

## بررسی آلودگی محیط‌زیستی فلزات سنگین و تعیین شاخص‌های محیط‌زیستی در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز

منصور عادل پور<sup>۱</sup>، پرویز رفعتی<sup>۲</sup>

۱ دانش آموخته دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
۲ استادیار گروه معماری، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیر عامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

### چکیده

هدف از این مطالعه، شناسایی و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابانی شهر اهواز است. شهر اهواز دارای آلودگی‌های زمین‌زاد، ترافیک سنگین، صنایع، احتراق نفت و گاز، و فعالیت‌های نفتی می‌باشد. بنابراین، ارزیابی تأثیرات محیط‌زیستی در این شهر حایز اهمیت است. برای تعیین منشأ احتمالی فلزات آلاینده، از آنالیزهای چند متغیره مانند آنالیز خوشه‌ای (CA) و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. همچنین، فاکتورهایی مانند فاکتور غنی‌شدگی (EF)، شاخص آلودگی (PI)، شاخص آلودگی یکنواخت (IPI) و شاخص زمین‌انباشت (Igeo) برای تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که میانگین غلظت  $Pb, Zn, Cu, Cd, As, Ni$  و  $V$  در گرد و غبار خیابانی به ترتیب ۵۹، ۲۲۰، ۷۸، ۰/۳، ۳/۳، ۴۰ و ۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نتایج حاصل از PCA و CA نشان داد که منطقه بیشتر تحت تأثیر ترافیک سنگین، آلودگی‌های نفتی و فعالیت‌های صنعتی قرار دارد. میانگین فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌ها به صورت  $Pb < Zn < Cu < As < Cd < Ni < V$  کاهش می‌یابد. شاخص آلودگی نشان‌دهنده سطح بالای آلودگی بعضی نمونه‌ها به  $Pb, Zn, Cu$  و سطح متوسط تا کم آلودگی سایر نمونه‌ها به  $As, Ni$ ،  $V$  و  $Cd$  است. طبق تحلیل‌های صورت گرفته روی نمونه‌های گرد و غبار خیابانی، ظاهراً منشأ فلزات  $Pb, Cu, Zn$  و  $Ni$ ، انسانی بوده و فلزات  $Cd$  و  $As$  نیز تا حدودی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند، در حالی که فلزات  $V$  و  $Ti$  منشأ کاملاً طبیعی دارند. طبقه‌بندی میزان آلودگی در گردوغبار خیابانی شهر اهواز به ترتیب زیر است:  $PI \approx IPI > EF > Igeo$ .

**کلید واژه‌ها:** آلودگی محیط‌زیستی، فلزات سنگین، گرد و غبار خیابانی، اهواز

## سرآغاز

گرد و غبار خیابانی موجود در خیابان‌ها و پیاده‌روها به‌عنوان یکی از مهمترین پیامدهای محیط‌زیستی فعالیت‌های انسان، در چند سال اخیر مورد توجه بسیاری از محققین علوم محیط‌زیست قرار داشته است (Sareban & Saeb, 2018). از بین آلاینده‌های متعدد همراه با غبارهای خیابانی، فلزات سنگین به‌دلیل سمیت و پایداری آن‌ها در محیط‌زیست و نگرانی از نظر سلامت عمومی حایز اهمیت است (Nazarpour et al., 2018). این فلزات به‌دلیل تهدیداتی که می‌تواند متوجه سلامت انسان کند بسیار مهم هستند. به‌طورکلی آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین به علت سمیت و تجزیه‌ناپذیری یک مشکل جدی تلقی می‌شود (Moradi & Mirzaei, 2017) و به‌دلیل خاصیت تجمع‌پذیری و سرطان‌زایی می‌توانند مشکلات متعدد بهداشتی و محیط‌زیستی ایجاد کنند (Hadia & Ambreen, 2018). فلزات سنگین از قبیل مس، سرب، روی، آرسنیک، کروم، نیکل و کادمیم به دلیل دارا بودن خاصیت سمی و تجمع‌زیستی از مهم‌ترین آلاینده‌ها محسوب می‌شوند و از نظر سمیت و پایداری، جز خطرناک‌ترین گروه طبقه‌بندی شده‌اند و به‌دلیل ویژگی‌های آلاینده‌گی، سمی بودن، زمان ماندگاری بالا و تجمع آن‌ها در بافت جانداران، از اهمیت اکولوژیکی و بیولوژیکی زیادی برخوردارند (Atabaki, 2018). افزایش غلظت این عناصر اثرات منفی زیادی بر سلامت انسان دارد و بیشتر از طریق هضم، تنفس و جذب پوستی صورت می‌گیرد (Rehman et al., 2018). کودکان نسبت به بزرگسالان به دلیل سرعت رشد سریع‌تر و متابولیسم آن‌ها، به این فلزات بسیار حساس هستند (Matta & Gjyli, 2016). این فلزات می‌توانند از طریق غذا، آب، هوا و یا پوست وارد بدن انسان شوند (Lentini et al., 2017) و میزان بیش از اندازه آن‌ها سبب مسمومیت‌های حاد مزمن مانند آسیب به سیستم عصبی مرکزی، ترکیب خون، ریه، کلیه‌ها، کبد و حتی مرگ می‌شود (Wei et al., 2015). بلعیدن، تنفس و تماس پوستی از مهمترین مسیریایی است که انسان در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرد (Ravankhah et al., 2015). فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی یکی از آلاینده‌های اصلی محیط‌زیست شهری هستند که می‌تواند به دلیل ترافیک سنگین، صنایع، فرسایش ساختمان‌ها، فرسایش لاستیک و قطعات استفاده شده در خودروها، فعالیت‌های معدنی

و احتراق سوخت‌های فسیلی ایجاد شود (Mukati et al., 2017). با توجه به سهم آلودگی گرد و غبار در افزایش آلودگی هوا، غبار راسب شده در اطراف جاده‌ها و خیابان‌های سطح شهر به منزله یکی از عوامل ارزیابی میزان آلودگی هوای شهری بررسی می‌شود (Surucu et al., 2018) و به این خاطر امروزه مطالعات زیادی در ایران و خارج از کشور در مورد غلظت و پراکندگی فلزات سنگین در مورد گرد و غبار خیابانی انجام شده است. برای مثال در ایران، مطالعات در تهران (Kamani et al., 2017)، کاشان (Moradi & Mirzaei, 2017) و در اصفهان (Soltani et al., 2015)، درباره ارزیابی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار شهری، نشان دادند 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 فرسایش مصالح ساختمانی و یا منابع طبیعی باشد. مطالعه‌های گرد و غبار خیابانی شهرهای جنوبی کشور از جمله اهواز (Zarasvandi et al., 2017)، آبادان (Ghanavati, 2018)، مسجد سلیمان (Javidaneh et al., 2016) و بوشهر (Naderizadeh et al., 2016) نشان داد که بیشترین آلودگی گرد و غبار خیابانی مربوط به فلزات Cu، Pb، Zn و Cd است که بیشتر در ارتباط با ترافیک، نفت، فعالیت‌های صنعتی و سوختن سوخت‌های فسیلی می‌باشد که با نتایج به‌دست آمده فلزات سنگین در ذرات راسب شونده شهرهای زنجان (Jamal et al., 2018) و بجنورد (Solgi & Keramaty, 2018) همسو است. به‌طور خاص غرب و جنوب‌غرب کشور ایران تا حد قابل توجهی تحت تاثیر گرد و غبار حمل شده توسط باد شمال که یک باد گرم شمال‌غربی است و بیشتر در طول بهار می‌وزد و مقادیر زیادی گرد و غبار را از کشور عراق با خود حمل می‌کند، قرار می‌گیرد (Francis et al., 2017). استان خوزستان به لحاظ موقعیت جغرافیایی در مختصات حدودی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه عرض شمالی از خط استوا در جنوب‌غربی کشور، در مجاورت بیابان‌های کشور عراق و فاصله‌ای کم با صحرای عربستان و نیز فعالیت مجتمع‌های بزرگ پالایشگاه، پتروشیمی و شهرک‌های صنعتی، محل انباشت حجم بسیار زیادی از ترکیبات حاوی فلزات سنگین است. بنابراین، استان

