



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## تعیین شاخص‌های زیست محیطی و منشأ فلزات سنگین گردوغبار خیابان، مسجد سلیمان، استان خوزستان

زیبا جاویدانه<sup>۱</sup>، علیرضا زراسوندی<sup>۲\*</sup>، فاطمه راست منش<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲. (نویسنده مسئول): استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳. استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴. مرکز پژوهشی منطقه ای ریزگردها، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** گرد و غبار خیابان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های منعکس‌کننده وضعیت آلودگی در محیط زیست شهری است. اکثر مطالعات، مربوط به آلودگی فلزات سنگین در شهرهای بزرگ بوده، در حالی که به شهرهای کوچک کمتر توجه شده است. شهر مسجد سلیمان اولین شهر نفت خیز ایران و در شمال شرق استان خوزستان واقع شده است. این شهر دارای آلودگی‌های زمین‌زاد (چشمه‌های نفتی و گاز)، فعالیت‌های نفتی، احتراق نفت و گاز، صنایع و ترافیک بوده، به همین دلیل ارزیابی زیست محیطی در این شهر حائز اهمیت است.

**روش بررسی:** به منظور پایش و مدیریت آلودگی‌های موجود، طی شرایط آب و هوایی خشک (تیر ماه ۱۳۹۲)، یازده نمونه از گردوغبار خیابان از ایستگاه‌های مختلف در سطح شهر و یک نمونه به عنوان نمونه شاهد جمع آوری و آماده‌سازی گردید و سپس توسط دستگاه ICP-OES آنالیز شدند.

**یافته‌ها:** منابع احتمالی فلزات آلاینده مورد بررسی توسط آنالیزهای چند متغیره مانند تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) شناخته شده‌اند. علاوه بر این فاکتورهای نظیر شاخص زمین انباشت (Igeo)، شاخص آلودگی (PI)، شاخص آلودگی یکنواخت (IPI) و فاکتور غنی‌شدگی (EF) جهت تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان در شهر مسجد سلیمان ارزیابی شدند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی و آنالیز خوشه‌ای نشان می‌دهد که منطقه عمدتاً تحت تأثیر آلودگی‌های نفتی، ترافیک و فعالیت‌های صنعتی قرار دارد. شاخص آلودگی بیانگر سطح بالای آلودگی برخی نمونه‌ها به  $Cu, Cd, Pb, Zn$  و سطح متوسط آلودگی سایر نمونه‌ها به  $As, Ni, V$  است. شاخص زمین انباشت بیانگر آلودگی متوسط تا شدیداً برخی نمونه‌ها به  $Cd, Pb, Cu, Zn$  و برای سایر نمونه‌ها عدم آلودگی تا آلودگی متوسط به  $Ni, As, V$  است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار نسبت به نمونه شاهد بالاتر بوده است. بدین ترتیب طبقه‌بندی میزان آلودگی در گردوغبار خیابان در شهر مسجد سلیمان به ترتیب زیر است:  $PI > IPI > EF > Igeo$ .

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۸  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۲/۰۷  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۱۵  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۶/۲۸

**واژگان کلیدی:** مسجد سلیمان، فلزات سنگین، شاخص آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
Zarasvandi\_a@Scu.ac.ir

Please cite this article as: Javidaneh Z, Zarsevandi AR, Rast Manesh F. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman City, Khuzestan Province. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(2):155-70.

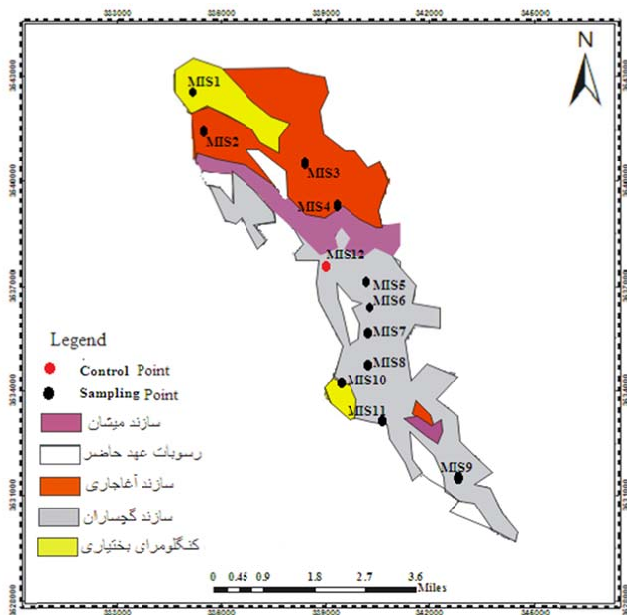
## مقدمه

فلزات سنگین موجود در گردوغبارهای خیابانی به عنوان یکی از منابع مهم آلودگی محیط زیست شهری به شمار می‌آیند و تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی کیفیت اکولوژیکی دارند (۱). ذرات ریز گردوغبار خیابان به دلیل داشتن سطح ویژه بالایی در نگهداری فلزات، یک منبع آلودگی برای فلزات سمی در محیط زیست شهری محسوب می‌شود (۲). طبق مطالعات Ahmed و همکار (۳)، پدیده شهری شدن و صنعتی شدن یکی از عوامل ورود فلزات سنگین انسان‌زاد در محیط زیست و در نتیجه افزایش آلاینده‌ها به هوا هستند. تحرک فلزات سنگین به اتمسفر در اثر فعالیت‌های صنعتی یک فرایند مهم در چرخه ژئوشیمیایی این فلزات است. در نواحی شهری مشهود است که منابع ثابت و متحرک مقادیر زیادی از فلزات سنگین (بیش از حد طبیعی) را به هوا، گیاهان و خاک منتشر می‌کند (۴-۳). غبارهای مناطق شهری بیانگر غلظت فلزات سنگین نهشته شده از جو است که به طرق مختلف از فعالیت‌های صنعتی مانند نیروگاه‌های انرژی، فعالیت‌های کشاورزی، طرح‌های صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی، خروجی وسایل نقلیه و انتشار ذرات، پوسیدگی وسایل نقلیه، فعالیت‌های معدنی و ذرات معلق خاک‌های آلوده ناشی می‌شود (۹-۷). در سال‌های اخیر، به دلیل تاثیر قابل ملاحظه فلزات سنگین بر روی سلامت انسان و اکوسیستم‌ها، به آلودگی ناشی از فلزات سنگین در گردوغبار خیابان توجه بیشتری شده است. به عنوان مثال، برخی فلزات سنگین مانند (Ni, Mn, Cr, Cu, Zn, Co) در مقادیر اندک مورد نیاز بدن و بی‌خطر است. مثلاً کمبود فلز Zn در بدن موجب اختلال در DNA، طولانی شدن دوره ترمیم زخم‌ها و کوتاهی قد بوده و میزان بالای این فلز باعث مشکلاتی از جمله سرطان بویژه در مناطق شهری و نیز عوارضی مانند اسهال است، در صورتی که برخی دیگر همانند (Pb, Hg, Cd, As) حتی در مقادیر بسیار کم برای سلامتی خطرناک بوده و منجر به ایجاد بسیاری از بیماری‌ها می‌شود (۱۲-۱۰). فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابان تاثیر مستقیمی بر روی سلامت

انسان داشته و می‌تواند به آسانی از طریق خوردن گردوغبار، تماس پوستی و استنشاق وارد بدن شود و ایجاد بیماری‌هایی از جمله بیماری‌های قلبی و عروقی، دیابت، التهاب ریه، سرطان پوست، اختلالات پوستی (کراتوسیس و ملانوسیس)، سرطان خون و غیره می‌کند (۱۳، ۱۴). فلزات سنگین آزاد شده از ترافیک جاده منجر به آلودگی شدید رواناب و خاک کنار جاده شده و رسوب منشا گرفته از جاده شهری که حاوی مقادیر بالای فلزات سنگین و مواد آلی است از جمله منابع مهم آلودگی رواناب شهری محسوب می‌شود. فلزات موجود در گردوغبار خیابان همچنین می‌تواند از طریق جریان رواناب جاده وارد جریان آب زیرزمینی شده و بدین ترتیب باعث آلودگی منابع آب می‌گردد. تغییر شرایط فیزیکی‌شیمیایی محیط زیست آبی نظیر pH و هدایت الکتریکی (EC) رسوب می‌تواند در آزادسازی فلزات سنگین به درون ستون آب مؤثر بوده و آلودگی ثانویه ایجاد می‌نماید (۱۵، ۱۶).

