آنالیز آماری آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری استان کرمانشاه

شهاب احمدی دوآبی[1*]، مجید افیونی[1]، حسین خادمی[1] و مهین کرمی[2]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۲/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۶)

چکیده

فلزات سنگین موجود در گرد و غبار هوا قادرند مستقیماً از طریق بلع و تنفس وارد بدن انسان شوند و یا از طریق ریزش‌های جوی به سطح زمین برسند و پس از آلودگی منابع آب و خاک و ورود به ساختار گیاهان از طریق آب و غذا وارد بدن شوند. هدف از این تحقیق، بررسی غلظت فلزات سنگین و شناسایی منابع احتمالی آن در گرد و غبار استان کرمانشاه بود. ۴۹ نمونه گرد و غبار از شهرستان‌های کرمانشاه، سنقر، گیلان‌غرب، قصرشیرین، صحنه، سرپل‌ذهاب، کنگاور، پاوه و جوانرود طی فصل بهار ۱۳۹۲ جمع‌آوری شد. غلظت فلزات روی، مس، نیکل، کروم، منگنز و آهن بعد از عصاره‌گیری با ترکیب اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ (نسبت ۳:۱) تعیین شد. میانگین غلظت روی، مس، نیکل، کروم، منگنز و آهن به‌ترتیب ۱۸۲/۳، ۴۸/۶، ۱۱۵/۳، ۷۳/۹، ۴۲۸/۱ و ۲۳۱۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. برای شناسایی آلاینده‌های گرد و غبار با منشأ احتمالی انسانی و طبیعی از آنالیزهای همبستگی، مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌ای و برای شناسایی اثرات احتمالی فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات سنگین از فاکتور غنی سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات در گرد و غبار به‌جز برای آهن و منگنز در مقایسه با خاک‌های جهان بالاتر بود. روی، مس، نیکل و کروم عمدتاً منشأ انسانی و آهن و منگنز منشأ طبیعی دارند. روی و مس عمدتاً از منابع ترافیکی و تا حدودی از منابع صنعتی و نیکل و کروم از منابع صنعتی، فرآیندهای احتراق همراه با منابع ترافیکی مشتق شده‌اند. همچنین نتایج فاکتور غنی سازی نشان داد که غنی سازی برای منگنز و کروم متوسط و برای روی، مس و نیکل قابل توجه بود. با توجه به نتایج مطالعه، شناسایی و کنترل منابع آلاینده‌هایی چون فلزات سنگین در گرد و غبار به‌منظور پیشگیری از آلودگی ناشی از آنها نیازمند توجه بیشتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلاینده، آنالیز چندمتغیره، فلزات سنگین، کرمانشاه، گرد و غبار

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shahab.ahmadi@ag.iut.ac.ir

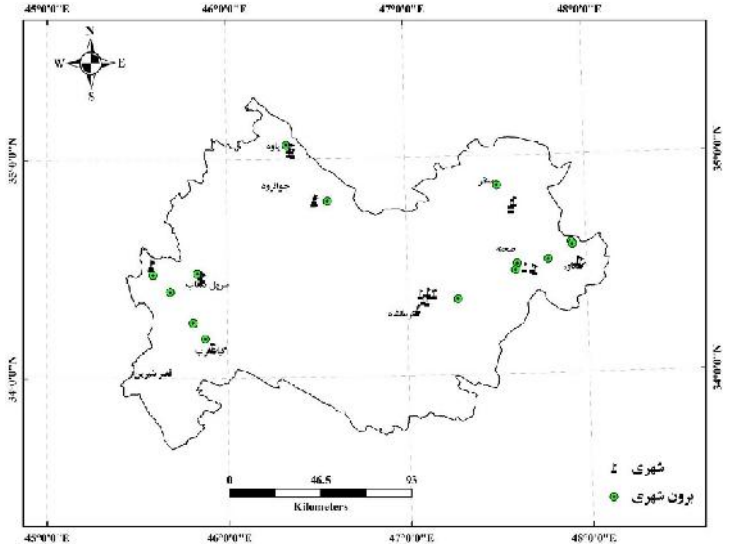
مقدمه

فلزات سنگین از اجزای پوسته زمین و غیر قابل تجزیه می‌باشند و می‌توانند از طریق آب آشامیدنی، هوا و مواد غذایی وارد بدن انسان شوند (۱۳). فلزات سنگین ممکن است برای سلامتی انسان مسئله ساز شوند و اثرات زیست محیطی نامطلوبی را به‌دنبال داشته باشند. علاوه بر این، فلزات سنگین می‌توانند از طریق رسوب در گرد و غبار جوی تجمع پیدا کنند و در مقیاس وسیعی منتشر شوند (۱۸). به‌دلیل اهمیت فلزات سنگین و تأثیر آنها بر محیط زیست و انسان، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری به فلزات سنگین موجود در گرد و غبار اختصاص داده شده است. صنایع و وسایل نقلیه به عنوان منبع اصلی تولید فلزات سنگین شهری می‌باشند و با ورود این آلاینده‌ها به هوا، اولین حلقه آلودگی ایجاد می‌شود و سپس این مواد می‌توانند از طریق فرونشست (خشک یا مرطوب) به‌طور مستقیم (استنشاق، بلع و تماس پوستی) و یا غیرمستقیم از طریق تجمع در خاک، نشست بر گیاه و در نهایت با مصرف محصولات گیاهی وارد زنجیره غذایی انسان شوند (۳۵). تأثیرات زیانبار فلزات سنگین بر سلامتی انسان از جهات مختلف به اثبات رسیده است و مواجهه با این دسته از آلاینده‌ها موجب مسمومیت‌های حاد و مزمن و همچنین بیماری های مختلف از جمله اختلالات عصبی، برهم خوردن تعادل هورمون‌ها، اختلالات تنفسی و قلبی، کاهش حافظه، انواع سرطان وسرانجام مرگ می‌شود (۳۷). سازمان بهداشت جهانی تخمین می‌زند که سالانه ۲/۴ میلیون نفر به‌دلیل آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند (۳۴).

فرونشست اتمسفری به‌عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که به‌موجب آن آلاینده‌های جوی به سطح محیط‌های خشکی و آبی انتقال داده می‌شوند. فرونشست اتمسفری معمولاً به صورت خشک یا مرطوب طبقه‌بندی می شود. با توجه به اثرات مخرب آلاینده‌ها روی محیط زیست، طی سال‌های اخیر توجه زیادی به فرونشست اتمسفری شده است (۱۰). از عمده‌ترین منابع ورود فلزات سنگین به خاک می‌توان به فرونشست اتمسفری، لجن فاضلاب، کود حیوانی، آهک، کودهای شیمیایی و آب آبیاری اشاره نمود (۳۵). لو و همکاران (۳۲) منابع ورود عناصر سنگین به خاک‌های کشاورزی منطقه‌ای از چین را بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که ۴۳ تا ۸۵٪ کل عناصر آرسنیک، کروم، جیوه، نیکل و سرب از طریق فرونشست جوی به خاک وارد می‌شود.

فرهمند کیا و همکاران (۷) به بررسی غلظت فلزات سنگین در فرونشست جوی شهر زنجان پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که منابع صنعتی منتشر کننده فلزات سنگین نقش مستقیمی در غلظت فلزات سنگین در ذرات ترسیب شده از هوا و آب باران، برف و تگرگ دارند. همچنین، گزارش کردند که همبستگی بالایی بین سرب و روی وجود دارد که به‌دلیل وجود معادن و صنایع وابسته به سرب و روی در این منطقه می‌باشد. آلودگی حاصل از فعالیت‌های صنعتی و معادن بسیار گسترده و خطرناک است. فعالیت‌های انسانی مانند ذوب فلزات و معادن، سهم زیادی در آلودگی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار دارند (۴۱). ورود بیش از اندازه فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها به محیط زیست از طریق فرونشست اتمسفری می‌تواند در چرخه بیوژئوشیمیایی اکوسیستم تأثیر نامطلوب گذارد (۵۱).