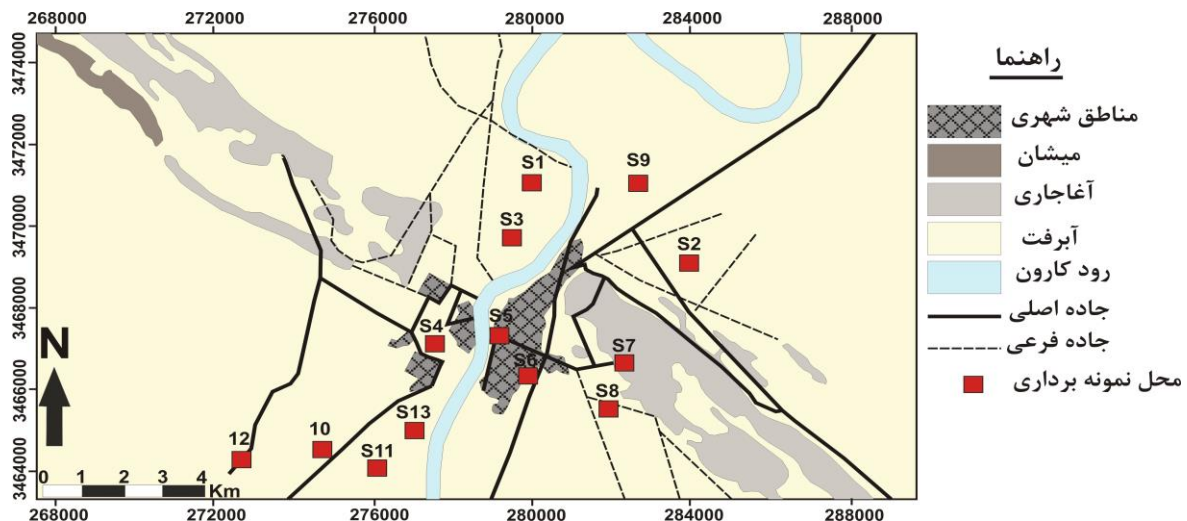
پرجمیت ایران به‌شمار می‌آید. میانگین دمای اهواز، ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد؛ رطوبت نسبی آن ۴۸٪ و مجموع بارندگی در سال، ۲۳۴ میلی‌متر گزارش شده است. آلودگی هوا در شهر اهواز، ناشی از فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل، خانگی و کشاورزی است. در بخش صنعت، واحدهای بزرگی همچون صنایع فولاد، گروه ملی فولاد، پالایشگاه، تاسیسات شرکت نفت، فعالیت‌های حفاری و استخراج نفت و برخی کارخانجات آسفالت و سیمان از منابع مهم آلودگی محسوب می‌شوند. به‌طور کلی مهم‌ترین عامل آلودگی هوا در شهر اهواز به ترتیب مربوط به خروجی آلاینده‌های صنایع مستقر در محدوده‌ی شهری و منابع متحرکی چون خودروها و وسایل نقلیه است (Zarasvandi et al., 2017). علاوه بر موارد ذکر شده، پدیده گرد و غبار و ریزگردها از دیگر آلاینده‌های هوا در شهر اهواز به‌شمار می‌آیند. سازندهای غالب زمین‌شناسی در منطقه شامل رسوبات آبرفتی (نهشته‌های کواترنری)، میشان و آجاجاری هستند (شکل ۱). سازند میشان در شمال غرب شهر اهواز گسترش یافته است. سازند آجاجاری با روند شمال غرب-جنوب شرق، مهم‌ترین سازند در منطقه بوده که شهر اهواز بر روی آن و رسوبات کواترنری قرار گرفته است.

خوزستان و به‌ویژه شهر اهواز دارای آلودگی‌هایی از قبیل فعالیت‌های نفتی، احتراق نفت و گاز، صنایع، ترافیک و گرد و غبار بوده و به‌منظور پالایش و مدیریت آلودگی‌های موجود، طی شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب، ارزیابی محیط‌زیستی در این شهر حایز اهمیت است. بنابراین، با در نظر داشتن اثرات جبران‌ناپذیر تجمع فلزات سنگین بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده، مطالعه حاضر با هدف بررسی ارزیابی غلظت فلزات سنگین (V، Ni، As، Cd، Cu، Zn، Pb) در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز با استفاده از شاخص‌های محیط‌زیستی انجام شده است.

## روش مطالعه

### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر اهواز، در مرکز استان خوزستان، در طول جغرافیایی ۶۵' و ۴۸° عرض جغرافیایی ۳۰' ۳۱° و در بخش جلگه‌ای به ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا قرار دارد. مساحت این شهر، ۲۰,۴۷۷ هکتار است که ۶,۹۲۳ هکتار از آن در بافت شهری قرار دارد. جمعیت اهواز بالغ بر ۱,۱۱۲,۰۲۱ نفر می‌باشد و به‌عنوان هفتمین شهر



شکل (۱): نقشه زمین‌شناسی منطقه شهری اهواز که در آن موقعیت نمونه‌های برداشت شده نشان داده شده است

مناطق مختلف شهر مانند مناطق با ترافیک بالا (نادری، گلستان و کیانپارس)، مناطق صنعتی (فولاد و لوله‌سازی)، مسکونی، بیمارستانی، ایستگاه قطار، پارک بازی و مناطقی که گرد و غبار برای مدتی در آن تجمع یافته است انجام شد (شکل ۱). حدود ۵۰۰ گرم از نمونه مرکب گرد و غبار جمع‌آوری و پس از

## مواد و روش‌ها

در خرداد سال ۱۳۹۶ به‌منظور بررسی غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابان شهر اهواز، با استفاده از برس و کاردک پلاستیکی، از ۱۳ ایستگاه از پیاده‌روها و کناره‌های جاده‌های شهر اهواز، نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری از

گروه‌های مختلف است. در این مطالعه آنالیز خوشه‌ای توسط روش واردز (Ward's Method) و روش فاصله‌ای جذر هندسی اقلیدس انجام گرفته است (Tokalioğlu & Kartal, 2006). نتایج در شکل (۳) نمایش داده شده است.

**فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor, EF):** برای 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 را بررسی می‌کند. فاکتور غنی‌شدگی یک عنصر با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

$C_x$  غلظت فلزات سنگین و  $R$  غلظت عنصر مرجع است.  $C_x$  Sample غلظت فلز مرجع برای گرد و غبار و  $R$  Reference غلظت فلز مرجع برای خاک غیر آلوده است. عنصر مرجع اغلب یک عنصر زمین‌زاد (Geogenic) مانند  $Mn, Sc, Fe, Al, Ti$  و ... است (Meza-Figueroa et al., 2007). در این مقاله فلز  $Ti$  به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شده است. در این ارزیابی مقادیر مرجع فلزات، مقادیر شاهد در ناحیه مورد مطالعه است. بر اساس جدول (۱) فاکتور غنی‌شدگی دارای پنج طبقه آلودگی است (Xu et al., 2018).