برای بهبود محیط‌زیست شهری و ارزیابی آلودگی آن باید با مدیران محلی و تصمیم‌گیرندگان ارتباط برقرار کرد. بنابراین، ارزیابی مناسب آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان برای اطلاع از وضعیت‌های زیست محیطی موجود در نواحی صنعتی بسیار حیاتی است. گرچه مطالعات صورت گرفته تنها به محاسبه یک یا چند روش محاسباتی جهت تعیین یا گسترش فلزات سنگین پرداخته و مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف وجود ندارد (۱۷) در زمینه خاک‌های شهری و گردوغبارهای ترافیکی مطالعات متعددی در جهان صورت گرفته است. Trang و همکار در سال ۲۰۱۰ به بررسی سطح و منابع آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی مناطق شلوغ و دارای ترافیک شهر سنول در کره جنوبی پرداختند. در این مطالعه از فلزات سنگین مناطق پرتراфик، مناطق مرکزی شهر و جاده‌های اطراف شهر نمونه‌برداری صورت گرفت. سطح آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان به شدت وابسته به حجم ترافیک و پراکندگی اتمسفر بود. استفاده از ترمز در وسایل نقلیه به منظور توقف کامل از عواملی بود که آلودگی در مناطق مرکز شهر را

و هوای نیمه بیابانی است. میزان بارندگی در سال بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ mm متغیر است. سازندهای زمین‌شناسی غالب در منطقه شامل رسوبات آبرفتی (نهشته‌های کوارترنری)، میشان، آجاجاری، بختیاری و عمدتا گچساران هستند (شکل ۱). سازند آجاجاری و بختیاری در شمال و جنوب منطقه مسجد سلیمان گسترش یافته است. سازند میشان در شمال و جنوب منطقه و لهری نیز به طور بخشی در جنوب منطقه رخنمون دارد (۲۰). سازند گچساران با روند شمال غرب-جنوب شرق و رسوبات کوارترنری در بخش میانی و جنوبی ناحیه واقع شده‌اند. شهر مسجد سلیمان به‌طور عمده بر روی سازند گچساران و رسوبات کوارترنری قرار گرفته است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه شهری مسجد سلیمان به همراه موقعیت نقاط نمونه‌برداری

## روش کار

به منظور بررسی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان، نمونه‌برداری از ۱۱ ایستگاه از کنار پیاده‌روها، جاده‌ها و مکان‌هایی که گردوغبار برای مدتی در آنجا تجمع یافته بود در سطح شهر مسجد سلیمان انجام شد (مناطق مسکونی،

تحت تاثیر قرار می‌داد (۱۸). Fiaz و همکاران در سال ۲۰۰۹ (۱۰) به این نتیجه رسیدند که میزان Zn و Pb در نمونه‌های خاک و گردوغبار برداشت شده از بزرگراه‌های اصلی اسلام آباد، آلودگی بالایی نشان می‌دهد که دارای منشأ انسان زاد (آنتروپوژنیک) مانند تردد وسایل نقلیه بوده است. Banerjee در سال ۲۰۰۳ در هند، به بررسی نمونه‌هایی که از سه منطقه صنعتی، خیابان‌های دارای ترافیک سنگین و روستایی جمع آوری شده بود، پرداخت. در گردوغبارهای ترافیکی پنج فلز سنگین Ni, Cu, Pb, Cd و Cr دیده شدند که عمدتا همراه با کربنات‌ها، اکسیدهای آهن-منگنز و متصل به مواد آلی بودند (۱۹). هدف از این مطالعه تعیین منشأ و میزان غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابان در نمونه‌های جمع‌آوری شده از شهر مسجد سلیمان بوده است که مهم‌ترین شهر نفتی در کشور ایران و استان خوزستان است. بررسی سطح آلودگی با استفاده از چهار روش شاخص زمین انباشت (Igeo)، شاخص آلودگی (PI)، شاخص آلودگی یکنواخت (IPI) و فاکتور غنی‌شدگی (EF) و همچنین آنالیزهای آماری PCA و CA محاسبه و بحث شده است.

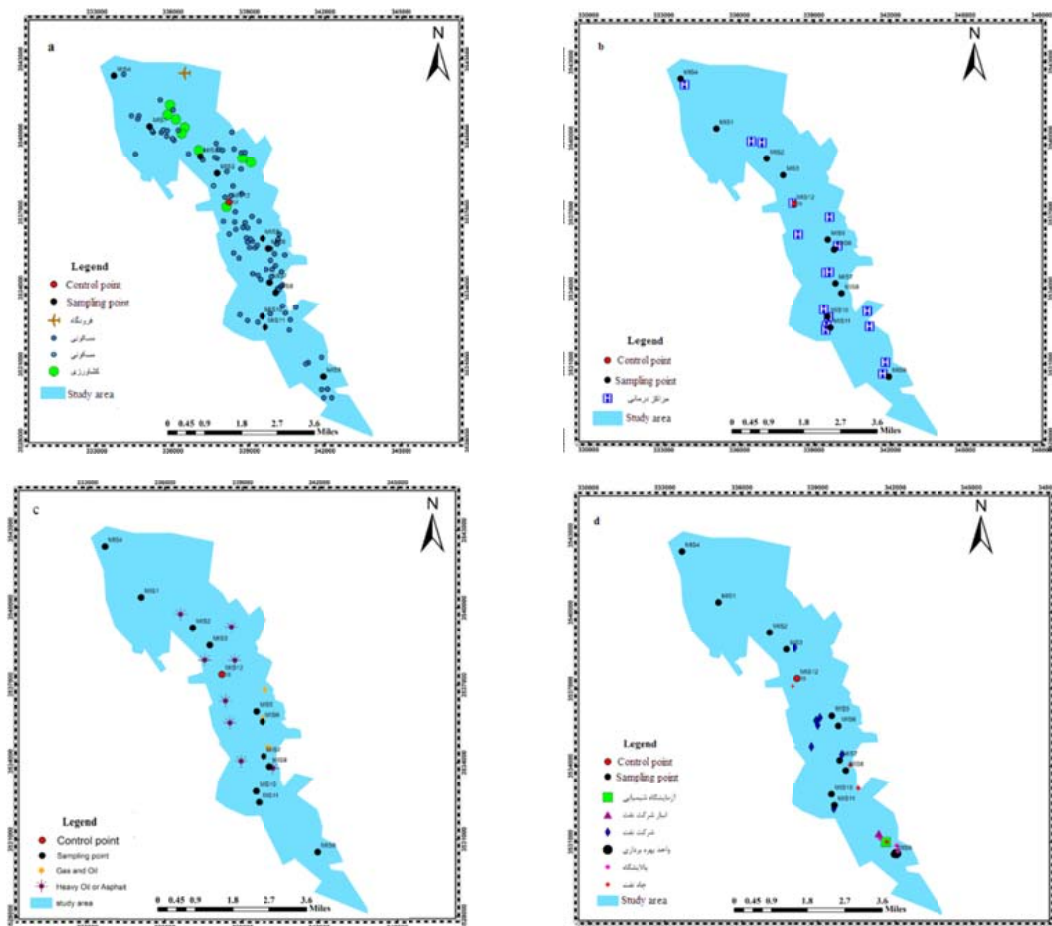
## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان مسجد سلیمان در شمال شرقی استان خوزستان واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا ۳۶۲ m و دارای مساحت  $6986 \text{ km}^2$  است که بین ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و بین ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا واقع شده است. جمعیت آن بالغ بر ۱۰۸۰۰۰ نفر و عمده فعالیت‌های صنعتی منطقه فعالیت‌های نفتی و همچنین صنایع سبک فلزی، صنایع ساختمانی و واحدهای صنعتی غذایی به ترتیب از نظر تعداد فراوان‌ترین صنایع شهرستان هستند. صنایع تبدیلی نظیر فرآورده‌های لبنی، آردسازی از پتانسیل بالایی برخوردارند. مسجد سلیمان از لحاظ اقلیمی دارای آب

ارسال شدند. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز توسط دستگاه ICP-OES با روش انحلال چهار اسید (-HF-HCL-HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>) صورت گرفت (۲۱). پس از توزین نمونه (۰/۲۵ g) HF (۸ mL) ۴۰ درصد و HClO<sub>4</sub> (۱ mL) ۷۰ درصد اضافه نموده و محلول آماده شده را به مدت زمان لازم در ظرف مخصوص پلاستیکی (Hot Box) داخل آب تا دمای ۲۰۰ °C قرار داده تا یک محلول ژله‌ای بدست آید. سپس HCL (۳/۷۵ mL) ۳۷ درصد و HNO<sub>3</sub> (۱/۲۵ mL) ۶۵ درصد اضافه نموده و محلول را به حجم ۲۵ mL رسانده و توسط دستگاه ICP-OES در شرکت زرازمای تهران آنالیز گردید.