در مطالعات زیست محیطی جهت شناسایی منبع آلودگی موجود در رسوبات، خاک، گرد و غبار و آب، به‌طور گسترده از دو روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای استفاده می‌شود (۳۰). آلاینده‌های چون، احتراق سوخت‌های فسیلی، انتشارات ترافیکی و فرآیندهای صنعتی به‌عنوان منابع عمده آلودگی فلزات سنگین در اتمسفر مطرح می‌باشند (۳۳). تاکلی‌اگلو و کارتل (۴۷) طی تحقیقی غلظت فلزات کادمیم، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی را در ۲۹ نمونه گرد وغبار شهری در ترکیه به‌دست آوردند. نتایج نشان داد که عناصر مورد بررسی در این مطالعه، در سه گروه منشأ



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و نحوه توزیع نقاط نمونه‌برداری

فلزات سنگین صنعت، ترافیک و منابع طبیعی طبقه‌بندی می شوند که برا ساس تجزیه خو شه‌ای و مؤلفه ا صلی به دو خو شه تقسیم می شوند. بدین صورت که عنا صر مس، نیکل، کادمیم، کبالت، کروم و روی در ارتباط با صنعت و عناصر سرب و منگنز درارتباط با ترافیک و منابع طبیعی می‌باشند. لو و همکاران (۳۰) طی پژوهشی برروی منشأ فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شهری در بیوجی چین با استفاده از تجزیه خو شه‌ای و مؤلفه ا صلی، سه منبع ا صلی برای فلزات سنگین گرد و غبار مشخص کردند و گزارش نمودند که مس، منگنز و روی از فعالیت‌های صنعتی، کروم و نیکل از منابع طبیعی منشأ گرفته‌اند. مس و روی در اثر استهلاک قطعات خودرو مثل لاستیک‌ها، لنت‌ها و روغن موتور حاصل می‌شوند (۲۰). و از جمله منابع تولیدکننده نیکل، احتراق سوخت‌های فسیلی و روغن‌های مورد ا ستفاده در خودروها می‌باشند (۵۰).

با وجود اهمیت فرونشست اتمسفری به‌عنوان یک منبع مهم ورود عنا صر سنگین به خاک متأ سفانه اطلاعات منتشر شده‌ای درباره مقدار فرونشست اتمسفری عناصر سنگین در ا ستان کرمانشاه در د سترس نیست، با توجه به گزارش‌های پراکنده موجود در منابع مختلف، انتظار می‌رود که مقدار عناصری که از این طریق وارد خاک می‌شوند، به‌ویژه در مناطق صنعتی، قابل توجه با شد. این مطالعه به‌منظور برر سی غلظت فلزات سنگین در فرونشست اتمسفری و شنا سایی منابع احتمالی این فلزات با استفاده از آنالیزهایی چون ضریب همبستگی، خوشه‌ای و مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحتی برابر با ۲۵۰۰۸ کیلومترمربع در غرب کشور و بین طول‌های جغرافیایی ′۴۵°۲۴ تا ′۴۸°۷ شرقی و عرض‌های ′۳۳°۴۰ تا ′۳۵°۱۸ شمالی قرار گرفته و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام و از شرق به ا ستان همدان و از غرب با ۳۳۰ کیلومتر مرز مشترک با کشور عراق همسایه است. حداکثر و حداقل ارتفاع در این استان به‌ترتیب ۳۳۹۰ و ۱۸۰ متر می‌باشد. این استان از لحاظ تقسیمات کشوری به ۱۴ شهرستان تقسیم شده و دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک با جبهه‌های مرطوب مدیرانه‌ای است. متوسط میزان بارندگی و دمای سالیانه در سطح استان به‌ترتیب بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتی‌گراد ا ست. جهت وزش بادهای غالب استان غربی بوده، که همراه با نوساناتی در

شکل۲. تله مورد استفاده جهت نمونه‌گیری گرد و غبار

جهت شمال غرب و جنوب غربی است (۴). در این مطالعه شهرستان‌های کرمانشاه، سنقر، گیلان‌غرب، قصرشیرین، صحنه، سرپل‌ذهاب، کنگاور، پاوه و جوانرود با مساحت ۱۷۱۱۸ کیلومتر مربع به‌عنوان منطقه مطالعاتی بررسی شدند (شکل ۱).

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری گرد و غبار مجموعاً در ۴۹ نقطه مختلف استان کرمانشاه صورت گرفت. توزیع نقاط نمونه‌برداری به‌گونه‌ای درنظر گرفته شد که موقعیت‌های مختلف شهری (۳۵ سایت) و برون‌شهری (۱۴ سایت) را دربر بگیرد (شکل ۱). تله‌های رسوب‌گیر مورد استفاده جهت جمع‌آوری گرد و غبار، دارای قطر ۳۲ و عمق ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد (۴۶) که توسط یک ورقه پلاستیکی با مش ۲×۲ میلی‌متر پوشانده شده است و در ارتفاع ۳۳ سانتی‌متری از سطح پشت بام خانه‌ها ثابت نگه داشته شدند (شکل ۲). در شهر کرمانشاه ۹ تله و سایر شهرستان‌ها ۵ تله بر روی پشت‌بام خانه‌های یک‌طبقه‌ای (ارتفاع حدود ۴ متر از سطح زمین) با توزیع مناسب نصب گردید. براساس آمارهای طولانی مدت سازمان هواشناسی استان کرمانشاه بیشترین فراوانی وقوع ماهیانه گرد و غبار در اردیبهشت و خرداد می‌باشد که به‌عنوان ماه پیک گرد و غبار نیز تلقی می‌گردد (۶). همچنین به‌دلیل هزینه های بالای اقتصادی و عدم امکان جمع‌آوری نمونه‌های گرد و غبار در یک روز، نمونه‌برداری محدود به فصل بهار ۱۳۹۲ و به‌صورت یک بار در فصل انجام شد.

نمونه های گرد و غبار پس از جمع‌آوری با آب مقطر و انتقال به آزمایشگاه، در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد آون به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و سپس از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. ۰/۵ گرم نمونه گرد و غبار توزین و در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر ترکیب اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ (با نسبت ۳:۱) به نمونه‌ها اضافه گردید (۴۵). درب ارلن‌ها توسط ورقه آلومینیمی پوشیده شد و در دمای اتاق به‌مدت یک شب به‌حال خود رها گردید، سپس ورقه‌های آلومینیمی برداشته شده و درب ارلن‌ها توسط شیشه ساعت آزمایشگاهی پوشانده شد و به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ در داخل بالن ۵۰ میلی‌لیتری کاملاً صاف گردید و درنهایت با آب مقطر به حجم رسانده شد (۲۴ و ۴۵). غلظت کل عناصر روی، مس، نیکل، کروم، منگنز و آهن در عصاره‌های استخراج شده به کمک دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ تعیین شد.

