در خاک است.

## سپاسگزاری

از دانشگاه زنجان به خاطر حمایت‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

1- Abdollahi S., Delavar M.A. and Shekari P. 2013. Spatial Distribution Mapping of Pb, Zn and Cd and Soil Pollution Assessment in Anguran Area of Zanjan Province. Journal of Water and Soil, 26(6): 1410-1420. (in Persian with English abstract)
2- Ali H., Khan E. and Sajad M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. Chemosphere, 91:869-881.
3- Bahmani B., Delavar M.A. and Abdollahi S. 2012. Spatial distribution of zinc (Zn) in topsoil in the industrial areas of the special Zinc town Zanjan. Proceeding of the 6th Conference and Exhibition on Environmental Engineering

(CELCO91), 17-21 Nov.2012, Tehran University, Tehran, Iran. (in Persian)
4- Cai L., Xu Zh., 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.
5- Castellano M., Ruiz-Filippi G., Gonzalez W., Roca E. and Lema J.M. 2007. Selection of variables using factorial discriminant analysis for the state identification of an anaerobic UASB–UAF hybrid pilot plant, fed with winery effluents. Water Science and Technology, 56: 139-145.
6- Chen T., Liu X., Li X., Zhao K., Zhang J., Xu J., Shi J. and 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.
7- Chen T., Liu X., Zhu M., Zhao K., Wu J., Xu J. and Huang P. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban–rural transitional area of Hangzhou, China. Environmental Pollution, 151: 67–78.
8- Chen T., Wong J., Zhou H., and Wong M. 1997. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. Environmental Pollution, 96: 61–68.
9- Chen X., Lu X., and Yang G. 2012. Sources identification of heavy metals in urban topsoil from inside the Xi'an Second Ringroad, NW China using multivariate statistical methods. Catena, 98: 73–78.
10- Chlopecka A., 1993. Forms of trace metals from inorganic sources in soils and amounts found in spring barley. Water, Air and Soil Pollution, 69: 127-134.
11- Dankoub Z., Ayoubi S., Khademi H. and Lu S.G. 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(1): 33–47.
12- Doelsch E., Macary H.S. and Kerchove V.V. 2006. Sources of very high heavy metal content in soils of volcanic island (La Re´union). Journal of Geochemical Exploration, 88: 194– 197.
13- 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.
14- Farahmand kia Z., Mehrasbi M.R., Ekhawatju M.S., Hasanalizadeh A., and Ramezanzadeh Z. 2010. Study of Heavy Metals in the Atmospheric Deposition in Zanjan, Iran. Iran. Journal Health & Environment, 2(4):240-249. (in Persian with English abstract)
15- Franco-Uria A., Lopez-Mateo C., Roca E. and Fernandez-Marcos M.L. 2009. Source identification of heavy metals in pastureland by multivariate analysis in NW Spain. Journal of Hazardous Materials, 165: 1008–1015.
16- Fu F. and Wang Q. 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, 92: 407-418.
17- Garcia R., Maiz I. and Millan E. 1996. Heavy metal contamination analysis of roadsoils and grasses form Gipuzkoa (Spain). Environmental Technology, 17: 763–770.
18- Giusquiani P.L., Pagliai M., Businelli D. and Benetti A. 1995. Urban waste compost effect on physical, chemical and biological soil properties. Journal of Environmental Quality, 24: 172-184.
19- Han Y.M., Du P.X., Cao J.J. and Posmentier E.S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. Science of the Total Environment, 355(1-3): 176-186.
20- Kabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. CRC press, Boka Raton.
21- Kabata-Pendias A. and Pendias H. 1999. Biogeochemistry of Trace Elements. Wyd, Nauk PWN. Warsaw.
22- Kribek B., Majer V., Veselovsky F. and Nyambe I. 2010. Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metals and sulphur in soil of the central-northern part of the Zambia Copperbelt Minig District: A topsoil vs. subsurface soil concept. Journal of Geochemical Exploration, 104: 69–86.
23- Lewin V.H. and Beckett P.H.T. 1980. Monitoring heavy metal accumulation in agricultural soils treated with sewage sludge. Effluent and Water Treatment Journal, 20 (5) 217-221.
24- Lu X.W., Wang L.J., Li L.Y., Lei K., Huang L. and Kang D. 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. Journal of Hazardous Materials, 173: 744-749.
25- Mansourfar K. 2011. Statistical methods, Tehran University Press, Tehran, Iran. (in Persian)
26- 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.
27- Naeimi Marandi S., Ayoubi S. and Azimzadeh B. 2013. Use of Multivariate Statistics and Geostatistics to Differentiate the Lithologic and Anthropogenic Sources of some Heavy Metals in Zobahan Industrial District, Isfahan Province .Journal of Water and Soil, 27(3): 560-596. (in Persian with English abstract)
28- Nicholson F.A., Smith S.R., Alloway B.J., Carlton-Simith C.B. and Chambers J. 2003. An inventory of heavy metal input to agricultural soil in England and Wales. Science of the Total Environment, 311: 205–219.
29- Parizanganeh A., Hajisoltani P. and Zamani A. 2010. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding Zinc Industrial Complex in Zanjan-Iran. Procedia Environmental Sciences, 2: 162–166.
30- Soil Survey Staff. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Report No. 42, USDA, NRCS, NCSS, USA.