مراکز درمانی، چشمه‌های نفتی، صنایع نفتی و صنایع غیر نفتی) و یک نمونه نیز به عنوان نمونه شاهد از پارک پنج بنگله (ایستگاه ۱۲) برداشته شد. علت انتخاب نمونه شاهد از این محل به دلیل دور بودن این پارک از نواحی صنعتی و نزدیکی به مناطق مسکونی شهر است. زمان نمونه‌برداری نیز طی فصل خشک در تیرماه ۱۳۹۲ و با استفاده از خاک انداز و برس پلاستیکی صورت گرفت (۳) (شکل ۲). نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه زمین شیمی دانشگاه شهید چمران منتقل و طی ۵ روز در دمای اتاق خشک شد و پس از جداسازی موادزائد مانند چوب، شیشه و...، نمونه‌ها در بوتله چینی پودر و با الک ۲۰۰ مش غربال شد. در انتها نمونه‌ها جهت آنالیز توسط دستگاه ICP-OES به شرکت زرازما در تهران

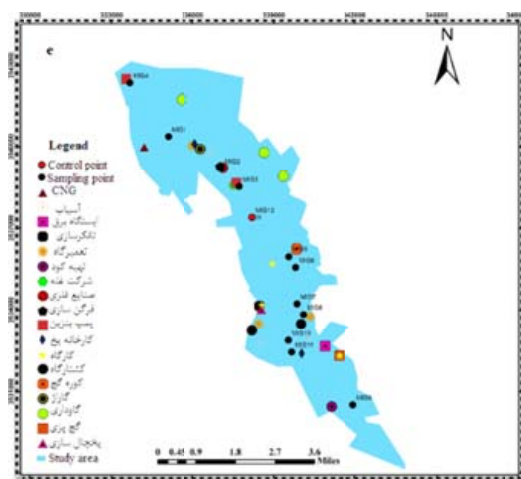


شکل ۲- موقعیت و پراکندگی: a: مناطق مسکونی، b: مراکز درمانی، c: چشمه‌های نفتی، d: صنایع نفتی و e: صنایع غیر نفتی در مسجد سلیمان

را بررسی می‌کند. فاکتور غنی‌شدگی یک عنصر با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$EF_x = (C_x/R)_{\text{Sample}} / (C_x/R)_{\text{Reference}}$$

Cx غلظت فلز سنگین و R غلظت عنصر مرجع است. Sample غلظت فلز مرجع برای برای گردوغبار و Reference غلظت فلز مرجع برای خاک غیرآلوده را عنوان می‌کند. عنصر مرجع اغلب یک عنصر زمین‌زاد (geogenic) مانند Al, Fe, Ti, Mn, Sc و ... است (۲۸، ۲۹). بنابراین در این مقاله فلز Sc به عنوان عنصر مرجع انتخاب شده است. در این ارزیابی مقادیر مرجع فلزات، مقادیر شاهد در ناحیه مورد مطالعه است. فاکتور غنی‌شدگی دارای پنج طبقه آلودگی (۳۰، ۳۱) طبق جدول ۱ است.



ادامه شکل ۲- موقعیت و پراکندگی a: مناطق مسکونی، b: مراکز درمانی، c: چشمه‌های نفتی، d: صنایع نفتی و e: صنایع غیر نفتی در مسجد سلیمان

## آنالیز داده‌ها

روش‌های آنالیز چندمتغیره مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، آنالیز خوشه‌ای (CA) به‌طور گسترده‌ای برای تشخیص منابع آلودگی در خاک (۲۲، ۲۳)، ذرات معلق (۲۴)، رسوبات (۲۵)، و گردوغبار خیابان‌ها و جاده‌های شهری (۲۱)، (۲۶) استفاده شده است. در این مطالعه، آنالیزهای چند متغیره با استفاده از SPSS ۱۹ انجام گرفته است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی: برای کاهش دامنه (دیمانسیون) داده‌ها بکار گرفته شده است. معمولاً فاکتور بارگذاری بزرگ‌تر از ۰/۷۱ مورد توافق است (۲۱، ۲۷).

آنالیز خوشه‌ای: برای تشخیص مواد و ترکیبات گوناگون و طبقه‌بندی آنها به گروه‌های مختلف است. در این مطالعه آنالیز خوشه‌ای توسط روش واردز (Ward's Method) و روش فاصله‌ای جذرهندسی اقلیدس انجام گرفته است (۲۲، ۲۶). نتایج در نمودار ۳ نمایش داده شده است.

فاکتور غنی‌شدگی: جهت تشخیص بین منابع انسانی، طبیعی و یا منابع مختلط (انسانی و طبیعی)، و نیز تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین استفاده می‌شود و میزان تاثیر انسان‌زاد بودن

جدول ۱- طبقه‌بندی آلودگی بر اساس فاکتور غنی‌شدگی

EF	طبقه	سطح آلودگی
<۲	۱	حداقل آلودگی
۲-۵	۲	آلودگی متوسط
۵-۲۰	۳	آلودگی قابل توجه
۲۰-۴۰	۴	آلودگی بسیار بالا
>۴۰	۵	آلودگی فوق العاده بالا(حداکثر آلودگی)

شاخص زمین انباشت: این شاخص به طور گسترده‌ای برای تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان و خاک استفاده شده است؛ فرمول Igeo عبارتست از:

$$Igeo = \log_2 [Cn / 1.5Bn]$$

که در آن Cn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه و Bn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه شاهد است (۳۲)، که در این مطالعه از غلظت فلزات در ایستگاه ۱۲ به عنوان شاهد زمین شیمیایی محلی استفاده شد (جدول ۲).



شده در نمونه شاهد است، که در این مطالعه از غلظت فلزات در ایستگاه ۱۲ به عنوان شاهد زمین شیمیایی محلی استفاده شد. شاخص آلودگی یکنواخت نیز همان میانگین شاخص آلودگی است و برای پایش کیفیت محیط زیست خاک به طور گسترده کاربرد دارد (۳۲، ۳۳) (جدول ۳).

### یافته‌ها

به منظور ارزیابی ریسک و نیز آگاهی از میزان فلزات سنگین موجود در محیط‌های شهری، پایش این فلزات آلاینده ضروری است. براساس مطالعات آزمایشگاهی، آماری و توصیفی انجام گرفته، نتایج بدست آمده به صورت جدول و نمودار در ادامه بحث شده است. نتایج تجزیه زمین شیمیایی فلزات سنگین (Pb, Cd, As, Ni, Zn, Cu و V) در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. قابل ذکر است که غلظت تمام عناصر سنگین موجود در نمونه‌ها در شهر مسجد سلیمان نسبت به نمونه شاهد (نمونه محلی) بیشتر است.

جدول ۳- طبقه‌بندی استاندارد شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکنواخت

سطح آلودگی	رده	IPI	سطح آلودگی	رده	PI
غیرآلوده	۱	$IPI \leq 0$	غیرآلوده	۱	$PI \leq 1$
آلودگی کم	۲	$1 < IPI \leq 2$	آلودگی کم	۲	$1 < PI \leq 2$
آلودگی متوسط	۳	$2 < IPI \leq 3$	آلودگی متوسط	۳	$2 < PI \leq 3$
آلودگی شدید	۴	$IPI > 3$	آلودگی شدید	۴	$PI > 3$

جدول ۴- بیشینه، کمینه و میانگین غلظت فلزات سنگین و غلظت نمونه شاهد در گردو غبار خیابان در شهر مسجد سلیمان

فلزات سنگین	V(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Ni(ppm)	As(ppm)	Cd(ppm)	Pb(ppm)	پارامتر
کمینه	(ایستگاه ۱۰) ۳۸	(ایستگاه ۴) ۳۴	(ایستگاه ۱) ۸۱	(ایستگاه ۴) ۳۵	(ایستگاه ۱) ۲/۴	(ایستگاه ۴، ۱۰) ۰/۲۳	(ایستگاه ۱) ۱۷	
بیشینه	(ایستگاه ۴) ۵۶	(ایستگاه ۱۱) ۱۸۸	(ایستگاه ۱۱) ۶۲۴	(ایستگاه ۶) ۴۹	(ایستگاه ۲) ۴/۶	(ایستگاه ۸) ۱/۵	(ایستگاه ۱۱) ۱۵۱	
میانگین	۴۶/۶۳	۸۱/۸۱	۲۳۱/۹	۴۰/۳۶	۳/۱۴۵	۰/۳۵	۶۵/۰۹	
نمونه شاهد	۴۴	۲۶	۷۵	۳۸	۲/۵	۰/۲۳	۱۶	