آنالیزهای آماری چند متغیره

اکثر روش آماری مستلزم داشتن جامعه با توزیع نرمال هستند، در غیر این صورت فرضیات پایایی برقرار نخواهد بود و در فرآیند تخمین میزان خطا افزایش یافته و از اعتبار لازمه کم خواهد شد (۳). قبل از هر آنالیز آماری ابتدا تابعیت داده‌ها از توزیع نرمال بررسی شد و با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه با توجه به غیرنرمال بودن داده های مربوط به فلزات روی، مس، نیکل و کروم از تبدیل جانسون جهت نرمال کردن داده‌های این فلزات استفاده گردید. جهت توصیف نتایج و به‌دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار SPSS۱۶ و برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های دارای توزیع طبیعی از ضریب پیرسون استفاده شد.

جدول۱. طبقات مختلف فاکتور غنی‌شدگی

فاکتور غنی‌شدگی	میزان غنی‌شدگی
$EF < ۲$	کم
$۲ \le EF < ۵$	متوسط
$۵ \le EF < ۲۰$	قابل‌توجه
$۲۰ \le EF < ۴۰$	خیلی زیاد
$EF \ge ۴۰$	به‌شدت زیاد

آنالیز ضرایب همبستگی، آنالیز خوشه‌ای (Analysis Cluster) و آنالیز مؤلفه های اصلی (Principal Component Analysis) جهت شناسایی ارتباط بین آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار و منابع احتمالی آنها به‌کار گرفته شد. ضرایب همبستگی بیان کننده شدت ارتباط بین جفت عنصر آلوده کننده در نمونه‌های گرد و غبار بود. آنالیز خوشه‌ای جهت ارزیابی شباهت منابع عناصر در نمونه‌های گرد و غبار و آنالیز مؤلفه‌های اصلی جهت شناسایی منابع و تقسیم آنها به دو منبع طبیعی و انسانی مورد استفاده قرار گرفت.

هدف از آنالیز مؤلفه‌های اصلی آن است که واریانس موجود در داده‌های چند متغیره را به مؤلفه‌هایی تجزیه کند که اولین مؤلفه تا آن‌جایی‌که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده‌ها را توجیه کند و به‌تدریج مؤلفه‌های بعدی واریانس کمتری از تغییرات را توجیه کنند (۴۴). در این روش هر مؤلفه مستقل از مؤلفه‌های دیگر است. یعنی بین مؤلفه‌های حاصل هم‌بستگی وجود ندارد. جهت انتخاب مؤلفه‌های مهم، مؤلفه‌هایی که مقدار ارزش ویژه آنها از یک بیشتر بود انتخاب شدند (۲۳ و ۴۳). برای داشتن یک ساختار ساده و تفسیر بهتر نتایج آنالیز، چرخش داده‌ها از نوع واریماکس (Varimax rotation) صورت گرفت. به‌طوری‌که نقاط در یک امتداد بیشترین گسترش و کشیدگی را داشته باشد. در آنالیز خوشه‌ای، فاصله خوشه‌ها (۰ تا ۲۵) نشان‌دهنده درجه ارتباط بین متغیرها می‌باشد به‌گونه‌ای‌که فاصله کم بیانگر ارتباط قوی و فاصله زیاد بیانگر ارتباط ضعیف بین متغیرهاست.

فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor (EF))، در ابتدا برای ارزیابی عناصر در جو، بارش یا آب دریا استفاده می‌شد، اما به‌تدریج برای مطالعه خاک، رسوبات و سایر موارد زیست محیطی توسعه یافت (۴۰). غنی‌شدگی فلزات در گرد و غبار برای تعیین منابع احتمالی طبیعی یا انسانی به‌کار می‌رود (۵۰) و بیان کننده درجه آلودگی فلزات سنگین درگرد و غبار می‌باشد. فاکتور غنی شدگی یک فلز با استفاده از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$EF=\frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)Sample}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)background} \quad [۱]$$

در این فرمول $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)Sample$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه و $\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)background$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا در مقادیر زمینه می‌باشد. در جدول (۱) مقادیر فاکتور غنی شدگی در پنج گروه طبقه‌بندی شده است (۲۵ و ۵۳).

نتایج و بحث

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار در جدول (۲) خلاصه شده است. ترتیب میانگین غلظت عناصر در گرد و غبار اتمسفری کل منطقه مطالعاتی در طول دوره نمونه‌برداری به‌صورت آهن > منگنز > روی > نیکل > کروم > مس می‌باشد. بالاترین غلظت فلزات روی و مس در نمونه‌های گرد و غبار استان در سایت‌های شهری با ترافیک بالا و نیز مناطق صنعتی یافت شد، در حالی که کمترین غلظت این فلزات در مناطق برون‌شهری با ترافیک پایین و غیرصنعتی یافت شد. محمودی (۸) در بررسی گرد و غبار اتمسفری اصفهان، مهم‌ترین منابع تولید فلزات روی، سرب و کادمیم را آلودگی حاصل از وسایل نقلیه، مس و نیکل را مرتبط با ترافیک و منگنز را مرتبط با فعالیت‌های صنایع ذوب آهن و فولاد مبارکه گزارش کرد. جعفری (۲) در بررسی گرد و غبار اتمسفری کرمان بیان نمود که فلزات مس، روی و سرب عمدتاً از منابع صنعتی و

جدول۲. توصیف آماری غلظت کل فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گرد و غبارمنطقه مطالعاتی استان کرمانشاه (۴۹ نمونه گرد و غبار)