#### 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	حداکثر آلودگی

**شاخص زمین‌انباشت (Geo-accumulation Index, Igeo):** این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان و خاک استفاده شده است. فرمول Igeo عبارتست از:  $Igeo = \log_2 [C_n / 1.5B_n]$ ، که در آن  $C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه و  $B_n$  غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه شاهد است (Lu et al., 2009). در این مطالعه از غلظت فلزات در ایستگاه ۱۳ به‌عنوان شاهد زمین‌شیمیایی محلی استفاده شده است (جدول ۲).

پوشاندن با فویل‌های آلومینیومی و تعبیه در ظروف شیشه‌ای، شماره‌گذاری و تا زمان انجام آزمایش، در یخچال در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد نگاه‌داری شدند.

#### آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌ها در آزمایشگاه توسط دمای اتاق کاملاً خشک و پس از جداسازی مواد زاید مانند شیشه، چوب و ...، نمونه‌ها در بوتله چینی پودر و با ال‌ک ۲۰۰ مش غربال شدند. در ادامه معادل ۱۰۰ گرم وزن خشک از هر نمونه جدا و برای آنالیز توسط دستگاه طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین، به شرکت زرازمای تهران ارسال شدند. آماده‌سازی نمونه‌ها برای آنالیز، توسط دستگاه ICP-OES با روش انحلال ۴ اسید ( $HF, HCl, HClO_4, HNO_3$ ) صورت گرفت (Yongming et al., 2006). پس از توزین نمونه (۰/۲۵ گرم) (۸ HF mL) ۴۰ درصد و (۱ HClO<sub>4</sub> 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 درجه سانتی‌گراد قرار داده تا یک محلول ژله‌ای به‌دست آید. سپس (۳۷/۵ HCL mL) ۳۷ درصد و (۱/۲۵ HNO<sub>3</sub> mL) ۶۵ درصد اضافه نموده و محلول را به حجم ۲۵ mL رسانده و توسط دستگاه ICP-OES در شرکت زرازمای تهران آنالیز گردید.

#### آنالیز داده‌ها

روش‌های آنالیز چند متغیره مانند تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) به‌طور گسترده‌ای برای تشخیص منابع آلودگی در خاک (Latif et al., 2018)، ذرات معلق (Błaszczak, 2018)، رسوبات و گرد و غبار خیابان‌ها (Al-Dabbas et al., 2018) استفاده شده است. در این مطالعه، آنالیزهای چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است.

#### تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis, PCA):

برای کاهش دامنه (دیمانسیون) داده‌ها به کار گرفته شده است. معمولاً فاکتور بارگذاری بزرگ‌تر از ۰/۷۱ مورد توافق است (Konishi, 2014).

#### آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis, CA):

برای تشخیص مواد و ترکیبات گوناگون و طبقه‌بندی آن‌ها به

جدول (۲): استاندارد درجه آلودگی توسط شاخص زمین انباشت

Igeo	طبقه	سطح آلودگی
<۰	۰	غیر آلوده
۰-۱	۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۱-۲	۲	آلودگی متوسط
۲-۳	۳	آلودگی متوسط تا به شدت آلوده
۳-۴	۴	به شدت آلوده
۴-۵	۵	به شدت تا بی‌نهایت آلوده
>۵	۶	بی‌نهایت آلوده

شاخص آلودگی (Pollution Index, PI) و شاخص آلودگی یکنواخت (Integrated pollution index, IPI)

(IPI): شاخص آلودگی برای ارزیابی میزان آلودگی کاربرد دارد.

فرمول آن به صورت زیر است:  $PI = Cn/Bn$

Cn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه و Bn غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه شاهد است، که در این مطالعه از غلظت فلزات در ایستگاه ۱۳ به‌عنوان شاهد زمین شیمیایی محلی استفاده شده است. شاخص آلودگی یکنواخت نیز همان میانگین شاخص آلودگی است و برای پایش کیفیت محیط‌زیست خاک به‌طور گسترده کاربرد دارد (Lu et al., 2009) (جدول ۳).

جدول (۳): طبقه‌بندی استاندارد شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکنواخت

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

در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۴) نشان داده شده است. میانگین غلظت Cu، Pb، Zn، Ni، V، As و Cd به ترتیب ۰/۳۵، ۱۸/۸۱، ۶۵/۰۹، ۲۳۱/۹، ۴۰/۳۶، ۴۶/۶۳، ۳/۱۴۵ و ۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمده است. بر این اساس میانگین غلظت روند نزولی در غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده ( $Cd < As < Ni < V < Pb < Cu < Zn$ ) قابل مشاهده است.

#### یافته‌ها

به‌منظور ارزیابی ریسک و نیز آگاهی از میزان غلظت فلزات سنگین موجود در محیط‌های شهری، پایش این فلزات آلاینده ضروری است. بر اساس مطالعه‌های آزمایشگاهی، آماری و توصیفی انجام شده، نتایج به‌دست آمده به‌صورت جداول و نمودار در ادامه، بحث شده است. نتایج تجزیه شیمیایی فلزات سنگین

جدول (۴): کمینه، بیشینه و میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان شهر اهواز (بر حسب mg/kg)

Cd	As	V	Ni	Zn	Pb	Cu	فلزات سنگین پارامتر
۰/۱۹	۲/۵	۳۶	۳۳	۸۱	۱۶	۳۴	حداقل
۱/۷	۵/۱	۵۸	۵۱	۶۳۱	۱۴۹	۱۸۹	حداکثر
۰/۳	۳/۳	۴۶	۴۰	۲۲۰	۵۹	۷۸	میانگین

نظر گرفته نشد. در این جدول نتایج برای مولفه‌های اصلی ۱، ۲، ۳ و ۴ به همراه بار عامل (بردار ویژه) هر متغیر ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد که مولفه‌های اول، دوم و سوم حدود ۸۰/۴٪ از کل تغییرپذیری را توجیه کرده‌اند. برای انتخاب ویژگی‌های مهم برای تفسیر هر مولفه بارهای عاملی بزرگتر از

#### تحلیل مولفه‌های اصلی

نتایج حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی (جدول ۵) بر روی داده‌های فلزات سنگین مورد مطالعه (در ۱۳ نمونه گرد و غبار منطقه مطالعاتی) براساس فرض در نظر گرفته شده (ارزش ویژه بالای ۱)، منجر به ایجاد سه مولفه اصلی شد و بقیه مولفه‌ها در

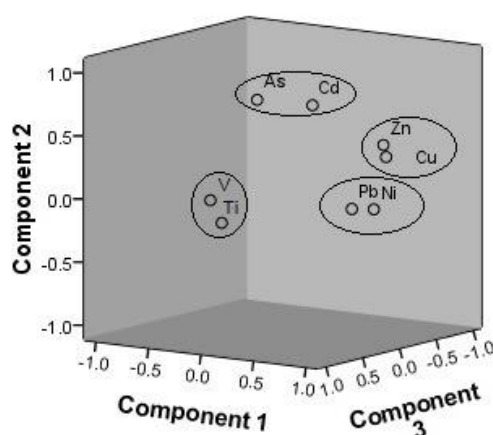
مشتق شده است. مولفه دوم شامل آرسنیک و کادمیم به طور عمده از فعالیت‌های انسانی منشا می‌گیرند و تنها ممکن است منابع تولیدکننده آن‌ها با هم متفاوت باشند (Javidaneh et al., 2016). وانادیم و تیتانیوم نسبت به دیگر فلزات متفاوت هستند که احتمالاً بیانگر منشا عمدتاً طبیعی (لیتوژنیک) است (Lv et al., 2006). وانادیم ناشی از فعالیت‌های صنعتی - نفتی موجود در منطقه و همچنین به طور طبیعی از سازندهای موجود است (Lv et al., 2006) و فلز تیتانیوم با توجه به خنثی بودن عمدتاً دارای منشا زمین‌زاد است (Meza-Figueroa et al., 2007). نمودار پراکنش این متغیرها در شکل (۲) نیز این موضوع را نشان داده است.