جدول ۲- استاندارد درجه آلودگی توسط شاخص زمین انباشت

سطح آلودگی	رده	Igeo
غیرآلوده	۰	$< 0$
غیرآلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
آلودگی متوسط	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا شدیداً آلوده	۳	۲-۳
شدیداً آلوده	۴	۳-۴
شدیداً تا بی نهایت آلوده	۵	۴-۵
بی نهایت آلوده	۶	$> 5$

شاخص آلودگی (PI) و شاخص آلودگی یکنواخت (IPI= Integrated pollution index): شاخص آلودگی جهت ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد. فرمول آن به صورت زیر است:

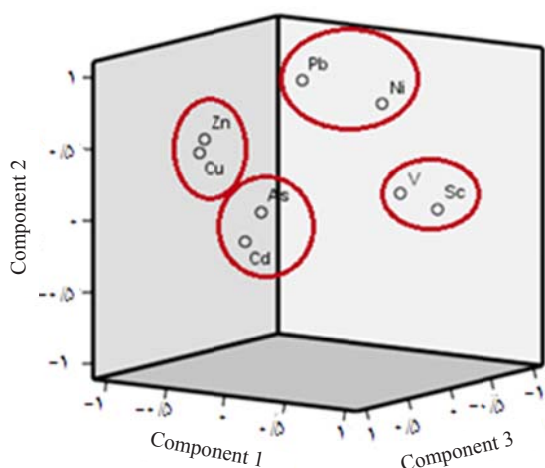
$$PI = Cn/Bn$$

Cn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه و Bn غلظت اندازه‌گیری

جدول ۵- نتایج تحلیل مؤلفه اصلی فلزات سنگین مورد مطالعه در مسجد سلیمان

پارامتر	فاکتور		
	۱	۲	۳
Pb	۰/۰۰۳	۰/۹۶۱	۰/۱۹۳
As	۰/۰۹۹	۰/۱۳۷	۰/۸۱۶
Cd	-۰/۰۹۹	-۰/۱۰۱	۰/۷۲۴
V	۰/۸۹۲	۰/۲۷۳	۰/۲۸۲
Ni	۰/۲۵۴	۰/۷۳۶	-۰/۴۱۴
Cu	-۰/۶۷۲	۰/۴۲۶	۰/۴۶۷
Sc	۰/۹۵۴	۰/۱۱۶	-۰/۰۷۲
مقدار ویژه	۲/۶۴۸	۲/۰۳۶	۱/۹۰۹
درصد واریانس	۳۳/۱۰۵	۲۵/۴۵۲	۲۳/۸۶۷
درصد تجمع	۳۳/۱۰۵	۵۸/۵۵۶	۸۲/۴۲۳

در نمودار سه بعدی دوران یافته پراکنش متغیرهای مورد بررسی نسبت به عامل‌های اول، دوم و سوم مشاهده می‌شود (نمودار ۲).



نمودار ۲- نمودار سه‌بعدی دوران یافته (PCA) فلزات سنگین مورد مطالعه در مسجد سلیمان

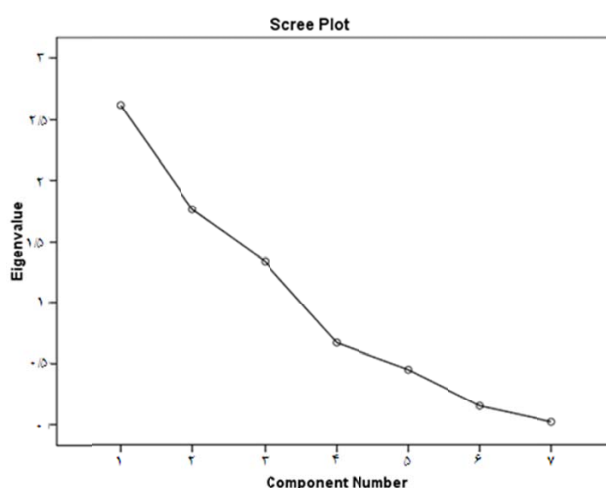
### تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA):

#### تعیین ضریب KMO(Kaiser Meyer Olkin):

جهت تعیین و تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی از ضریب KMO استفاده شده است که مقدار این ضریب همواره بین صفر و یک در نوسان است و هرچه ضریب KMO به یک نزدیک‌تر، تحلیل عاملی معتبرتر است. در این پژوهش ضریب KMO داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS.۱۹ محاسبه شد. این ضریب برای داده‌ها ۰/۶۷ است، بنابراین تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای داده‌ها معتبر است. تعداد عامل‌های انتخاب شده برحسب مقدار ویژه (Eigenvalue) است که در این پژوهش فاکتورهایی با مقدار ویژه بزرگتر از یک به عنوان عامل‌های معنی‌دار انتخاب و مابقی فاکتورها که رابطه معنی‌داری بین آنها وجود نداشت حذف گردید (جدول ۵).

#### نمودار اسکری گراف (Scree Plot):

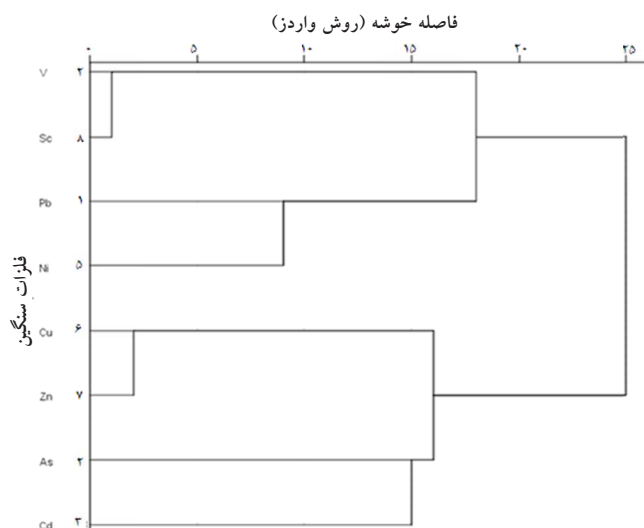
این نمودار برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌ها به کار می‌رود. توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که از عامل سوم به بعد تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان سه عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد (نمودار ۱).



نمودار ۱- اسکری گراف برای تعیین تعداد عامل‌ها

### آنالیز خوشه‌ای (CA):

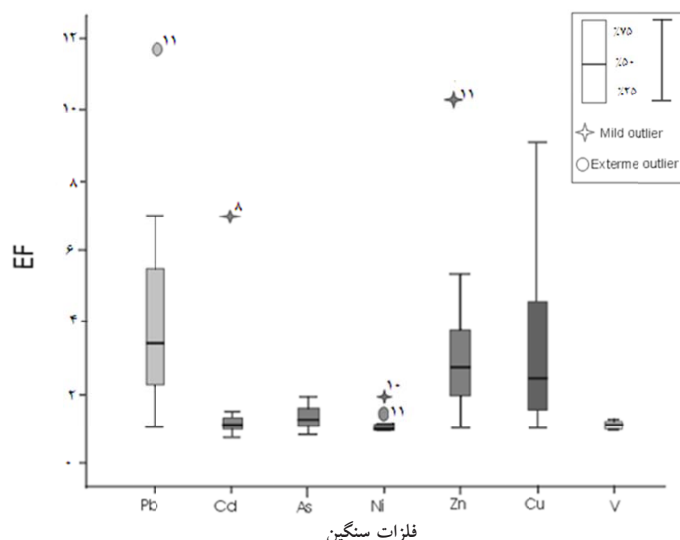
بر اساس مفاهیم فاصله‌ای و تشابه، داده‌ها به گروه‌های متجانس تقسیم شده که در هر گروه داده‌ها دارای بیشترین تشابه با هم و کمترین تشابه با دیگر گروه‌ها است (نمودار ۳).



نمودار ۳- نمودار خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه در شهر مسجد سلیمان

### فاکتور غنی‌شدگی (EF):

بیشینه، کمینه و متوسط غنی‌شدگی در فلزات سنگین مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است.



نمودار ۴- نمودار جعبه‌ای میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات مورد بررسی در منطقه

جدول ۶- بیشینه، کمینه و متوسط غنی‌شدگی در فلزات سنگین مورد مطالعه

Pb(ppm)	Cd(ppm)	As(ppm)	Ni(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	V(ppm)	فلزات سنگین
(۱ ایستگاه) ۱/۱۶	(۴ ایستگاه) ۰/۷۵	(۴ ایستگاه) ۰/۸۴	(۹ ایستگاه) ۰/۹۵	(۱ ایستگاه) ۱/۰۳	(۴ ایستگاه) ۰/۹۹	(۹ ایستگاه) ۰/۹۶	فاکتور غنی‌شدگی
(۱۱ ایستگاه) ۱۱/۸۶	(۸ ایستگاه) ۷/۳۵	(۲ ایستگاه) ۱/۸۸	(۱۰ ایستگاه) ۱/۷۳	(۱۱ ایستگاه) ۱۰/۴۵	(۱۱ ایستگاه) ۹/۰۹	(۱۰ ایستگاه) ۱/۲۶	کمینه
۳/۷۵	۱/۶۶	۱/۳۲	۱/۱۱	۳/۴۴	۳/۵۱	۱/۱۰	بیشینه
							متوسط

### شاخص زمین‌انباشت (Igeo):

بیشینه، کمینه و متوسط شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۷ آمده است.