عنصر		کرمانشاه	سنقر	گیلان‌غرب	قصر شیرین	صحنه	سرپل ذهاب	کنگاور	پاوه	جوانرود	کل منطقه مطالعاتی
روی	کمینه	۱۲۲	۸۸	۱۱۳	۱۱۴	۱۴۶	۱۲۲	۱۱۹	۱۱۴	۱۱۸	۸۸
	میانگین	۲۹۹/۱	۱۳۳/۲	۱۴۰/۸	۱۲۷/۳	۲۱۸	۱۶۶	۱۶۹	۱۵۳/۲	۱۴۰/۶	۱۸۲/۳
	بیشینه	۴۹۰	۲۰۰	۱۸۴	۱۳۶	۳۲۸	۲۸۵	۲۲۲	۲۰۸	۱۷۸	۴۹۰
	انحراف معیار	۱۳۶/۸	۴۱/۹	۳۶/۸	۸/۹	۸۰	۶۸/۸	۴۱/۶	۳۷/۳	۲۳/۶	۹۱/۵
	چولگی										۱/۹
مس	کمینه	۴۵	۳۸	۳۹	۴۴	۳۵	۳۸	۳۸	۴۹	۴۳	۳۵
	میانگین	۵۳/۷	۴۳/۲	۴۶/۲	۴۴/۵	۶۱/۲	۴۰	۴۳/۳	۵۳/۶	۴۷/۶	۴۸/۶
	بیشینه	۶۴	۵۲	۶۰	۴۵	۱۱۰	۴۴	۴۸	۶۵	۵۲	۱۱۰
	انحراف معیار	۶/۳	۵/۵	۹/۱	۰/۵	۲۹/۴	۲/۳	۳/۷	۶/۵	۳/۹	۱۱/۶
	چولگی										۳/۳
نیکل	کمینه	۱۱۴/۲	۷۲/۲	۸۴/۲	۹۷/۲	۸۴/۲	۸۲/۲	۸۳/۲	۶۹/۲	۸۷/۲	۶۹/۲
	میانگین	۱۶۱/۲	۸۳/۸	۱۰۷/۸	۱۰۲/۷	۱۵۴/۴	۹۴/۲	۹۰/۲	۹۱	۱۱۶	۱۱۵/۳
	بیشینه	۱۹۰/۲	۸۸/۲	۱۵۲/۲	۱۰۹/۲	۲۳۸/۲	۱۰۲/۲	۹۷/۲	۹۸/۲	۱۴۴/۲	۲۳۸/۲
	انحراف معیار	۲۲/۸	۶/۸	۲۵/۹	۴/۸	۵۵/۶	۷/۵	۵/۱	۱۲/۴	۲۱	۳۶/۳
	چولگی										۱/۳
کروم	کمینه	۷۹	۴۴	۶۲	۵۴	۵۷	۴۷	۶۵	۵۸	۶۳	۴۴
	میانگین	۱۰۳/۶	۶۱/۲	۶۸	۶۶/۳	۷۶/۶	۵۸/۵	۶۷	۶۲/۸	۷۷/۲	۷۳/۹
	بیشینه	۱۱۹	۷۵	۸۰	۷۷	۸۶	۶۳	۷۰	۷۰	۹۸	۱۱۹
	انحراف معیار	۱۲/۶	۱۲/۲	۷/۴	۹/۵	۱۱/۵	۶/۷	۲/۱	۵/۴	۱۲/۸	۱۷/۸
	چولگی										۰/۹
منگنز	کمینه	۳۹۴	۴۲۰	۳۵۲	۴۱۲	۳۹۴	۳۴۵	۴۱۱	۴۵۷	۴۴۰	۳۴۵
	میانگین	۴۱۷/۷	۴۵۱/۸	۴۲۱/۲	۴۲۱/۸	۴۱۵/۲	۳۸۵/۵	۴۲۴	۴۶۹	۴۵۴/۸	۴۲۸/۱
	بیشینه	۴۸۰	۴۸۳	۴۹۵	۴۳۲	۴۴۵	۴۰۸	۴۳۳	۴۸۸	۴۸۴	۴۹۵
	انحراف معیار	۲۷/۱	۲۳/۵	۵۱	۸/۱	۱۹/۷	۲۴/۹	۸/۵	۱۲/۸	۱۷/۳	۳۲/۶
	چولگی										-۰/۰۵
آهن	کمینه	۱۹۴۰۰	۲۲۱۵۰	۲۰۵۵۰	۲۰۰۰۰	۱۷۷۰۰	۱۳۱۵۰	۲۴۰۰۰	۱۹۵۰۰	۱۹۷۰۰	۱۳۱۵۰
	میانگین	۲۳۳۰۶	۲۵۱۴۰	۲۴۶۹۰	۲۲۱۰۰	۲۳۲۸۰	۱۹۴۸۸	۲۴۶۶۳	۲۳۷۸۰	۲۱۸۹۰	۲۳۱۶۱
	بیشینه	۲۷۲۵۰	۲۸۸۰۰	۳۱۶۵۰	۲۴۳۵۰	۲۶۸۵۰	۲۲۲۰۰	۲۵۴۰۰	۳۳۱۵۰	۲۴۹۵۰	۳۳۱۵۰
	انحراف معیار	۲۴۵۷	۲۵۴۴	۴۱۴۵	۱۵۴۰	۳۴۴۸	۳۶۷۸	۵۰۴	۵۴۳۷	۲۱۷۱	۳۲۸۵
	چولگی										۰/۳

ترافیکی مشتق شده‌اند و نیکل و کروم از منابع طبیعی سرچشمه گرفته‌اند. پژوهشگران منبع روی و مس در گرد و غبار را سایش تایر و خوردگی قطعات فلزی از اتومبیل‌ها و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از روان‌کننده‌ها، صنایع و سوزاندن ضایعات زباله‌ای گزارش کردند (۱۳، ۱۵ و ۲۲). موقعیت‌های نزدیک جاده به‌شدت به‌وسیله فلزات سنگین ناشی از ترافیک مانند روی و مس آلوده می‌باشند (۱۳). همچنین فلزات روی و مس تحت تأثیر انتشارات ترافیکی از قبیل پارگی و سایش تایر اتومبیل‌ها قرار دارند (۱). بیشترین غلظت نیکل و کروم در مناطق صنعتی و مناطق با ترافیک بالا و کمترین غلظت در مناطق برون شهری غیر صنعتی با حجم ترافیک پایین مشاهده شد. احمد و اسهیگا (۱۱) گزارش نمودند که نیکل عمدتاً از منابع صنعتی سرچشمه گرفته است. وی و همکاران (۵۰) طی تحقیقی منبع اصلی نیکل را ترافیک، صنعت و انتشار احتراق زغال سنگ بیان کردند. همچنین آنها دریافتند که انتشارات ترافیکی ممکن است منبع عمده آلودگی برای روی، مس و کروم باشد، درحالی‌که کروم نیز ممکن است از ترکیب منابع ترافیکی و صنعتی منشأ گرفته باشد. همچنین مس از استهلاک عایق ترمز اتومبیل (۳۸) و احتراق مواد نفتی و نیکل از سوخت‌های فسیلی به محیط آزاد می‌گردد (۴۹).

باتوجه به نتایج حاصله بالاترین غلظت فلزات روی وکروم در فرونشست اتمسفری مربوط به شهرستان کرمانشاه، مس و نیکل مربوط به شهرستان صحنه و منگنز، آهن به‌ترتیب مربوط به شهرستان‌های گیلان غرب و پاوه است. بالا بودن غلظت فلزات روی و کروم در شهرستان کرمانشاه به احتمال زیاد می‌تواند ناشی از فعالیت‌های صنعتی و ترافیک شهری باشد. از طرفی وجود کارخانجات صنعتی و نیروگاه‌ها در حد فاصل شهرستان کرمانشاه با شهرستان صحنه، در بالا رفتن غلظت فلزات سنگین در شهرستان صحنه مؤثر بوده است که می‌توان عامل آن را جهت بادهای غالب غربی استان کرمانشاه دانست. از طرفی ذرات گرد و غبار عموماً از ذرات ریز در اندازه سیلت و رس تشکیل شده‌اند و به‌سبب سطح ویژه بالای آنها و همچنین تمایل فلزات سنگین برای جذب سطحی کانی‌های رسی (۱۶) قادرند مقادیر بالایی از فلزات سنگین را انتقال دهند. طی تحقیقی در هند بیان شد که غلظت عناصر در گرد و غبار تحت تأثیر فاکتورهای هواشناسی، شرایط جغرافیایی و منابع تولید ذرات مانند منابع صنعتی، ترافیک، فعالیت های کشاورزی و منابع طبیعی تولید گرد و غبار می‌باشد (۴۸).

نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار استان کرمانشاه با سایر نقاط ایران و جهان و همچنین ارزش زمینه خاک‌های جهان در جدول (۳) نشان داد که غلظت فلزات نیکل و کروم در گرد و غبار منطقه مطالعاتی مقادیر بیشتری را نسبت به سایر مناطق و خاک‌های جهان نشان می‌دهند که نگرانی را در مورد میزان بالای این آلاینده‌ها در گرد و غبار استان افزایش می‌دهد. درحالی‌که غلظت فلزات روی و مس نسبت به سایر نقاط کمتر و بیشتر از خاک‌های جهان می‌باشد و نشان از آلودگی کمتر این فلزات نسبت به سایر نقاط دارد. غلظت منگنز کمی بالاتر و نزدیک به خاک‌های جهان و همچنین بالاتر از مادرید و امان و از اصفهان، تهران و اتاوا پایین‌تر می‌باشد. غلظت آهن کمتر از خاک‌های جهان، تهران و اتاوا و بیشتر از اصفهان، امان و مادرید است. بالا بودن غلظت فلزات روی، مس، نیکل و کروم در گرد و غبار استان کرمانشاه نسبت به خاک‌های جهان می‌تواند نشان دهنده منشأ احتمالی انسانی این فلزات باشد. این نشان می‌دهد که این عناصر می‌توانند با انباشت در سطح خاک، خاک‌های کشاورزی استان را طی سال‌های آینده با مشکل جدی آلودگی همراه کنند و سبب برهم‌زدن توازن عناصر در خاک شوند. همچنین با انتقال به چرخه غذایی و جذب این عناصر توسط انسان، سلامت افراد جامعه به‌ویژه کودکان و سالمندان را در معرض خطر قرار دهند.