۰/۷۱ به صورت بولد شده استخراج شدند. بار عامل در حقیقت ارتباط بین متغیرها با هر یک از مولفه‌ها را نشان می‌دهد (Doabi et al., 2016). مولفه اول شامل مس، سرب، روی و نیکل ۴۱/۲٪ از کل تغییر پذیری، مولفه دوم شامل آرسنیک و کادمیم ۱۹/۲٪ از کل تغییر پذیری و مولفه سوم شامل وانادیم و تیتانیوم ۱۴/۹٪ از کل تغییر پذیری را توجیه کرده‌اند. نتایج حاصل نشان داد که مولفه اول ناشی از یک منبع مشترک نفتی - صنعتی موجود در ناحیه است. سرب و نیکل به همراه مس و روی به عنوان فلزات سنگین به شدت انسان‌زاد طبقه‌بندی می‌شوند (Mukati et al., 2017) و از یک منبع انسانی با منشا بیشتر صنعتی به همراه منابع ترافیکی و احتراق سوخت‌های فسیلی

جدول (۵): ماتریس فاکتورهای چرخیده شده برای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار خیابانی اهواز بر اساس تجزیه مولفه اصلی

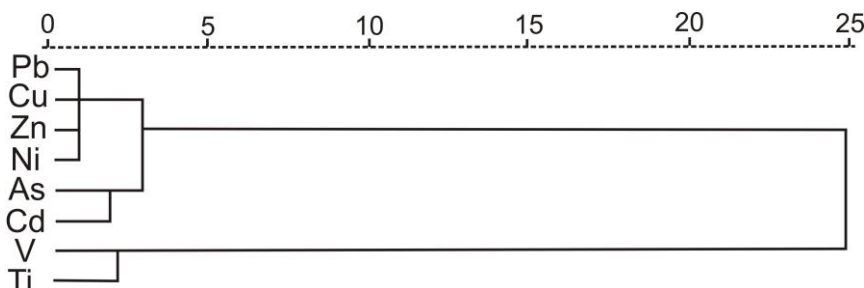
عناصر	مولفه‌ها		
	۱	۲	۳
مس	۰/۸۵۲	-۰/۲۲۱	۰/۰۰۷
سرب	۰/۸۹۰	۰/۲۰۳	-۰/۳۶۶
روی	۰/۹۱۷	-۰/۰۸۶	۰/۱۲۸
نیکل	۰/۸۴۹	-۰/۰۵۱	-۰/۱۴۵
آرسنیک	۰/۱۲	۰/۷۰۷	۰/۴۴۵
کادمیم	۰/۳۷	۰/۷۰۲	۰/۱۹۵
وانادیم	-۰/۰۳۲	-۰/۴۴۱	۰/۸۴۱
تیتانیوم	-۰/۰۶۲	۰/۱۰۲	۰/۹۳۲
ارزش ویژه	۳/۲۳۳	۱/۳۴۵	۱/۰۴۹
واریانس توجیه شده (درصد)	۴۶/۱۸۶	۱۹/۲۱۵	۱۴/۹۸۴
واریانس تجمعی (درصد)	۴۶/۱۸۶	۶۵/۴۰۱	۸۰/۳۸۴

جاویدانه و همکاران، طی بررسی گرد و غبار اتمسفری مسجد سلیمان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، دو منبع: منابع انسانی برای مس، سرب، روی، آرسنیک و کادمیم و منبع طبیعی برای اسکاندیم را به عنوان منابع این فلزات گزارش کردند (Javidaneh et al., 2016). بر اساس مطالعه صورت گرفته در آبادان عناصر سرب، روی، مس، کادمیم، نیکل، آرسنیک، کبالت و کروم دارای منشا انسانی هستند (Ghanavati, 2018). با توجه به مطالعه‌های انجام شده در کاشان، منشا عناصر مس، سرب و روی انسانی بوده و فلزات کادمیم و آهن تا حدودی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند، در حالی که فلزات نیکل و کروم منشا کاملاً طبیعی



شکل (۲): نمودار پراکنش مولفه‌ها برای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار خیابانی اهواز

انجام شده در اسپانیا، منابع انتشار ۲۷ فلز موجود در گرد و غبار خیابانی اسپانیا با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، مربوط به سه منبع: منابع طبیعی، منابع انسانی و یا ترکیبی از این دو می‌باشد (Ordóñez et al., 2013). نتایج حاصل از دندروگرام متغیرهای مورد بررسی به روش آنالیز خوشه‌ای در شکل (۳)، سه خوشه: ۱. مس-سرب-روی-نیکل؛ ۲. کادمیم-آرسنیک؛ ۳. وانادیم-تیتانیم را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان منابع انتشار احتمالی آلاینده‌ها را به دو دسته اصلی I و II تقسیم کرد. خوشه‌های اول و دوم در فاصله دورتری به هم می‌پیوندند و دسته اصلی I را تشکیل می‌دهند که می‌تواند نشان‌دهنده منابع متفاوت انسانی برای این عناصر باشد. خوشه سوم به تنهایی دسته اصلی II را تشکیل می‌دهد که با توجه به ضریب همبستگی ضعیفی که با عناصر خوشه I دارد می‌توان گفت منبع انتشار این دو فلز سنگین بیشتر طبیعی است.



شکل (۳): دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار خیابانی اهواز

بین مس-سرب-روی-نیکل و آرسنیک-کادمیم می‌تواند نشان‌دهنده وجود منابع متفاوت انسانی برای این دو جفت عناصر باشد. همبستگی مثبت می‌تواند نشان‌دهنده روابط میان این فلزات و نشان‌دهنده منبع ورودی آن‌ها باشد و با توجه به این که این فلزات در صنایع کاربرد دارند و همچنین در محیط‌زیست شهری دارای غلظت فراوان‌ترند بیان‌کننده منشأ انسان‌زاد آن‌ها می‌باشد (Rastmanesh et al., 2016). عدم همبستگی وانادیم با عناصر روی، مس، کادمیم و همچنین همبستگی پایین آن با سرب و آرسنیک نشان می‌دهد که این فلز احتمالاً منشأ طبیعی دارد. بنابراین می‌توان استنباط کرد که منابع عمده برای فلزات مطالعه شده به جز برای وانادیم و تیتانیم انسان‌زاد است.