31- Sparks G.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. Academic Press, San Diego, California.
32- Sposito, G., Lund, L.J., and A.C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Science Society of American Journal, 46: 260-264.
33- Srivastava N.K. and Majumder C.B. 2008. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. Journal of Hazardous Materials, 151: 1-8.
34- Sun Ch., Liu J., Wang Y., Sun L. and Yu H. 2013. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and sources of heavy metals in agricultural soil in Dehui, Northeast China. Chemosphere, 92: 517–523.
35- Taghipour M., Ayoubi SH. and Khademi H. 2010.Spatial variability of total Ni and Cu concentration in surface soils surrounding the Hamadan city using geostatistic technique. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 17(2):69-87. (in Persian with English abstract)
36- Tahri M., Benyaich F., Bounakhla M., Bilal E., Gruffat J.J., Moutte J. and Garcia D. 2005. Multivariate analysis of heavy metal contents in soils. Sediments and water in the region of Meknes (central Morocco). Environmental Monitoring Assessment, 102: 405–417.
37- Tume P., Bech J., Tume L., Bech J., Reverter F., Longan L. and Cedonya P. 2008. Concentrations and distributions of Ba, Cr, Sr, V, Al and Fe in Torrelles soil profiles (Catalonia, Spain). Journal of Geochemical Exploration, 96: 94-105.
38- Zhang C. 2006. Using multivariate analysis 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. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 627-637

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۶۳۷-۶۲۷

# Source Identification of Heavy Metals in Soils Surrounding the Zanjan Zinc Town by Multivariate Statistical Techniques

**M.A. Delavar[1*] - Y Safari[2]**
Received: 27-11-2013
Accepted: 11-07-2015

**Introduction:** The accumulation of heavy metals (HMs) in the soil is of increasing concern due to food safety issues, potential health risks, and the detrimental effects on soil ecosystems. HMs may be considered as the most important soil pollutants, because they are not biodegradable and their physical movement through the soil profile is relatively limited. Therefore, root uptake process may provide a big chance for these pollutants to transfer from the surface soil to natural and cultivated plants, which may eventually steer them to human bodies. The general behavior of HMs in the environment, especially their bioavailability in the soil, is influenced by their origin. Hence, source apportionment of HMs may provide some essential information for better management of polluted soils to restrict the HMs entrance to the human food chain. This paper explores the applicability of multivariate statistical techniques in the identification of probable sources that can control the concentration and distribution of selected HMs in the soils surrounding the Zanjan Zinc Specialized Industrial Town (briefly Zinc Town).

**Materials and Methods:** The area under investigation has a size of approximately 4000 ha.It is located around the Zinc Town, Zanjan province. A regular grid sampling pattern with an interval of 500 meters was applied to identify the sample location, and 184 topsoil samples (0-10 cm) were collected. The soil samples were air-dried and sieved through a 2 mm polyethylene sieve and then, were digested using $HNO_3$. The total concentrations of zinc (Zn), lead (Pb), cadmium (Cd), Nickel (Ni) and copper (Cu) in the soil solutions were determined via Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Data were statistically analyzed using the SPSS software version 17.0 for Windows. Correlation Matrix (CM), Principal Component Analyses (PCA) and Factor Analyses (FA) techniques were performed in order to identify the probable sources of HMs in the studied soils.

**Results and Discussion:** Comparing the measured HMs contents with their normal range in uncontaminated soils demonstrated the contamination of soils by Pb, Zn and Cd, with average concentrations of 152.8, 294.2 and 5.6 mg $kg^{-1}$, respectively,whereas Ni and Cu did not show any pollution risk. The total concentration of Zn, Pb and Cd in the soil showed a great degree of variability, indicated by large coefficients of variation (CV) from 228.5 % of Cd to 354.8 % ofPb. These elevated CVs may indicate that these elements' distribution in the studied area is influenced by an anthropogenic source. In contrast, the relatively low calculated CVs for Ni and Cu may imply that natural sources are responsible for these elements' distribution in the studied soils. Correlation matrix (CM) analysis revealed high correlation coefficients between Zn-Cd and Ni-Cu, indicating the influence of the same factors in controlling their distribution. On the other hand, Pb contents showed low correlation with Ni and Cu values, whereas its correlation with Zn and Cd was relatively high. Therefore, it seems that Pb distribution in the studied soils is more influenced by the factor which controls the Zn and Cd distribution, rather than another factor that is responsible for accumulation of Ni and Cu in the studied soils. According to the PCA analysis, two significant components were extracted explaining about 84% of total variance. FA analysis showed that studied variables have a relatively high communality with two extracted principal components, indicating that almost all of the measured total variation can be efficiently explained by the extracted principals. Industrial activities in the Zinc Town seem to be the main factor which caused the high concentrations of Pb, Zn and Cd in the soil environment in this area; whereas Ni and Cu were associated with the natural sources including geology of the studied area (parental material's factor). The obtained results from this study coincide with the prior studies indicating that multivariate statistics is a powerful technique for identification of probable sources of HMs in the soil.

**Conclusions:** The studied soils are classified as polluted soils with Zn, Pb and Cd,whereas Ni and Cu did not show any pollution risk. PCA and correlation analyses between HMs indicated that HM pollution in the studied area may originate from natural and anthropogenic factors. It can be concluded that Zinc Town controls the distribution of Zn, Pb and Cd in the surrounding soils, but Ni and Cu distribution in the studied area is mainly

1,2-Assistant Professor, and Ph.D Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(* - Corresponding Author Email: adelavar443@yahoo.com

influenced by natural factors.Totally, industrial activities related to Zn production caused simultaneous entrance of several HMs to the adjacent soils and led to degradation of the lands in the studied area.

**Keywords:** Correlation matrix, Factor analyses, Heavy metals, Soil pollution, Zanjan