این در حالی‌است‌که پایین و نزدیک بودن غلظت فلزات آهن و منگنز نسبت به خاک‌های جهان نشان از منشأ طبیعی

جدول۳. متوسط غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در گرد و غبار منطقه مطالعاتی و سایر مکان‌های مطالعه شده

منطقه	روی	مس	نیکل	کروم	منگنز	آهن	منبع
کرمانشاه	۱۸۲/۳	۴۸/۶	۱۱۵/۳	۷۳/۹	۴۲۸/۱	۲۳۱۶۱	مطالعه حاضر
اصفهان	۴۷۰/۳	۷۱	۸۲/۲	۲۴/۴	۵۴۰	۴۵۲۶	(۸)
تهران	۸۷۳/۲	۲۲۵/۳	۳۴/۸	۳۳/۵	۱۲۱۴/۵	۴۷۹۳۵/۷	(۴۲)
امان	۴۰۱	۲۴۹/۶	۱۶/۳	۱۸/۳	۱۴۴/۶	۵۳۷۰/۶	(۲۱)
مادرید	۴۷۶	۱۸۸	۴۴	۶۱	۳۶۲	۱۹۳۰۰	(۱۷)
اتاوا	۱۸۴	۱۸۸	۱۹	۵۹	۵۳۴	۲۵۶۶۰	(۳۹)
خاک‌های جهان	۶۲	۱۴	۱۸	۴۲	۴۱۸	۴۷۰۰۰	(۱۴)

این فلزات دارد. در این تحقیق غلظت بالای فلزات سنگین فرونشست اتمسفری منعکس کننده ورود انسانی این فلزات در نتیجه رشد سریع صنعتی شدن و گسترش شهری است.

سلمان‌زاده و همکاران (۵) طی تحقیقاتی در مورد آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران گزارش نمودند که غلظت فلزات مس، کادمیم، سرب و روی به‌طور قابل توجهی بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در پوسته زمین است که نشان از منشأ احتمالی انسانی این فلزات دارد. همچنین آنها بیان نمودند که آلودگی می‌تواند ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی از جمله ترافیک سنگین خودروها، احتراق سوخت‌های فسیلی، مواد افزودنی به سوخت خودروها، خوردگی سطوح فلزی اتومبیل‌ها و مصالح ساختمانی باشد.

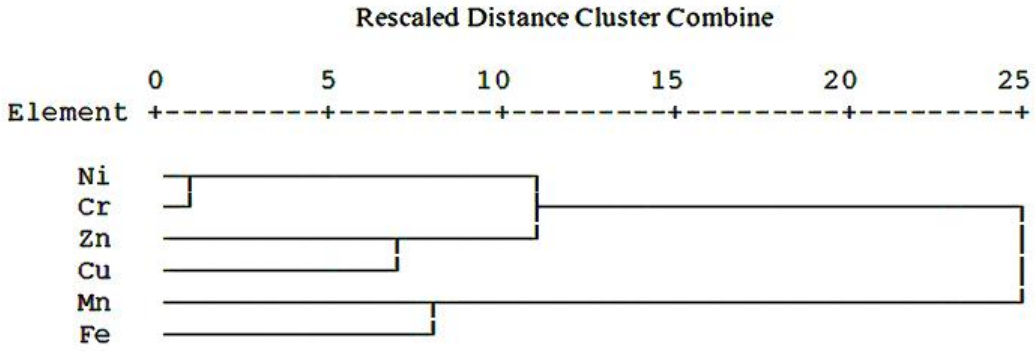
نتایج حاصل از آنالیز همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات در جدول (۴) نشان داد که بین عناصرروی- مس- نیکل- کروم و منگنز- آهن همبستگی بالایی در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً این دو گروه از فلزات، از دو منبع متفاوت منشأ می‌گیرند. همبستگی بالا بین عناصر روی، مس، نیکل و کروم نشان می‌دهد که این عناصر احتمالاً از منبع انسانی سرچشمه می‌گیرند. وجود همبستگی مثبت و قابل توجه بین کروم- نیکل و مس- روی می‌تواند نشان‌دهنده وجود منابع متفاوت انسانی برای این دو جفت عناصر باشد. عدم همبستگی منگنز با عناصر روی، مس، نیکل و کروم و همچنین عدم همبستگی آهن با روی، مس و نیکل و همبستگی متوسط آن با کروم نشان می‌دهد که این دو فلز احتمالاً منشأ طبیعی دارند. بنابراین می‌توان استنباط کرد که منابع عمده برای فلزات مطالعه شده به‌جز برای آهن و منگنز انسان زاد است.

نتایج حاصل از دندروگرام متغیرهای مورد بررسی به‌روش آنالیز خوشه‌ای در شکل (۳)، سه خوشه: ۱. نیکل-کروم ۲. روی- مس ۳. منگنز- آهن را نشان داد. با توجه به این شکل می‌توان منابع انتشار احتمالی آلاینده‌ها را به دو دسته اصلی A و B تقسیم کرد. دو خوشه اول و دوم در فاصله دورتری به‌هم پیوستند و دسته اصلی A را تشکیل دادند که می‌تواند نشان‌دهنده منابع متفاوت انسانی برای این عناصر باشد. خوشه سوم به‌تنهایی دسته اصلی B را تشکیل داد که با توجه به‌ضریب همبستگی ضعیفی که با عناصر خوشه A دارد می‌توان گفت منبع انتشار این دو فلز سنگین عمدتاً طبیعی است. اردونز و همکاران (۳۶) طی بررسی منابع انتشار ۲۷ فلز به گرد و غبار خیابانی و خاک در اسپانیا با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، سه منبع: منابع طبیعی، منابع انسانی و یا

جدول۴. ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در گرد و غبار منطقه مطالعاتی (۴۹ نمونه)

همبستگی	روی	مس	نیکل	کروم	منگنز	آهن
روی	۱					
مس	۰/۵۵۳**	۱				
نیکل	۰/۵۵۴**	۰/۴۶۴**	۱			
کروم	۰/۶۰۴**	۰/۵۲۱**	۰/۸۲۰**	۱		
منگنز	−۰/۱۲۴ ns	۰/۲۳۲ ns	−۰/۰۳۷ ns	۰/۰۶۷ ns	۱	
آهن	۰/۱۹۰ ns	۰/۲۷۸ ns	۰/۲۷۴ ns	۰/۴۲۰**	۰/۵۱۹**	۱

ns، **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ٪ ۱



شکل۳. دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار منطقه مطالعاتی کرمانشاه

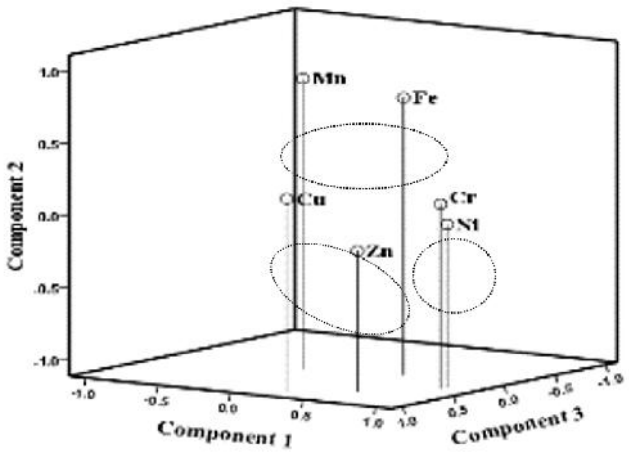
ترکیبی از این دو را به‌عنوان منبع فلزات بیان نمودند.