### شاخص آلودگی و شاخص یکنواخت (PI & IPI):

بیشینه، کمینه و میانگین شاخص آلودگی در فلزات سنگین مورد مطالعه در جدول ۸ نشان داده شده است.



جدول ۷- بیشینه، کمینه و متوسط شاخص زمین انباشت در نمونه‌های مورد مطالعه

فلزات سنگین							شاخص زمین انباشت
Pb(ppm)	Cd(ppm)	As(ppm)	Ni(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	V(ppm)	
۰/۳۳۷	۰/۵۸۴	۰/۶۴۳	۰/۷۰۳	۰/۴۷۳	۰/۱۹۷	۰/۷۹۶	کمینه
(ایستگاه ۵)	(ایستگاه ۴)	(ایستگاه ۱)	(ایستگاه ۶)	(ایستگاه ۱)	(ایستگاه ۴)	(ایستگاه ۱۰)	
۲/۸۱۳	۲/۱۲۰	۰/۰۱۹۱	۰/۲۱۸	۲/۴۷۱	۲/۲۶۹	۰/۲۳۷	بیشینه
(ایستگاه ۱۱)	(ایستگاه ۸)	(ایستگاه ۸)	(ایستگاه ۴)	(ایستگاه ۱۱)	(ایستگاه ۱۱)	(ایستگاه ۴)	
۱/۱۱۱	۰/۲۷۸	۰/۲۸۲	۰/۵۰۴	۰/۸۳۶	۰/۸۲۲	۰/۵۰۶	متوسط

جدول ۸- بیشینه، کمینه و میانگین شاخص آلودگی در فلزات سنگین مورد مطالعه

فلزات سنگین							شاخص آلودگی
Pb(ppm)	Cd(ppm)	As(ppm)	Ni(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	V(ppm)	
(ایستگاه ۱)	(ایستگاه ۴، ۱۰)	(ایستگاه ۱)	(ایستگاه ۶)	(ایستگاه ۱)	(ایستگاه ۳)	(ایستگاه ۱۰)	کمینه
۱/۰۶	۱	۰/۹۶	۰/۹۲	۱/۰۸	۱/۰۶	۰/۸۶۳	
(ایستگاه ۱۱)	(ایستگاه ۸)	(ایستگاه ۲)	(ایستگاه ۴)	(ایستگاه ۱۱)	(ایستگاه ۱۱)	(ایستگاه ۴)	بیشینه
۹/۴۳	۶/۵۲	۱/۸۴	۱/۲۸	۸/۳۲	۷/۲۳	۱/۲۷۲	
۴/۰۶۸	۱/۵۴۵	۱/۲۵۸	۱/۰۶۲	۳/۰۹۲	۳/۰۷۹	۱/۰۵۹	شاخص آلودگی یکنواخت

## بحث

تولید فلزات است که دلیل آن احتمالاً گریس و روغن، استفاده از ترمز و سایش چرخ اتومبیل و نیز  $Pb$  رسوب کرده در کابراتور خودروهای فرسوده و قدیمی است (۳۵). کم‌ترین میزان  $Cd$  مربوط به دو نمونه (ایستگاه ۴، ۱۰) با  $0.23 \text{ ppm}$  در پارکینگ دانشگاه آزاد اسلامی و منطقه کلنگه روبروی بیمارستان شرکت نفت بود و بیشترین غلظت  $1.5 \text{ ppm}$  در فلکه نمره یک مربوط به نمونه (ایستگاه ۸) بوده که محل تجاری بوده و علت آن احتمالاً ناشی از فعالیت‌های جوشکاری و فرآوری فلزات در این مکان و نیز فرآورده‌های نفتی موجود در منطقه است. مطالعه Mohajer و همکاران (۳۶) مؤید این است که  $Cd$  موجود در خاک‌ها به دلیل استفاده از کودهای

نتایج تجزیه زمین شیمیایی فلزات سنگین ( $As, Cd, Pb$ ),  $(V, Cu, Zn, Ni)$  در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به داده‌های ارائه شده در جداول (۱ و ۴) فراوانی هر یک از فلزات سنگین مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف در سطح شهر مسجد سلیمان بررسی گردید.  $Pb$  کم‌ترین غلظت ( $17 \text{ ppm}$ ) را در نمونه برداشت شده از ترمینال ولیعصر (ایستگاه ۱) دارد، زیرا سوخت رایج وسایل نقلیه در این مکان عمدتاً دیزلی است که آلودگی فلزی پایینی دارند (۳۴). بیشترین غلظت  $Pb$  ( $151 \text{ ppm}$ ) مربوط به نمونه (ایستگاه ۱۱) در محله کلنگه واحدهای کارگاهی و

احتمالاً ناشی از خروجی وسایل نقلیه و خروجی صنایع مرتبط است. Hatami Manesh و همکاران (۳۹) نشان دادند که وجود فلزات سنگینی مانند Zn, Pb و Cu در محیط‌های شهری ناشی از سوزاندن زباله‌های شهری است که در نتیجه جابجایی توسط باد در سطح شهر فرونشست می‌کند. V در منطقه کلگه روبروی بیمارستان شرکت نفت دارای کم‌ترین غلظت ۳۸ ppm در نمونه (ایستگاه ۱۰) و بیشترین غلظت ۵۶ ppm مربوط به نمونه (ایستگاه ۴) در پارکینگ دانشگاه آزاد اسلامی است که از کارگاه‌های جوشکاری در دانشگاه و نیز صنایع فولادی، رنگ، سرامیک و سوختن فرآورده‌های نفتی در منطقه ناشی می‌شود (۴۰).

### تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA):

در این مطالعه، PCA برای تشخیص منابع احتمالی هشت نوع فلز سنگین آلاینده در شهر مسجد سلیمان انجام گرفته است. فاکتورهای بارگذاری بعد از چرخش واریانس با مقدار ویژه بیش از یک ( $>1$ ) به همراه ماتریکس چرخشی هر هفت عنصر آلاینده در جدول ۵ آمده است و فاکتورهای اصلی از متغیرهایی با مقدار ویژه بیشتر از یک انتخاب شده است. بارگذاری PCA شامل (PCA1، PCA2 و PCA3) همچنین در نمودار ۲ نمایش داده شده است، و ارتباط میان هشت فلز آلاینده به آسانی دیده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود، سه فاکتور با مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک بدست آمده که ۸۲/۴ درصد از کل واریانس را در بر گرفته است. فاکتور (۱) توسط فلزات V و Sc ۳۳ درصد، فاکتور (۲) توسط Pb و Ni ۲۵ درصد و فاکتور (۳) توسط As، Cd، Cu و Zn ۲۳/۸ درصد از واریانس کل را تشکیل داده‌اند. در فاکتور سه، بارگذاری Zn، Cu (۰/۴۶) و (۰/۴۵) نسبت به فلزات آلاینده دیگر کم‌تر بوده که به دلیل منابع متفاوت این دو فلز آلاینده است. بنابراین در فاکتور (۱) V ناشی از فعالیت‌های صنعتی و نفتی موجود در ناحیه و همچنین به طور طبیعی (منابع مختلط) از سازندهای منطقه است و فلز Sc هم با توجه به خنثی