دارند (Moradi & Mirzaei, 2017). سلمانزاده و همکاران، پس از بررسی منابع گرد و غبار خیابانی تهران به روش مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، گزارش کردند که سرب، روی، مس، کروم و نیکل در ارتباط با فعالیت‌های انسانی می‌باشند، در حالی که منگنز و لیتیم به‌طور عمده توسط منابع طبیعی کنترل می‌شوند (Salmanzadeh et al., 2013). این مطالعات نشان‌دهنده منشأ طبیعی، انسانی یا مشترک برای گردوغبار هستند و قابل مقایسه با گردوغبار خیابانی شهر اهواز می‌باشند. از طرفی بیشترین میزان آلودگی مربوط به فلزات مس، سرب و روی است که در ارتباط با فعالیت‌های انسانی هستند.

### آنالیز خوشه‌ای

آنالیز خوشه‌ای برای گروه‌بندی عناصر مشابه از میان داده‌های متنوع کاربرد داشته و برای شناسایی منابع بالقوه آلودگی قابل استفاده است (Yang et al., 2017). بر اساس مطالعه‌های

### پیرسون

همبستگی بین فلزات می‌تواند اطلاعاتی در خصوص منشأ فلزات و وقوع فرآیندهای مشابه ظهور آن فلزات را فراهم نماید (Nejatijahromi et al., 2018). نتایج حاصل از آنالیز همبستگی پیرسون برای غلظت فلزات در جدول (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین عناصر مس-سرب-روی-نیکل و آرسنیک-کادمیم همبستگی بالایی در سطح احتمال یک درصد وجود دارد و با وانادیم همبستگی نشان نمی‌دهند. ضریب همبستگی بالا بین فلزات مختلف می‌تواند به معنی منابع مشترک آن‌ها، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حمل و نقل باشد (Rastmanesh et al., 2016). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً این دو گروه از فلزات، از دو منبع متفاوت منشأ می‌گیرند. وجود همبستگی مثبت و قابل توجه

## فاکتور غنی‌شدگی

یکی از روش‌های رایج در ارزیابی آثار انسان‌زاد، محاسبه ضریب غنی‌شدگی بهنجار شده در غلظت‌های بالاتر از حد زمینه فلزات است (Amiri et al., 2016). برای محاسبه EF باید مقدار فلز اندازه‌گیری شده را با توجه به فلز مرجع نمونه مانند اسکاندیم،

تیتانیوم، آهن، منگنز یا آهن بهنجار کرد (Binggan & Linsheng, 2010). نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای نشان داد که Ti یکی از عناصر خنثی یا زمین‌زاد در محیط‌زیست است. در نتیجه مقدار EF هر فلز با استفاده از عنصر مرجع Ti محاسبه شده است (جدول ۷).

جدول (۶): ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در گرد و غبار منطقه مطالعاتی

	Pb	As	Cd	Cu	Zn	V	Ni
Pb	۱						
As	۰/۰۹	۱					
Cd	۰/۱۸	۰/۵۱	۱				
Cu	۰/۶۳	۰/۱۶	۰/۳۲	۱			
Zn	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۳۷	۰/۸۳	۱		
V	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۰۴	-۰/۲۰	-۰/۱۹	۱	
Ni	۰/۷۴	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۵۵	۰/۶۰	-۰/۰۶	۱

جدول (۷): بیشینه، کمینه و میانگین غنی‌شدگی در فلزات سنگین مورد مطالعه

انحراف معیار	مولفه‌ها				فاکتور غنی‌شدگی (EF)
	میان	کمینه	بیشینه	میانگین	
۴۶/۰۶	۷۵	۱/۲۱	۶/۷۵	۳/۱۹	مس
۴۴/۲۷	۴۶/۵	۱/۰۱	۱۰/۵۷	۳/۷۸	سرب
۱۷۸/۶۲	۲۰۲/۵	۱/۰۷	۱۰/۸۸	۳/۴۱	روی
۴/۴۹	۳۸/۵	۰/۹۲	۱/۴۲	۱/۱۲	نیکل
۰/۸۳	۳/۲	۱/۰۴	۲/۱۳	۱/۴۱	آرسنیک
۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۷۹	۵/۴۲	۱/۳۹	کادمیم
۴/۸۷	۴۶	۰/۸۴	۱/۳۵	۱/۰۸	وانادیم

شده بیشترین مقدار EF مربوط به فلز روی و سرب (به ترتیب ۱۰/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱۰/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و با میانگین (به ترتیب ۳/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با آلودگی قابل توجه تعلق دارد که از بخش‌های دارای فعالیت‌های صنعتی (جوشکاری، فلزکاری، مکانیکی و کارگاهی) برداشت شده و احتمالاً آلودگی ناشی از موارد ذکر شده است. مقادیر بالای سرب و روی در سطح شهر اهواز قابل مقایسه با شهرهای صنعتی مانند بوشهر و عسلویه است. این فلزات در سطح شهرهای بوشهر و عسلویه در طبقه آلودگی قابل توجه قرار دارند (Naderizadeh et al., 2016).

سرب و روی در گروه فلزاتی قرار می‌گیرند که تا حد قابل ملاحظه‌ای توسط فعالیت انسان‌ها ایجاد می‌شوند (Mahmoudi, 2012). آرسنیک و کادمیم ممکن است از

اطلاعات موجود در جدول (۷) نشان می‌دهد که بیشترین احتمال خطر ناشی از فلزات سنگین نمونه‌های گرد و غبار منطقه مطالعاتی اهواز، به ترتیب مربوط به  $V < Ni < Cd < As < Cu < Zn < Pb$  می‌باشد. مقادیر بالای این فاکتور نشان‌دهنده غنی‌شدگی و خطرات احتمالی فلز می‌باشد (Doabi et al., 2016). میانگین فاکتور غنی‌سازی برای فلزات روی، مس و سرب بالاتر از ۳ می‌باشد؛ در حالی که برای فلزات نیکل، آرسنیک، کادمیم و وانادیم کمتر از ۳ است. بیشینه فاکتور غنی‌سازی برای فلزات سرب و روی بالاتر از ۱۰ می‌باشد که نشان می‌دهد این فلزات در گرد و غبار خیابانی اهواز عمدتاً از منابع انسانی منشأ گرفته‌اند (Yongming et al., 2006). در نتیجه فاکتور غنی‌شدگی به عنوان یک شاخص بایر تشخیص منابع انسانی از طبیعی (یا هر دو) است. در بین فلزات بررسی



فعالیت‌های نفتی - صنعتی ایجاد شده باشد ( Mukati et al., 2017).