نتایج حاصل از آنایز مؤلفه‌های اصلی (جدول ۵) بر روی داده‌های فلزات سنگین مورد مطالعه (در ۴۹ نمونه گرد و غبار منطقه مطالعاتی) براساس فرض درنظر گرفته شده (ارزش ویژه بالای ۱)، منجر به ایجاد سه مؤلفه اصلی گردید و بقیه مؤلفه‌ها در نظر گرفته نشد. در این جدول نتایج برای مؤلفه‌های اصلی ۱، ۲ و ۳ به همراه بار عامل (بردار ویژه) هر متغیر ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد که مؤلفه‌های اول، دوم و سوم حدود ۸۵٪ از کل تغییرپذیری را توجیه کرده‌اند. جهت انتخاب ویژگی‌های مهم برای تفسیر هر مؤلفه بارهای عاملی بزرگ‌تر از ۰/۶ به صورت بولد شده استخراج شدند. بار عامل در حقیقت ارتباط بین متغیرها با هریک از مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. مؤلفه اول شامل نیکل و کروم ۳۵/۵٪ از کل تغییر پذیری، مؤلفه دوم شامل روی و مس ۲۶/۱٪ از کل تغییرپذیری و مؤلفه سوم شامل آهن و منگنز ۲۳/۳٪ از کل تغییرپذیری را توجیه کرده‌اند. نتایج حاصل نشان داد که مؤلفه اول از یک منبع مشترک انسانی که به احتمال زیاد ناشی از فعالیت‌های ترافیکی و به‌میزان کمتر صنعتی است منشأ گرفته و مؤلفه دوم نیز همانند مؤلفه اول از یک منبع انسانی ولی با منشأ عمدتاً صنعتی به‌همراه منابع ترافیکی مشتق شده در حالی‌که مؤلفه سوم با توجه به‌میزان بالای آنها در پوسته زمین، غلظت پایین و نزدیک به خاک‌های جهان و همچنین همبستگی قابل توجهی که با یکدیگر دارند منشأ طبیعی دارد. نمودار پراکنش این متغیرها در شکل (۴) نیز این موضوع را نشان داده است.

جعفری (۲) طی بررسی گرد و غبار اتمسفری کرمان بااستفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، دو منبع: منابع طبیعی برای نیکل و منگنز و منابع انسانی برای روی، مس و سرب را به‌عنوان منبع این فلزات گزارش کرد. سلمان‌زاده و همکاران (۵) پس از بررسی منابع گرد و غبار

جدول۵. ماتریس فاکتورهای چرخیده شده برای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار منطقه مطالعاتی کرمانشاه براساس تجزیه مؤلفه اصلی

عناصر	مؤلفه‌ها		
	۱	۲	۳
روی	۰/۵۵۷	-۰/۱۴۲	**۰/۶۵۳**
مس	۰/۲۳۷	۰/۲۲۱	**۰/۸۹۵**
نیکل	**۰/۸۸۹**	۰/۰۱۶	۰/۲۴۴
کروم	**۰/۸۸۱**	۰/۱۶۳	۰/۲۹۷
منگنز	-۰/۱۷۶	**۰/۹۰۴**	۰/۱۴۶
آهن	۰/۴۰۹	**۰/۸۰۸**	-۰/۰۱۲
ارزش ویژه	۲/۱۳	۱/۵۶	۱/۳۹
واریانس توجیه شده (٪)	۳۵/۵	۲۶/۱	۲۳/۳
واریانس تجمعی (٪)	۳۵/۵	۶۱/۶	۸۴/۹



شکل۴. نمودار پراکنش مؤلفه‌ها برای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار منطقه مطالعاتی کرمانشاه

خیابانی تهران به‌روش مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، گزارش کردند که مس، سرب، کروم، نیکل، آهن و روی در ارتباط با فعالیت‌های انسانی می‌باشند، در حالی‌که منگنز و لیتیم به‌طور عمده توسط منابع طبیعی کنترل می‌شوند.

از آن جایی که مطالعه آلودگی گرد و غبار برای اولین بار است در استان کرمانشاه صورت می‌گیرد و همچنین هیچ گزارشی از غلظت‌های زمینه فلزات سنگین برای این استان وجود ندارد. بنابراین، در این مطالعه غلظت فلزات خاک های جهان به‌عنوان غلظت زمینه برای محاسبه EF استفاده شد (۲۶، ۲۷ و ۲۸). همان‌گونه که در معادله ۱ نشان داده شد به مقادیری چون غلظت زمینه و فلز مبنا مورد نیاز است. فلز مبنا در تعیین فاکتور غنی شدگی، عنصری است که منشأ کاملاً زمین شناسی داشته باشد. در تحقیقات زیست محیطی معمولاً از Zr، Ti، Fe، Al و Sc به‌عنوان فلزات مبنا استفاده می شود (۹ و ۱۹). در این مطالعه از آهن به‌عنوان فلز مبنا برای نرمال‌سازی محاسبات استفاده گردید (۱۲ و ۳۱)، زیرا این فلز میزان بیشتری را در پوسته زمین دارد (۱۲) و سهم منابع انسانی برای ایجاد آن در اتمسفر ناچیز است (۵۲) و به‌طور عمده از منابع طبیعی ناشی

جدول٦. توصیف آماری فاکتور غنی‌شدگی برای نمونه‌های گرد و غبار منطقه مطالعاتی

فاکتور غنی‌شدگی (EF)	فلز مبنا (آهن)				
	میانگین	بیشینه	کمینه	میانه	انحراف معیار
روی	۶/۰۷	۱۶/۴۳	۳/۰۱	۴/۸۴	۳/۲
مس	۷/۱۳	۱۳/۷۵	۴/۷۸	۶/۸۵	۱/۷
نیکل	۱۳/۱۰	۲۶/۰۲	۷/۵۴	۱۲/۱۳	۳/۹
کروم	۳/۵۹	۵/۷۴	۲/۲۲	۳/۳۶	۰/۸
منگنز	۲/۱۱	۲/۹۵	۱/۶۵	۲/۰۲	۰/۳

می‌شود (۵) که نتایج آن در جدول (۶) گزارش شده است.