فسفاته در اراضی کشاورزی است و گاهی (ppm) ۰/۵- در خود، Cd به صورت ناخالصی دارند و این عنصر از طریق فرسایش خاک و جابجایی توسط باد می‌تواند وارد مناطق شهری شود. As کم‌ترین غلظت ۲/۴ ppm در نمونه برداشت شده از ترمینال ولیعصر (ایستگاه ۱) و بیشترین غلظت ۴/۶ ppm مربوط به نمونه برداشت شده از منطقه صنعتی ابتدای مسجد سلیمان (صنایع کوچک فلزی شامل کابینت‌سازی و تراشکاری) (ایستگاه ۲) است، که علت آن As موجود در دود ناشی از جوشکاری و ذوب فلزات در محل مورد نظر هستند. طبق مطالعات Zevenhoven و همکاران (۳۷) به عنوان ترکیب در آفت‌کش‌های کشاورزی، ساخت وسایل فتوالکتریکی، باتری‌های اسیدی، ظروف شیشه‌ای و جهت عایق و استحکام آلیاژ Cu استفاده می‌شود. Ni، در نمونه (ایستگاه ۴) واقع در پارکینگ دانشگاه آزاد اسلامی کم‌ترین غلظت ۳۵ ppm و بیشترین غلظت ۴۹ ppm در محله نفتون نمره (۲) مربوط به نمونه (ایستگاه ۶) است، که به علت نزدیکی به چاه‌های نفتی در منطقه و نیز احتراق نفت ناشی از مشعل صنایع مربوطه میزان بالای ورود Ni در گردوغبار قابل انتظار است، زیرا این فلز سنگین طبق مطالعه Dongarra و همکاران (۳۸) عمدتاً در فرایندهای دمای بالا ناشی از احتراق زغال‌سنگ و نفت و یا صنایع پالایش نفت آزاد می‌شود. Zn، کمترین غلظت (۸۱ ppm) را در ترمینال ولیعصر مربوط به نمونه (ایستگاه ۱) داشته و بیشترین غلظت آن (۶۲۴ ppm) مربوط به نمونه (ایستگاه ۱۱) در محله کلگه واحدهای کارگاهی و تولید فلزات است، که علت آن خروجی ناشی از صنایع جوشکاری فلزات و تعمیر خودروها و خروجی ناشی از آن بویژه نوع وسایل نقلیه است (۳۵). Cu، کم‌ترین غلظت ۳۴ ppm در نمونه (ایستگاه ۴) مربوط به پارکینگ دانشگاه آزاد اسلامی دارد و بیشترین غلظت ۱۸۸ ppm مربوط به نمونه (ایستگاه ۱۱) در محله کلگه واحدهای کارگاهی و تولید فلزات است، با توجه به اینکه ناحیه صنعتی بوده و دارای مغازه‌های مکانیکی و جوشکاری فلزات هستند، بنابراین

تعلق دارد و مربوط به خیابان کلگه (ایستگاه ۱۱) بوده که دارای واحدهای صنعتی (کارگاهی و تولید فلزات و جوشکاری فلزات) و مغازه‌های مکانیکی است و احتمالاً آلودگی ناشی از موارد ذکر شده است. نمودار ۴ میانگین فاکتور غنی‌شدگی فلزات آلاینده مورد ارزیابی را به ترتیب میزان کاهش نشان می‌دهد:  $(Pb > Cu > Zn > As > Cd > Ni > V)$ ; این ترتیب احتمالاً بیانگر درجه آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان در شهر مسجد سلیمان است. کم‌ترین میانگین EF مربوط به فلز V است که فرایندهای مختلط (انسانی و طبیعی) می‌توانند در توزیع آن نقش داشته باشند. میانگین EF فلزات Cu, Pb و Zn بین ۲-۵ آلودگی متوسط و برای سایر فلزات (As, Cd, Ni و V) کم‌تر از ۲ ( $EF < 2$ ) آلودگی حداقل است. بنابراین تغییرات EF نشان می‌دهد که منشأ فلزات سنگین انسان‌زاد بوده و منابع عمده این فلزات می‌تواند از جو، فعالیت‌های نفتی و احتراق سوخت‌های فسیلی در ناحیه، ترافیک و فرایندهای صنعتی ناشی گردد (۲۸).

### تشخیص و تعریف منابع آلودگی:

نتایج حاصل از PCA و CA همخوانی بسیار نزدیکی با تفسیرهای ذکر شده در بالا دارد. نتایج آنالیز خوشه‌ای نشان می‌دهد که دو فلز V و Sc با Ni و Pb و دو فلز Cu و Zn با Cd و As تفاوت قابل توجهی دارند و هرکدام از این دو عنصر در زیرشاخه‌های جداگانه قرار دارند و بیانگر منابع متفاوت برای این فلزات آلاینده است. فلزات V, Ni, Pb و Sc و فلزات Cu, Zn, Cd و As هر کدام در رده‌های بالاتر به صورت شاخه‌های متصل به هم هستند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی ارتباط قابل توجهی بین V, Ni, Pb و Sc و از طرفی بین Cu, Zn, Cd و As نشان می‌دهد که مؤید منابع آلاینده مشترک است (نمودار ۲). براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای سه منبع برای گروه‌های فلزات آلاینده می‌توان تعریف کرد: (۱) V و Sc؛ (۲) Ni و Pb؛ (۳) As, Zn, Cu و Cd.

بودن عمدتاً دارای منشأ زمین‌زاد (لیتوژنیک) است. فاکتور (۲) به‌عنوان فلزات سنگین به شدت انسان‌زاد طبقه‌بندی می‌شوند و از منابع انسان‌زاد شامل ترافیک، فعالیت‌های صنعتی و احتراق سوخت‌های فسیلی در منطقه ناشی می‌شود. فاکتور (۳) که شامل چهار فلز Cu, As, Cd و Zn است، به طور عمده از فعالیت‌های انسانی منشأ می‌گیرند و تنها ممکن است منابع تولیدکننده آنها با یکدیگر متفاوت باشد.

### آنالیز خوشه‌ای (CA):

این روش برای استانداردسازی حجم غلظتی از فلزات سنگین آلاینده با استفاده از روش واردز و بر اساس مفاهیم فاصله‌ای است. نتایج CA در نمودار ۳ نمایش داده شده است. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود براساس تشابه سه گروه مشخص شده‌اند: (۱) V و Sc؛ (۲) Ni و Pb؛ (۳) Cu, Zn, As و Cd. هر گروه دارای بیشترین تشابه با خود و کمترین تشابه با دیگر گروه‌هاست.

### آنالیز فاکتور غنی‌شدگی (EF):

نتایج تحلیل مؤلفه اصلی و آنالیز خوشه‌ای نشان می‌دهد که Sc یکی از عناصر خنثی یا زمین‌زاد در محیط‌زیست است. مقدار EF هر فلز با استفاده از عنصر مرجع Sc محاسبه شده است (جدول ۶). مقادیر میانگین EF برای Pb (۳/۷۵)، Cd (۱/۶۶)، As (۱/۳۲)، Ni (۱/۱۱)، Zn (۳/۴۴)، Cu (۳/۵۱) و V (۱/۱) است. میانگین EF برای Cu, Zn, Pb و Sc بزرگ‌تر از سه ( $EF > 3$ ) است که نشان‌دهنده آلودگی آنتروپوژنیک است (۲۱) و سایر فلزات (V, Ni, As, Cd) دارای EF کم‌تر از دو ( $EF < 2$ ) است. فلزاتی که دارای حداکثر EF بوده و مقدار غنی‌شدگی آنها خیلی بالاتر از ۱۰ است عمدتاً تحت تاثیر منابع انسان‌زاد قرار دارند. از این رو فاکتور غنی‌شدگی به عنوان یک شاخص جهت تشخیص منابع انسانی از طبیعی (یا هر دو) است (۲۱). در بین فلزات بررسی شده بیشترین مقدار غنی‌شدگی به فلز Pb (۱۱/۸۶) و با میانگین (۳/۷۵) با آلودگی قابل توجه

گروه ۱: V و Sc؛ نتایج CA نشان می‌دهد که این فلزات نسبت به دیگر فلزات متفاوتند که احتمالاً بیانگر منشا عمدتاً طبیعی (لیتوژنیک) است. از طرفی فاکتور غنی‌شدگی آنها نشان‌دهنده منشا زمین‌زاد بوده که با نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای تطابق دارد. همچنین V به علت احتراق نفت و گاز ناشی از فعالیت‌های نفتی اطراف منطقه است (۴۰).

گروه ۲: Pb و Ni؛ این دو فلز در مقایسه با زمینه دارای غلظت بالایی است. Pb دارای حداکثر فاکتور غنی‌شدگی یعنی ۱۱/۸۶ بوده که نشان از غلظت بالای این فلز در گردوغبار خیابان در شهر مسجد سلیمان است. مطالعات قبلی از جمله، (۳)، نشان دادند که مهم‌ترین منبع انسان‌زاد Pb در گردوغبار خیابان و جاده‌ها استفاده از بنزین است. غلظت Ni عمدتاً از احتراق نفت (۴۰) و سایر منابع انسان‌زاد شامل ترافیک، صنایع و سوختن نفت و گاز (۳) در شهر صنعتی مسجد سلیمان است. گروه ۳: Cu، Zn، As و Cd؛ این فلزات آلاینده در مقایسه با زمینه خود، غلظت بالایی دارند. Cu، Zn، و Cd ممکن است از سایش وسایل نقلیه ناشی شود زیرا این فلزات به عنوان بخشی از مواد سازنده آلیاژ وسایل نقلیه است. از طرفی این فلزات ممکن است به علت فعالیت‌های صنعتی از جمله (ذوب فلزات، جوشکاری، تراشکاری و ...) وارد محیط شوند (۳).