### شاخص زمین انباشت (Igeo)

برای تعیین میزان غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آنالیز شده از شاخص  $I_{geo}$  استفاده شده است. شاخص  $I_{geo}$  توسط Muller در سال ۱۹۶۹، با مقایسه میزان فلزات سنگین در حال حاضر و پیش از صنعتی شدن برای تعیین درجه آلودگی و میزان تاثیر عوامل طبیعی از عوامل انسانی در خاک و رسوب معرفی شده است (Muller, 1969). بر اساس میانگین شاخص  $I_{geo}$  فلزات مورد بررسی دارای روند نزولی به ترتیب زیر می‌باشند:

$(1/33) < Pb < (1/18) < Zn < (1/0.9) < Cu < (-0/0.9) < As < (-0/11)$

جدول (۸).  $(-0/43) < Cd < (-0/48) < Ni < (-0/48) < V$

سایش وسایل نقلیه ناشی شوند. زیرا، این فلزات به عنوان بخشی از مواد سازنده آلیاژ وسایل نقلیه است. از طرفی آرسنیک و کادمیم ممکن است به علت فعالیت‌های صنعتی از جمله ذوب فلزات، تراشکاری و جوشکاری و ... وارد محیط شوند (Javidaneh et al., 2016). کم‌ترین میانگین EF مربوط به فلزات نیکل و وانادیم (به ترتیب  $1/12$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و  $1/0.8$  میلی‌گرم بر کیلوگرم) است که فرآیندهای مختلط انسانی و طبیعی می‌توانند در توزین آن‌ها نقش داشته باشند. به عبارتی میانگین EF فلزات مس، سرب و روی بین ۲ تا ۵ آلودگی متوسط و برای سایر فلزات (آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیم) کمتر از ۲ آلودگی حداقل است. با توجه به نتایج حاصل از غنی‌شدگی منشا فلزات سنگین انسان‌زاد بوده و منابع عمده این فلزات می‌تواند از جو، احتراق سوخت‌های فسیلی، ترافیک و

جدول (۸): بیشینه، کمینه و میانگین شاخص زمین انباشت در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی اهواز

Cd	As	V	Ni	Zn	Pb	Cu	فلزات سنگین
							شاخص زمین انباشت
-0/92	-0/53	-0/84	-0/71	-0/49	-0/58	-0/30	کمینه
1/85	0/50	-0/15	-0/08	2/86	2/82	2/17	بیشینه
-0/11	-0/09	-0/48	-0/43	1/18	1/33	1/09	میانگین

است.  $I_{geo}$  برای فلزات وانادیم و نیکل در تمام نمونه‌ها کمتر از صفر است که نشان‌دهنده عدم آلودگی نمونه‌ها به این دو فلز است.

### شاخص آلودگی و آلودگی یکنواخت

بیشینه، کمینه و میانگین شاخص آلودگی (شاخص آلودگی یکنواخت) برای فلزات سنگین مورد مطالعه در جدول (۹) نشان داده شده است. شاخص آلودگی برای سرب، در ۳ نمونه آلودگی کم، در ۳ نمونه آلودگی متوسط و در سایر نمونه‌ها آلودگی بالا نشان می‌دهد. فلزات مس و روی برای ۵ نمونه آلودگی شدید و برای سایر نمونه‌ها آلودگی کم تا متوسط نشان می‌دهند. آرسنیک برای یک نمونه آلودگی متوسط و برای سایر نمونه‌ها آلودگی کم نشان می‌دهد. کادمیم برای ۳ نمونه غیر آلوده، ۱ نمونه آلودگی بالا و برای سایر نمونه‌ها آلودگی کم نشان می‌دهد. فلزات نیکل و وانادیم برای یک نمونه غیر آلوده و برای سایر نمونه‌ها آلودگی کم نشان می‌دهند. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته شاخص آلودگی یکنواخت برای مس، سرب و روی سطح

طبق این شاخص، فلزات مس، سرب و روی موجود در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز دارای بیشترین میزان هستند. میزان سرب در سه نمونه کمتر از صفر بود که نشان‌دهنده عدم آلودگی است و در دو نمونه آلودگی متوسط تا به شدت آلوده ( $2 < I_{geo} \leq 3$ ) و در بیشتر نمونه‌ها غیر آلوده تا آلودگی متوسط ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ) و آلودگی متوسط ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ) است. با توجه به جدول (۸)، میانگین شاخص زمین انباشت نمونه‌ها نیز بیانگر آلودگی متوسط است. فلز روی برای یک نمونه آلودگی متوسط تا به شدت آلوده، برای یک نمونه غیر آلوده ( $I_{geo} < 0$ ) و برای سایر نمونه‌ها غیر آلوده تا آلودگی متوسط نشان می‌دهد. مقدار  $I_{geo}$  برای مس در ۲ نمونه نشان‌دهنده آلودگی متوسط تا به شدت آلوده، برای یک نمونه کمتر از صفر و برای سایر نمونه‌ها غیر آلوده تا آلودگی متوسط است و میانگین شاخص زمین انباشت نمونه‌ها نیز بیانگر آلودگی متوسط است. مقدار  $I_{geo}$  برای آرسنیک در ۵ نمونه غیر آلوده تا آلودگی متوسط و برای سایر نمونه‌ها غیر آلوده است ( $I_{geo} < 0$ ). میزان کادمیم در یک نمونه آلودگی متوسط نشان می‌دهد و برای سایر نمونه‌ها غیر آلوده

و با نتایج سایر مطالعه‌های صورت گرفته در شهرهای صنعتی مانند آبادان (Javidaneh et al., 2016) بوشهر و عسلویه (Naderizadeh et al., 2016) قابل مقایسه است.

آلودگی بالا و آرسنیک، نیکل، کادمیم و وانادیم آلودگی کم نشان می‌دهند. بنابراین، با توجه به شاخص‌های محاسبه شده، میزان آلودگی مس، سرب و روی در سطح شهر اهواز نگران‌کننده است

جدول (۹): بیشینه، کمینه و میانگین شاخص آلودگی در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی اهواز

Cd	As	V	Ni	Zn	Pb	Cu	فلزات سنگین
							شاخص آلودگی
۰/۷۹	۱/۰۴	۰/۸۴	۰/۹۲	۱/۰۷	۱/۰۱	۱/۲۱	کمینه
۵/۴۲	۲/۱۳	۱/۳۵	۱/۴۲	۱۰/۸۸	۱۰/۵۷	۶/۷۵	بیشینه
۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۰۸	۱/۱۲	۳/۴۱	۳/۷۸	۳/۱۹	میانگین

پوسیدگی بدنه خودروها) است. وجود این فلزات در گرد و غبار خیابانی می‌تواند از طریق آلودگی‌های نفتی، سوزاندن زباله‌های شهری، فعالیت‌های صنعتی موجود در سطح شهر، فرسودگی بدنه خودروها و ترافیک وارد محیط شوند (Hatami Manesh et al., 2015) مقدار فاکتور آلودگی و آلودگی یکنواخت نشان داد که گرد و غبار خیابانی شهر اهواز از نظر عناصر سرب، روی و مس در طبقه آلودگی قابل توجه قرار دارند و از این نظر نگران‌کننده است.

۳. وجود آرسنیک و کادمیم در گرد و غبارهای خیابانی شهر اهواز بیشتر در اثر فعالیت‌هایی انسانی است. آرسنیک موجود در شهر اهواز ممکن است از فعالیت‌های صنعتی مانند جوشکاری، تراشکاری و ذوب فلزات ایجاد شده باشد. حضور کادمیم در گرد و غبار خیابانی حاصل از احتراق گازوئیل در وسایل نقلیه، فرسودگی سطوح آلیاژی بدنه وسایل نقلیه و محصولات جانبی حاصل از فرآیندهای متالورژیکی است (Lv et al., 2006).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار شهر اهواز بررسی گردید. آنالیزهای چند متغیره، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین انباشت، شاخص آلودگی و شاخص آلودگی یکنواخت برای شناسایی منابع احتمالی آلاینده‌های فلزات سنگین استفاده شد، که در زیر به نتایج به‌دست آمده اشاره شده است:

۱. نتایج حاصل از روش‌های آنالیز چند متغیره مانند تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) نشان داد که تیتانیم به‌طور عمده دارای منشا طبیعی و وانادیم دارای منابع انسانی و طبیعی است. بر اساس مطالعه‌های صورت گرفته، میزان بالای وانادیم در محیط ناشی از احتراق نفت و زغال‌سنگ است (Lv et al., 2006).