اطلاعات موجود در جدول ۶ نشـــان می‌دهد که بیشـــترین احتمال خطر ناشـــی از فلزات ســـنگین نمونه‌های گرد و غبار منطقه مطالعاتی کرمانشـــاه، به‌ترتیب مربوط به نیکل > مس > روی > کروم > منگنز می باشـــد. مقادیر بالای این فاکتور نشان‌دهنده غنی شدگی و خطرات احتمالی فلز می‌باشد. میانگین فاکتور غنی سازی برای فلزات روی، مس، نیکل و کروم بالاتر از ۳ می‌باشـد در حالی‌که برای فلز منگنز کمتر از ۳ اسـت. بیشـینه فاکتور غنی‌ســـازی برای فلزات روی، مس و نیکل بالاتر از ۱۰ می‌باشـد که نشـان می‌دهد این فلزات در گرد و غبار اتمسـفری ا ستان کرماز شاه عمدتاً از منابع از سانی منشأ گرفته‌اند (۲۹). از ســـوی‌دیگر، مقادیر فلزات روی، مس، نیکل و کروم در گرد و غبار اســـتان کرمانشـــاه بالاتر از مقادیر این فلزات در خاک‌های جهان (جدول ۳) می‌باشـــد که نشـــان می‌دهد منابع این فلزات عمدتاً انسـانی اسـت. باتوجه به طبقات مختلف غنی‌شـدگی در جدول ۱، میانگین فاکتور غنی‌شـــدگی برای کروم و منگنز بین رنج ۲-۵ قرار دارد که نشـان از میزان غنی‌شـدگی متوسـط این فلزات دارد، در حالی‌که برای فلزات روی، مس و نیکل بین رنج ۵-۲۰ قرار دارد که بیان کننده میزان غنی‌شـــدگی قابل‌توجه در این فلزات اســـت. به‌عبارت دیگر، گرد و غبار منطقه مطالعاتی اســـتان کرمانشـــاه نســـبت به فلزات روی، مس ونیکل آلودگی قابل‌توجهی داشـــته و نســـبت به کروم و منگنز دارای آلودگی متوسـطی اسـت. محمودی (۸) طی تحقیقی برروی گرد و غبار اصـــفهان گزارش کرد که ســـرب و روی در گروه فلزاتی قرار می‌گیرند که تا حد قابل ملاحظه‌ای توســـط فعالیت انســـان‌ها به اتمسفر وارد می‌شوند. در حالی‌که مس، کبالت و کادمیم براساس دسـته‌بندی EF به‌طور متوسـط تحت تأثیر فعالیت انسـانی قرار دارد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که فاکتور غنی‌سازی در این مطالعه می‌تواند ابزاری منا سب برای شنا سایی منابع طبیعی از ان سانی باشد (۳۱ و ۵۳).

نتیجه‌گیری

میانگین غلظت فلزات سـنگین در گرد و غبار اتمسـفری اسـتان کرمانشـــاه به‌جز برای آهن و منگنز بالاتر از غلظت خاک‌های جهان اسـت، براین اسـاس فلزات سـنگین در دوگروه اصـلی با منشأ انسانی و طبیعی قرار گرفتند. دلیل این امر ریز بـودن ذرات گـرد و غبـار نـسبت بـه خـاک و غنـی شـدن ذرات گـرد و غبـار در طـول حضورشان در اتمسفر به‌وسیله فلزات سـنگین موجـــود در جـــو است. همچنین براساس آنالیزهای آماری، فلزات ســـنگین موجود در گرد و غبار با توجه به منابع ایجاد کننده آنها در سـه گروه طبقه‌بندی شـدند. روی و مس عمدتاً از منابع ترافیکی و تا حدودی صـــنعتی، نیکل و کروم عمدتاً از فعالیت های صـــنعتی، فرآیندهای احتراق و تا حدودی منابع ترافیکی و درنهایت آهن و منگنز عمدتاً از منابع طبیعی منشـــأ گرفته‌اند. نتایج محاسبه فاکتور غنی‌سازی نیز نشان داد که فلزات روی، مس و نیکل (به‌ویژه نیکل) دارای غنی‌ســازی قابل‌توجه و کروم و منگنز دارای غنی سازی متوسط است، به‌جز منگنز سایر فلزات عمدتاً از منابع انسانی نظیر فعالیت‌های ترافیکی و صنعتی

سرچشمه گرفته‌اند. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که منابع صنعتی و ترافیکی منتشر کننده عناصر سنگین، نقش مستقیمی در غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار اتمسفری دارند. از ذرات رسوب شونده گرد و غبار می‌توان به‌عنوان شاخص آلودگی هوا به فلزات سنگین استفاده نمود و با شناسایی منابع تولید از گسترش فلزات سنگین جلوگیری و آن را کنترل نمود. باتوجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت وضعیت گرد و غبار اتمسفری در منطقه مورد مطالعه از نظر غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در وضعیت خطرناکی قرار داشته و با در نظر داشتن اثرات منفی این پدیده بر سلامت انسان‌ها و نیز بالا رفتن جمعیت روز افزون شهر نشینی، این منطقه نیازمند توجه ویژه و فوری در این زمینه است. همچنین با توجه به منشأ انسانی فلزات سنگین، لازم است با مدیریت مناسب و شناسایی منابع احتمالی شرایط را برای کاهش منابع آلاینده فراهم نمود.

منابع مورد استفاده

۱. تائبی، ا.، س. سامانی مجد و س. م. ابطحی. ۱۳۸۶. ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیم در خاک حاشیه خیابان‌های شهری. پژوهشنامه حمل و نقل ۳: ۲۰۵-۱۹۵.

۲. جعفری، ف. ۱۳۹۲. نرخ ترسیب و مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی رسی گرد و غبار اتمسفری شهر کرمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. حسنی پاک، ع. ا و م. شرف‌الدین. ۱۳۸۰. *تحلیل داده‌های اکتشافی*. انتشارات دانشگاه تهران .

۴. دفتر آمار و اطلاعات. ۱۳۹۲. سالنامه آماری استان کرمانشاه، استانداری کرمانشاه.

۵. سلمان‌زاده، م.، م. سعیدی و غ. نبی‌بیدهندی. ۱۳۹۱. آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران و ارزیابی زیست اکولوژی آنها. مجله محیط‌شناسی ۶۱: ۱۸-۹.

۶. شمشیری، س. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌های مودیس (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. فرهمندکیا، ز.، م. ر. مهرا سبی، م. ص. سخاوت‌جو، ا. ش. حسنعلی‌زاده مظهر و ز. رمضان‌زاده. ۱۳۸۸. بررسی فلزات سنگین در ذرات راسب شونده از هوای شهر زنجا. مجله سلامت و محیط ایران. ۲: ۲۴۹-۲۴۰.

۸. محمودی، ز. ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی و کانی شناسی گرد و غبار اتمسفری اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

9. Abrahim, G. M. S. and R. J. Parker. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ. Monit. Assess. 136: 227-238.

10. Acosta, J. A., A. Faz, S. Martinez-Ramirez and J. Beach. 2009. Atmospheric deposition of heavy metals in soil affected by different soil uses of southern Spain. In EGU General Assembly Conference Abstracts. 11: 11993.

11. Ahmed, F. and H. Ishiga. 2006. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. Atmos. Environ. 40: 3835-3844.

12. Al Bakain, R. Z., Q. M. Jaradat and K. A. Momani. 2012. Indoor and outdoor heavy metals evaluation in kindergartens in amman, Jordan. Jordan. J. Physics. 1: 43-52.

13. Al-Khashman, O. A. 2004. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. Atmos. Environ. 38: 6803-6812.

14. Alloway, B. 2010. Heavy Metals in Soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability, third ed. Springer publications, p. 614.