### بررسی سطح آلودگی:

همانطور که قبلاً اشاره شد، شاخص زمین‌انباشت، شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکنواخت بررسی شدند (جداول ۷ و ۸).

### شاخص زمین‌انباشت:

طبق محاسبات انجام شده Igeo برای Pb در ۲ نمونه (ایستگاه ۱، ۵) کمتر از صفر بود که نشان‌دهنده عدم آلودگی است و در ۳ نمونه (ایستگاه ۲، ۳، ۶) غیرآلوده تا آلودگی متوسط ( $I_{geo} \leq 0$ ) و در ۴ نمونه (ایستگاه ۷، ۸، ۹، ۱۰) آلودگی متوسط ( $I_{geo} \leq 1$ ) و در ۲ نمونه (ایستگاه ۴، ۱۱) دارای

آلودگی متوسط تا شدیداً آلوده ( $2 \leq I_{geo} < 3$ ) است. میانگین شاخص زمین‌انباشت نمونه‌ها نیز بیانگر آلودگی متوسط است. برای فلز Cd در تمام نمونه Igeo  $\leq 0$  بود که نشان‌دهنده عدم آلودگی نمونه‌ها به این فلز است و تنها نمونه (ایستگاه ۸) آلودگی متوسط تا شدیداً آلوده ( $2 \leq I_{geo} < 3$ ) نشان داده شد. میانگین شاخص زمین‌انباشت نمونه‌ها نشان‌دهنده غیرآلوده بودن نمونه‌هاست. مقدار Igeo برای فلز As در تمام نمونه‌ها کمتر از صفر است که نشان‌دهنده عدم آلودگی است و تنها برای نمونه (ایستگاه ۸) غیرآلوده تا آلودگی متوسط ( $0 \leq I_{geo} < 1$ ) را نشان می‌دهد. میانگین شاخص زمین‌انباشت نیز مؤید غیرآلوده بودن نمونه‌ها به As است. Igeo برای فلز V و Ni در تمام نمونه‌ها کم‌تر از صفر است که مبین عدم آلودگی نمونه‌ها به این دو فلز است. میانگین شاخص زمین‌انباشت نیز مؤید این مطلب است. فلز Zn با  $I_{geo} \leq 1$  برای ۱ نمونه (ایستگاه ۱) غیر آلوده و برای ۲ نمونه (ایستگاه ۷، ۸) آلودگی متوسط و برای ۱ نمونه (ایستگاه ۱۱) آلودگی متوسط تا شدیداً آلوده و برای سایر نمونه‌ها غیرآلوده تا آلودگی متوسط نشان می‌دهد و میانگین شاخص زمین‌انباشت نیز آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. مقدار Igeo برای فلز Cu برای ۳ نمونه (ایستگاه ۱، ۴، ۵) (کمتر از صفر بود که نشان‌دهنده عدم آلودگی است. در نمونه (ایستگاه ۸) مقدار Igeo مبین آلودگی متوسط بود ( $0 \leq I_{geo} < 1$ ). در نمونه‌های (ایستگاه ۷، ۱۱) آلودگی متوسط تا شدیداً آلوده ( $2 \leq I_{geo} < 3$ ) و برای سایر نمونه‌ها مقدار Igeo نشان‌دهنده غیرآلوده تا آلودگی متوسط بود و میانگین شاخص زمین‌انباشت نیز بیانگر آلودگی متوسط برای نمونه‌ها است.

### شاخص آلودگی و آلودگی یکنواخت:

بیشینه، کمینه و میانگین شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکنواخت برای فلزات سنگین مورد مطالعه در جدول ۸ آورده شده است. شاخص آلودگی برای Pb، در ۵ نمونه آلودگی متوسط و در ۶ نمونه آلودگی بالا را نشان می‌دهد. برای Cd ۲ نمونه آلودگی پایین، ۱ نمونه آلودگی بالا و سایر نمونه‌ها

صنعتی، ترافیک و آلیاژ استفاده شده در بدنه خودروها وارد محیط می‌شوند.

۳- حضور  $Cd$  و  $As$  در محیط عمدتاً در اثر فعالیت‌های انسانی است.  $As$  موجود در شهر مسجد سلیمان ممکن است از فعالیت‌های صنعتی مانند ذوب و جوشکاری فلزات ناشی شود.  $Lv$  و همکاران (۲۰۰۶) (۴۰) بیان کردند که حضور  $Cd$  در گردوغبار خیابان به دلیل محصولات جانبی حاصل از فرایندهای متالورژیکی و احتراق گازوئیل در وسایل نقلیه هستند.  $Cd$  همچنین به عنوان محافظ در سطوح آلیاژی بدنه خودرو، باتری، گالوانیزاسیون و ... وجود دارد که به علت فرسودگی می‌تواند به محیط آزاد شده و در نتیجه باعث افزایش غلظت آن در محیط‌زیست شهری گردد.

۴- قابل ذکر است که آلودگی‌های ناشی از  $Ni$  و  $V$  در منطقه می‌تواند عمدتاً از آلودگی‌های نفت و گاز در شهر مسجد سلیمان ناشی شود. در پایان می‌توان گفت که علت افزایش غلظت فلزات در شهر مسجد سلیمان ابتدا به آلودگی‌های نفتی، ترافیک و سپس به صنایع موجود در سطح شهر برمی‌گردد. شایان ذکر است که مطالعه حاضر دارای کاستی‌ها و محدودیت‌هایی است، از جمله باید نقش مستقیم حجم و جریان ترافیک در شهر مسجد سلیمان در افزایش میزان فلزات سنگین در نظر گرفته شود و همچنین این پژوهش نمونه‌برداری از خاک‌های اطراف منطقه و مقایسه آن با نمونه‌های گردوغبار می‌طلبد و مطالعات نیازمند پایش، اندازه‌گیری و هرگونه تغییر در میزان فلزات سنگین هستند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی فلزات سنگین در گردوغبار خیابان در شهر مسجد سلیمان" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۳ و کد ۹۳۸۱۷۰۱ است که با حمایت دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شده است.

آلودگی متوسط دارند.  $As$  به جز برای ۲ نمونه آلودگی پایین، برای سایر نمونه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهد.  $Ni$  برای ۵ نمونه آلودگی پایین و برای ۶ نمونه آلودگی متوسط نشان می‌دهد.  $Zn$  و  $Cu$  برای ۳ نمونه آلودگی بالا و برای سایر نمونه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهد.  $V$  نیز تنها برای ۲ نمونه آلودگی پایین و برای سایر نمونه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. در این تحقیق شاخص آلودگی یکنواخت (میانگین شاخص آلودگی) برای  $Zn, Pb, Cu$  سطح آلودگی بالا و برای  $As, Cd, Ni$  و  $V$  سطح آلودگی متوسط را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به سه شاخص محاسبه شده، میزان آلودگی  $Zn, Pb, Cu$  در سطح شهر مسجد سلیمان نگران‌کننده است.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های گردوغبار در شهر مسجد سلیمان بررسی شد. آنالیزهای چندمتغیره، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکنواخت برای شناسایی منابع احتمالی آلاینده‌های فلزات سنگین استفاده شدند. به برخی از نتایج بدست آمده در زیر اشاره شده است:

۱- نتایج حاصل از  $PCA$  و  $CA$  نشان می‌دهد که  $Sc$  بطور عمده دارای منشأ طبیعی و  $V$  دارای منابع انسانی (احتراق سوخت‌های فسیلی) و طبیعی است. مطالعه  $Lv$  و همکاران (۴۰) نشان داده که میزان بالای  $V$  در محیط ناشی از احتراق نفت و زغال سنگ است.