۲. فلزات مس، سرب، روی و نیکل بیشتر به‌عنوان فلزات سنگین به‌شدت انسان‌زاد طبقه‌بندی می‌شوند و از یک منبع انسانی با منشا عمدتاً صنعتی (آلودگی‌های نفتی، فعالیت‌های پالایشگاه و پتروشیمی) و ترافیکی شهری (احتراق سوخت‌های فسیلی، سایش لاستیک و لنت ترمز خودروها و

### فهرست منابع

- Al-Dabbas, M.A.; Mahdi, K.H.; Al-Khafaji, R. & Obayes, K.H. 2018. Heavy metals characteristics of settled particles of streets dust from Diwaniyah City-Qadisiyah Governorate-Southern Iraq. Journal of Physics: Conference Series: IOP Publishing; . p. 12-23.
- Al-Dabbas, M.A.; Mahdi, K.H.; Al-Khafaji, R. & Obayes, K.H. 2018. Heavy metals characteristics of settled particles of streets dust from Diwaniyah City-Qadisiyah Governorate-Southern Iraq. Journal of Physics: Conference Series: IOP Publishing; . p. 20-23.

- Amiri, M.; Sarikhani, R.; Ghasem Dehnavi, A. & Moradpour, A. 2016. The Assessment of Pollution and Distribution of Heavy Metals applying Geochemical Data and Statistical Analysis in Soils surrounded Kermanshah Refinery. *Quaternary*, 7(2):257-269.
- Atabaki, M.R. 1396. Investigation of soil heavy metals concentrations (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in. *Journal of Research in Environmental Health*, 2018;4(1):21-30 (In Persian).
- Atabaki, M.R. 2018. Investigation of soil heavy metals concentrations (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396. *Journal of Research in Environmental Health*, 4(1):21-30.
- Binggan, W. & Linsheng, Y. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical journal*, 94(2):99-107.
- Błaszczak, B. 2018. The Use of Principal Component Analysis for Source Identification of PM2.5 from Selected Urban and Regional Background Sites in Poland. *Air Protection in Theory and Practice*, 3(2):1-8.
- Błaszczak, B. 2018. The Use of Principal Component Analysis for Source Identification of PM2.5 from Selected Urban and Regional Background Sites in Poland. *Air Protection in Theory and Practice*, 3(2):1-8.
- Doabi, A.; Afyuni, M.; Khademi, H. & Karami, M. 2016. Statistical Analysis of Heavy Metal Contamination in Atmospheric Dusts of Kermanshah Province, Iran. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 20(76):29-43.
- Doabi, A.; Afyuni, M.; Khademi, H. & Karami, M. 2016. Statistical Analysis of Heavy Metal Contamination in Atmospheric Dusts of Kermanshah Province, Iran. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 20(76):29-43.
- Francis, D.B.K.; Flamant, C.; Chaboureau, J.-P.; Banks, J.; Cuesta, J.; Brindley, H. & Oolman, L. 2017. Dust emission and transport over Iraq associated with the summer Shamal winds. *Aeolian Research*, 24:15-31.
- Francis, D.B.K.; Flamant, C.; Chaboureau, J.-P.; Banks, J.; Cuesta, J.; Brindley, H. & Oolman, L. 2017. Dust emission and transport over Iraq associated with the summer Shamal winds. *Aeolian Research*, 24:15-31.
- Ghanavati, N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11(1):63-74.
- Ghanavati, N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11(1):63-74.
- Hadia, F. & Ambreen, A. 2018. Heavy metal pollution- A mini review. *Journal of Bacteriology & Mycology*, 6(3):179-189.
- Hadia, F. & Ambreen, A. 2018. Heavy metal pollution- A mini review. *Journal of Bacteriology & Mycology*, 6(3):179-189.
- Hatami Manesh, M.; Mirzaei, M.; Gholamali Fard, M.; Riyahi Bakhtiyari, A. & Sadeghi, M. 2015. 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*, 8(1):57-66 (in Persian)
- Jamal, A.; Delavar, M.A.; Naderi, A.; Nourieh, N.; Medi, B. & Mahvi, A.H. 2018. Distribution and health risk assessment of heavy metals in soil surrounding a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(3):1-16.
- Jamal, A.; Delavar, M.A.; Naderi, A.; Nourieh, N.; Medi, B. & Mahvi, A.H. 2018. Distribution and health risk assessment of heavy metals in soil surrounding a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(3):1-16.
- Javidaneh, Z. & Zarsevandi, A.; 2016. 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*, 9(2):155-170.

- Javidaneh, Z.; Zarsevandi, A. & Rast Manesh, F. 2016. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman City, Khouzeestan Province. *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(2):155-170.
- Kamani, H.; Mahvi, A.; Seyedsalehi, M.; Jaafari, J.; Hoseini, M.; Safari, G.; Dalvand, A.; Aslani, H.; Mirzaei, N.; Ashrafi, S. 2017. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in street dust of Tehran, Iran. *International journal of environmental science and technology*, 14(12):2675-2682.
- Kamani, H.; Mahvi, A.; Seyedsalehi, M.; Jaafari, J.; Hoseini, M.; Safari, G.; Dalvand, A.; Aslani, H.; Mirzaei, N. & Ashrafi, S. 2017. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in street dust of Tehran, Iran. *International journal of environmental science and technology*, 14(12):2675-2682.
- Konishi, S. 2014. *Introduction to multivariate analysis: linear and nonlinear modeling*: CRC Press;.
- Konishi, S. 2014. *Introduction to multivariate analysis: linear and nonlinear modeling*: CRC Press.
- Latif, A.; Bilal, M.; Asghar, W.; Azeem, M. & Ahmad, M. 2018. Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Assessment of their Potential Health Risk. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 5(1):2-34.
- Latif, A.; Bilal, M.; Asghar, W.; Azeem, M. & Ahmad, M. 2018. Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Assessment of their Potential Health Risk. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 5(1):2-34.
- Lentini, P.; Zanolli, L.; Granata, A.; Signorelli, S.S.; Castellino, P. & Dell'Aquila, R. 2017. Kidney and heavy metals-The role of environmental exposure. *Molecular medicine reports*, 15(5):3413-3419.
- Lentini, P.; Zanolli, L.; Granata, A.; Signorelli, S.S.; Castellino, P. & Dell'Aquila, R. 2017. Kidney and heavy metals-The role of environmental exposure. *Molecular medicine reports*, 15(5):3413-3419.
- Lu, X.; Wang, L.; Lei, K.; Huang, J. & Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of hazardous materials*, 161(2-3):1058-1062.
- Lu, X.; Wang, L.; Lei, K.; Huang, J. & Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of hazardous materials*, 161(2-3):1058-1062.
- Lv, W.; Wang, Y.; Querol, X.; Zhuang, X.; Alastuey, A. & López, A. 2006. Viana, M. Geochemical and statistical analysis of trace metals in atmospheric particulates in Wuhan, central China. *Environmental Geology*, 51(1):121.
- Lv, W.; Wang, Y.; Querol, X.; Zhuang, X.; Alastuey, A.; López, A. & Viana, M. 2006. Geochemical and statistical analysis of trace metals in atmospheric particulates in Wuhan, central China. *Environmental Geology*, 51(1):121.
- Mahmoudi, Z. 2012. Investigation of geochemical and mineralogical characteristics of atmospheric dust in Isfahan. Thesis for Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.
- Matta, G. & Gjyli, L. 2016. Mercury, lead and arsenic: impact on environment and human health. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(1):718-725.
- Matta, G. & Gjyli, L. 2016. Mercury, lead and arsenic: impact on environment and human health. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9:718-725.
- Meza-Figueroa, D. & De la O-Villanueva, M. 2007. De la Parra, M.L. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment*, 41(2):276-288.
- Meza-Figueroa, D.; De la O-Villanueva, M. & De la Parra, M.L. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment*, 41(2):276-288.
- Moradi, Q. & Mirzaei, R. 2017. Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. *Iranian Journal of Health and Environment*. 9(4):443-456.