15. Arslan, H. 2001. Heavy metals in street dust in Bursa, Turkey. J. Trace Microprobe Tech. 19: 439-445.

16. Ashokkumar, S., A. Mayavu, P. Manivasagam and G. Rajaram. 2009. Seasonal distribution of heavy metals in the

Mullipallam Creek of Muthupettai Mangroves. American-Eurasian. J. Sci. Res. 4: 308-312.
17. De Miguel, E., J. F. Llamas, E. Chacon, T. Berg, S. Larssen, O. Royset and V. Marit. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. Atmos. Environ. 31: 2733-2740.
18. Duong, T. T. T. and B. K. Lee. 2011. Determining contamination level of heavy metals in rod dust from busy traffic areas with different characteristics. J. Environ. Manage. 92: 554-562.
19. Eby, G. N. 2004. Principle of environmental geochemistry. Thompson. 515.
20. Gui, Y. J., Y. G. Zhu, R. H. Zhai, D. Y. Chen, Y. Z. Huange, Y, Qui and J. Z. Liang. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. Environ. Pollut. 30: 758-791.
21. Jiries, A. 2003. Vehicular contamination of dust in Amman, Jordan. Environmentalist. 23: 205–210.
22. Jiries, A., H. Hussein and Z. Halaseh. 2001. The quality of water and sediments of street runoff in Amman, Jordan. Hydrological Processes, 15: 815-824.
23. Kaiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educ. Psychol. Meas. 20: 141-151.
24. Karimi, N., S. M. Ghaderian, H. Maroofi and H. Schat. 2009. Analysis of arsenic in soil and vegetation of a contaminated area in Zarshuran, Iran. Int. J. Phytorem. 12: 159-173.
25. Kartal, Ş., Z. Aydın and Ş. Tokalıoğlu. 2006. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. J. Hazard. Mater. 132: 80-89.
26. Keshavarzi, B., Z. Tazarvi, M. A. Rajabzadeh and A Najmeddin. 2015. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. Atmos. Environ. 119: 1-10.
27. Li, H. and X. J. Zuo. 2013. Speciation and size distribution of copper and zinc in urban road runoff. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 90: 471-476.
28. Liu, E., T. Yan, G. Birch and Y. Zhu. 2014. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. Sci. Total. Environ. 476: 522-531.
29. Liu, Q. T., M. L. Diamond, S. E. Gingrich, J. M. Ondov, P. Maciejczyk and G. A. Stern. 2003. Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. Environ. Pollut. 122: 51-61.
30. Lu, X., L. Wang, L. Y. Li, K. Lei, L. Huang and D. Kang. 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 173: 744-749.
31. Lu, X., L. Wang, K. Lei, J. Huang and Y. Zhai. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 161: 1058-1062.
32. Luo, L., Y. Ma, S. Zhang, D. Wei and Y. Zhu. 2009. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in Chain. J. Environ. Manage. 90: 2524-2530.
33. Meza-Figueroa, D., M. De la O-Villanueva and M. L. De la Parra. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. Atmos. Environ. 41: 276-288.
34. Mukai, H. and M. Suzuki. 1996. Using air trajectories to analyze the seasonal variation of aerosols transported to the Oki islands. Atmos. Environ. 30: 3917-3934.
35. Nicholson, F. A., S. R. Smith, B. J. Alloway, C. Carlton-Smith and B. J. Chambers. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. Sci. Total. Environ. 311: 205-219.
36. Ordonez, A., J. Loredo, E. Demiquel and S. Charlesworth. 2003. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in northern Spain. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 44: 160-170.
37. Pathak, A. K., S. Yadav, P. Kumar and R. Kumar. 2013. Source apportionment and spatial-temporal variation in the metal content of surface dust collected from an industrial area adjoining Dehli, India. Sci. Total. Environ. 443: 662-672.
38. Preciado, H. F. and L.Y. Li. 2006. Evaluation of metal loadings and bioavability in air, water and soil along two highways of British Columbia, Canada. Water, Air. Soil. Pollut. 172: 81-108.
39. Rasmussen, P. E., K. S. Subramanian and B. J. Jessiman. 2001. A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa. Canada, Sci. Total. Environ. 267: 125-140.
40. Reimann, C. and P. Decaritat. 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic source for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factor. Sci. Total. Environ. 337: 91-107.
41. Rodriguez Martin, L., E. Ruiz, J. Alonso-Azcarate and J. Rincon. 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain. J. Environ. Manage. 90: 1106-1116.
42. Saeedi, M,. Y. Li. Loretta and M. Salmanzadeh. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran, Iran. J. Hazard. Mater. 227: 9-17.
43. Sharma, S. 1996. Applied Multivariate Techniques. John Wiley and Sons Pub., New York.
44. Shukla, M. K., R. Lal and M. Ebinger. 2004. Principal component analysis for predicting corn biomass and grain yield. Soil Sci. 469: 215-224.
45. Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai and M. E. Sumner. 1996.

Methods of soil analysis. Part 3.Chemical methods. Soil Science Society of America Inc.
46. Standard, A. S. T. M. D1739-70, 1970: Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter). ASTM International: West Conshohocken, PA.
47. Tokalioglu, S. and S. Kartal. 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the organized industrial district in Kayseri (Turkey). Atmos. Environ. 40: 2797-2805.
48. Verma, S. K., M. K. Deb, Y. Suzuki and Y. I. Tsai. 2010. Ion chemistry and source identification of coarse and fine aerosols in an urban area of eastern Central India. Atmos. Reg. 95: 65-76.
49. Wedyan, M., K. I. Altaif and S. Aladaileh. 2009. Heavy metals in wet deposition of south of Jordan. Eur. J. Sci. Res. 4: 554-560.
50. Wei, B., F. Jiang, X. Li and S. Mu. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. Environ. Monit. Assess. 160: 33-45.
51. Wong, C. S. C., X. D. Li, G. Zhang, S. H. Qi and X. Z. Peng. 2003. Atmospheric deposition of heavy metal in the Pearl River Delta, China. Atmos. Environ. 37: 767-776.
52. Yaroshevsky, A. A. 2006. Abundances of chemical elements in the earth's crust. Geochem. Int. 44: 48-55.
53. Yougming, H., D. Peixuan, D. Junji and E. S. Posmentier. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dust of Xian, Central China. Sci. Total. Environ. 335: 176-186.

Statistical Analysis of Heavy Metal Contamination in Atmospheric Dusts of Kermanshah Province, Iran

Sh. Ahmadi Doabi[1*], M. Afyuni[1], H. Khademi[1] and M. Karami[2]

(Received: May 03-2014 ; Accepted : Jan. 16-2016)

Abstract

Heavy metals in dust can directly enter to the human body through ingestion and inhalation. They can pollute the water and soil resources via atmospheric precipitation and accumulate in the plant tissues and then enter human body through water and food. This research aimed to study the heavy metals concentration in dust in Kermanshah province and to identify their sources. 49 samples of dust were collected in the cities of Kermanshah, Songhor, Gilangharb, Ghasre-Shirin, Sahneh, Sarpolzahab, Kangavar, Paveh and Javanrood during the spring 2013. The concentration of Zn, Cu, Ni, Cr, Mn and Fe were determined using an atomic absorption spectrometer following the sample extraction with a mixture of HCL and HNO_3 (3:1 ratio). The average concentrations of Zn, Cu, Ni, Cr, Mn and Fe were 182.3, 48.6, 115.3, 73.9, 428.1 and 23161 mg kg^{-1}, respectively. Correlation, cluster and principal component analyses were used to identify probable natural and anthropogenic sources of contaminants, and the enrichment factor was used to identify probable effects of human activity on the concentration of heavy metals. The results indicated that metal concentrations, except for Fe and Mn, were higher in comparison with the world soils. Zn, Cu, Ni and Cr are mainly of anthropogenic origin, while Fe and Mn are mainly of natural origin. Zn and Cu are mainly of traffic sources and partly of industrial sources, and Ni and Cr are mainly derived from industrial sources, combustion processes, combined with traffic sources. The analysis of EF revealed moderate enrichment for Mn and Cr, and significant enrichment for Zn, Cu and Ni. Based on the results of this study, more attention should be paid to identifying and controlling the sources of contaminants such as heavy metals in dust in order to prevent their associated pollution.

Keyword: Dust, Heavy metals, Kermanshah, Multivariate analysis, Pollutant.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.
2. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Razi Univ. of Kermanshah, Kermanshah, Iran.
* Corresponding Author, Email: shahab.ahmadi@ag.iut.ac.ir