۲-  $Zn, Pb, Cu$  عمدتاً از ترافیک (احتراق بنزین، سایش لاستیک خودروها، پوسیدگی بدنه خودروها و ...) و فعالیت‌های صنعتی ناشی می‌گردد.  $Hatami Manesh$  و همکاران (۳۹) نشان دادند که وجود فلزات سنگینی مانند  $Zn, Pb, Cu$  در محیط‌های شهری می‌تواند از سوزاندن زباله‌های شهری ناشی گردد که در نتیجه جابجایی توسط باد در سطح شهر فرونشست می‌کند و همچنین در اثر فعالیت‌های

## منابع

1. Adepoju-Bello A, Ogomolade O, Ayoola G, Coker H. Quantitative analysis of toxic metals in domestic water obtained from Lagos metropolis. *The Nigerian Journal of Pharmaceutical*. 2009;42(1):57-60.
2. Wang Y, Zhuang G, Zhang X, Huang K, Xu C, Tang A, et al. The ion chemistry, seasonal cycle, and sources of PM<sub>2.5</sub> and TSP aerosol in Shanghai. *Atmospheric Environment*. 2006;40:2935-52.
3. Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*. 2006;3835-3844.
4. Al-Khashman O. The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba city, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health*. 2007;29:197-207.
5. Andersson M, Ottesen R, Langeda M. Geochemistry of urban surfaces soils Monitoring in Trondheim, Norway. *Geoderma*. 2010;156:112-18.
6. Christoforidis A, Stamatis N. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*. 2009;151:257-63.
7. Hooda PS. *Trace Element in Soils*. London: Wiley; 2010.
8. Thorpe A, Harrison RM. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of Total Environment*. 2008;400:270-82.
9. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;160:33-45.
10. Faiz MY, Tufail M, Javed MMT. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 2009;92:186-92.
11. Song Y, Elias V, Loban A, Scrimgeour A, Ho E. Marginal zinc deficiency increases oxidative DNA damage in the prostate after chronic exercise. *Free Radical Biology and Medicine*. 2010;48:82-88.
12. Zhang Y, Guo X, Ping Z, Yu M, Shi X, Lv A, et al. Main source of drinking water and familial aggregation of Kashin-Beck disease: A population based on case-control family study. *Annals of Epidemiology*. 2009;19(8):560-66.
13. Fujihara J, Yasuda T, Koda Y, Agusa T, Kunito T, Tongu M, et al. Global analysis of genetic variation in human Arsenic (3+ oxidation state) methyltransferase (AS3MT). *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2009;243(3):292-99.
14. Stefaniak A, Virji A, Harvey C, Sbarra D, Day G, Hoover M. Influence of artificial gastric juice composition on bioaccessibility of cobalt and tungsten-containing powders. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2009;213:107-15.
15. Selinus O, Alloway BJ, Centeno JA, Finkelman RB, Fuge R, Lindh U, et al. *Essentials of Medical Geology*. 2nd ed. New York: Springer; 2013.
16. Zhu W, Bian B, Li L. Heavy metal contamination of road-deposited sediments in a medium size city of China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008;147(1-3):171-81.
17. Shi G, Chen Z, Li L, Teng J, Wang L, Xu S. Comprehensive assessment of toxic metals in urban and suburban street deposited sediments (SDSs) in the biggest metropolitan area of China. *Environmental Pollution*. 2010;158:694-703.
18. Duong TT, Lee B-K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*. 2011;92(3):554-62.
19. Banerjee AD. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dust of Delhi, India. *Environmental Pollution*. 2003;123(1):95-105.
20. Heydari M. Investigation of urinary stones formation concerning on medical geology aspects in the Khouzestan Province [dissertation]. Ahwaz: Shahid Chamran University; 2011 (in Persian).
21. Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier ES. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*. 2006;355(1):176-86.
22. Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 2006;65:863-72.
23. Saeedi M, Hosseinzadeh M, Jamshidi A, Pajooheshfar S. Assessment of heavy metals contami-



- nation and leaching characteristics in highway side soils, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009;151(1-4):231-41.
24. Viana M, Querol X, Alastuey A, Gil J, Menéndez M. Identification of PM sources by principal component analysis (PCA) coupled with wind direction data. *Chemosphere*. 2006;65:2411-18.
25. Simeonov V, Wolska L, Kuczynska A, Gurwin J. Sediment-quality assessment by intelligent data analysis. *Trends in Analytical Chemistry*. 2007;26:323-31.
26. Tokaloğlu Ş, Kartal Ş. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment*. 2006;40(16):2797-805.
27. Konishi S. *Introduction to Multivariate Analysis: Linear and Nonlinear Modeling*. Boca Raton: CRC Press; 2014.
28. Meza-Figueroa D, De la O-Villanueva M, De la Parra ML. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment*. 2007;41(2):276-88.
29. Hao Y, Guo Z, Yang Z, Fang Z, Feng J. Seasonal variations and sources of various elements in the atmospheric aerosols in Qingdao, China. *Atmospheric Research*. 2007;85:27-37.
30. Kartal Z, Aydın S, Tokalo G. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*. 2006;132:80-89.
31. Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier E. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of Total Environment*. 2006;355:176-86.
32. Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2):1058-62.
33. Cheng J, Shi Z, Zhu Y. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. *Journal of Environmental Science*. 2007;19:50-54.
34. Khabbaz S, Saray RK, Mobasheri R. An experimental investigation of the effect of fuel properties on combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine. *Fuel and Combustion*. 2009;1:41-54 (in Persian).
35. Alhassan A, Sule M, Atiku M, Wudil A, Dangambo M, Mashi J, et al. Study of correlation between heavy metal concentration, street dust and level of traffic in major roads of Kano Metropolis, Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2012;20(2):161-68.
36. Mohajer R, Salehi MH, Mohammadi J. Lead and cadmium concentration in agricultural crops (lettuce, cabbage, beetroot, and onion) of Isfahan Province, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014;7(1):1-10 (in Persian).
37. Zevenhoven R, Mukherjee A, Bhattacharya P. Arsenic flows in the environment of the European Union: A synoptic review. *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*. 2007;9:527-47.
38. Censi P, Darrah TH, Erel Y. *Medical Geochemistry: Geological Materials and Health*. New York: Springer; 2013.
39. Hatami Manesh M, Mirzaei M, Gholamali Fard M, Riyahi Bakhtiyari A, Sadeghi M. Evaluation of copper, zinc, and chromium concentration in landfill soil and hospital waste ash of Shahrekord municipal solid waste landfill. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;8(1):57-66 (in Persian).
40. Lv W, Wang Y, Querol X, Zhuang X, Alastuey A, López A, et al. Geochemical and statistical analysis of trace metals in atmospheric particulates in Wuhan, central China. *Environmental Geology*. 2006;51(1):121-32.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Determination of Geo-Environmental Factors and Source of Heavy Metals in Street Dust, Masjed-e- Soleiman City, Khuzestan Province

Z Javidaneh<sup>1</sup>, AR Zarsevandi<sup>\*2,4</sup>, F Rast Manesh<sup>3,4</sup>

1. Master Student of Environmental Geology, Department of Geology, Earth of Science, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran
2. Professor, Department of Geology, Earth of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Geology, Earth of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Dust Research Center, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 7 February 2016  
**Revised:** 26 April 2016  
**Accepted:** 4 May 2016  
**Published:** 18 September 2016

**Key words:** Masjed-e-Soleiman, Heavy metals, Pollution index, Enrichment factor, Accumulation index

**\*Corresponding Author:**  
[Zarasvandi\\_a@Scu.ac.ir](mailto:Zarasvandi_a@Scu.ac.ir)

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Street dust reflects one of the most important indicators of pollution in the urban environment. Most studies carried out in the world on heavy metal pollution are related to cities and metropolitans, while less attention has been paid to towns. Masjed-e- Soleiman, the most oil-rich town is located in the north eastern part of Khuzestan Province in Iran. This town contains geogenic pollutants such as gas and oil sources, oil and gas activities, oil and gas combustion, industries, and heavy traffic, which make it important from the viewpoint of environmental impact assessment.

**Materials and Methods:** For monitoring and management of pollution, 11 samples of street dust were collected and prepared from different stations within the town during the dry season (June 2013). Each sample was analyzed using ICP-OES instrument.

**Results:** Possible sources of the heavy metals were identified by multivariate analyses such as Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA). In addition, factors such as the Index of Geo-accumulation (Igeo), Pollution Index (PI), Integration Pollution Index (IPI), and Enrichment Factor (EF) were assessed to determine the degree of heavy metals pollution in street dust of the Masjed-e- Soleiman Town. The results of PCA and CA indicated that the region is mostly affected by oil pollution (both natural and combustion of fossil fuels), traffic, and industrial activities (PI revealed high levels of Pb, Cd, Cu, and Zn pollution in samples and the average level of Ni, As, and V pollution in other samples). Igeo indicated the moderate to severe pollution of some samples to Pb, Cd, Cu, and Zn while no to moderate pollution against Ni, As, and V in other samples. EF for Pb, Cd, Cu, and Zn showed a significant pollution in some samples and other samples represented the least pollution against Ni, As, and V.

**Conclusion:** Results showed that the concentrations of heavy metals in dust samples were higher than control samples in Masjed-e- Soleiman. Thus, the classification of pollution in street dust in Masjed-e- Soleiman is as follows:  $IPI > EF > Igeo \approx PI$ .

Please cite this article as: Javidaneh Z, Zarsevandi AR, Rast Manesh F. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman City, Khuzestan Province. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(2):155-70.