- Moradi, Q. & Mirzaei, R. 2017. Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(4):443-456.
- Mukati, K.; Nagar, B. & Bhattacharya, L. 2017. Effect of cadmium chloride on nucleus preopticus in *Heteropneustes fossilis* and its recovery by herbal compound, *Ashawagandha*. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 10(2):97-101.
- Mukati, K.; Nagar, B. & Bhattacharya, L. 2017. Effect of cadmium chloride on nucleus preopticus in *Heteropneustes fossilis* and its recovery by herbal compound, *Ashawagandha*. *ioscience Biotechnology Research Communications*, 10(2):97-101.
- Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2(1): 108-118.
- Naderizadeh, Z.; Ayoubi, S. & Khademi, H. 2016. Assessment of concentration and heavy metals contamination in atmospheric dust from urban and industrial areas of Bushehr Province. *Journal of natural environment*, 69(1) 2531-548.
- Naderizadeh, Z.; Ayoubi, S. & Khademi, H. 2016. Assessment of concentration and heavy metals contamination in atmospheric dust from urban and industrial areas of Bushehr Province. *Journal of natural environment*, 69 (1) 2531-548.
- Nazarpour, A.; Ghanavati, N. & Watts, M.J. 2018. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental geochemistry and health*, 40(2):693-704.
- Nazarpour, A.; Ghanavati, N. & Watts, M.J. 2018. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental geochemistry and health*, 40(2):693-704.
- Nejatijahromi, Z.; Nassery, H.; Nakhaei, M. & Alijani, F. 2018. Assessment of the quality of groundwater for drinking purposes in Varamin aquifer: heavy metals contamination. *Iranian Journal of Health and Environment*, 10(4):559-572.
- Ordonez, A.; Loredo, J.; De Miguel, E. & Charlesworth, S. 2013. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44(2):0160-0170.
- Rastmanesh, F.; Zarasvandi, A. & Moslem, F. 2016. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments of Karun River in Ahvaz City. *Geoscientific applied geology*, 5(17):11-22.
- Ravankhah, N.; Mirzaei, R. & Masoum, S. 2015. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. *Iranian Journal of Health and Environment*, 8(3):345-356.
- Ravankhah, N.; Mirzaei, R. & Masoum, S. 2015. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. *Iranian Journal of Health and Environment*, 8(3):345-356.
- Rehman, K.; Fatima, F.; Waheed, I. & Akash, M.S.H. 2018. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of cellular biochemistry*, 119(1):157-184.
- Rehman, K.; Fatima, F.; Waheed, I. & Akash, M.S.H. 2018. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of cellular biochemistry*, 119(1):157-184.
- Salmanzadeh, M.; Saidi, M. & Bidhendi, G. 2013. Contamination of Heavy Metals in Tehran's Sedimentary Mud Dams and Assessing Their Ecological Risk. *Environmental science*, 38(61):9-18.
- Sareban, V.H. & Saeb, S. 2018. Heavy metal contamination in street precipitated dust in Tabriz City, Iran and its ecological risk. *Environmental Communication*, 11(2):291-299.
- Sareban, V.H. & Saeb, S. 2018. Heavy metal contamination in street precipitated dust in Tabriz City, Iran and its ecological risk. *Environmental Communication*, 11(2):291-299.

- Solgi, E. & Keramaty, M. 2018. Assessment of Health Risks of Urban Soils Contaminated by Heavy Metals (Bojnourd City). *Journal of North Khorasan University of Medical sciences*, 7(4):827-813.
- Solgi, E. & Keramaty, M. 2018. Assessment of Health Risks of Urban Soils Contaminated by Heavy Metals (Bojnourd City). *Journal of North Khorasan University of Medical sciences*, 7(4):827-813.
- Soltani, N.; Keshavarzi, B.; Moore, F.; Tavakol, T.; Lahijanzadeh, A.R.; Jaafarzadeh, N. & Kermani, M. 2015. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment*, 505(1):712-723.
- Soltani, N.; Keshavarzi, B.; Moore, F.; Tavakol, T.; Lahijanzadeh, A.R.; Jaafarzadeh, N. & Kermani, M. 2015. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment*, 505:712-723.
- Surucu, A.; Mohammad, D.M.; Gunal, E. & Budak, M. 2018. concentration of heavy metals in soils along three major roads of Sulaimani, northeast Iraq. *Carpathian Journal of Earth And Environmental Sciences*, 13(2):523-538.
- Surucu, A.; Mohammad, D.M.; Gunal, E. & Budak, M. 2018. Concentration of heavy metals in soils along three major roads of Sulaimani, northeast Iraq. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 13(2):523-538.
- Tokaloğlu, Ş. & Kartal, Ş. 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40(16):2797-2805.
- Tokaloğlu, Ş. & Kartal, Ş. 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40(16):2797-2805.
- Wei, X.; Gao, B.; Wang, P.; Zhou, H. & Lu, J. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 112(1):186-192.
- Wei, X.; Gao, B.; Wang, P.; Zhou, H. & Lu, J. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 112(1):186-192.
- Xu, J.; Chen, Y.; Zheng, L.; Liu, B.; Liu, J. & Wang, X. 2018. Assessment of Heavy Metal Pollution in the Sediment of the Main Tributaries of Dongting Lake, China. *Water*, 10(8):1060.
- Xu, J.; Chen, Y.; Zheng, L.; Liu, B.; Liu, J. & Wang, X. 2018. Assessment of Heavy Metal Pollution in the Sediment of the Main Tributaries of Dongting Lake, China. *Water*, 10(8):1060.
- Yang, J.; Teng, Y.; Song, L. & Zuo, R. 2017. Tracing sources and contamination assessments of heavy metals in road and foliar dusts in a typical mining city, China. *PLoS One*, 11(12): 168-198.
- Yongming, H.; Peixuan, D.; Junji, C. & 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.
- Yongming, H.; Peixuan, D.; Junji, C. & 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.
- Zarasvandi, A.; Rastmanesh, F.; Banitamim, F.; Mokhtari, B. & Saed, M. 2017. Investigation Evaluation and Determination of Possible Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Street Dust of Ahvaz City Medical Chemistry Concerning. *scientific journal of ilam university of medical sciences*, 25(1):121-137.
- Zarasvandi, A.; Rastmanesh, F.; Banitamim, F.; Mokhtari, B. & Saed, M. 2017. Investigation Evaluation and Determination of Possible Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Street Dust of Ahvaz City Medical Chemistry Concerning. *scientific journal of ilam university of medical sciences*, 25(1):121-137.