

پهنه‌بندی پراکنش برخی فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار اطراف کانون هویزه- خرمشهر و شناسایی منشأ احتمالی این فلزات

رضا امین‌فر^۱، احمد لندی^{۲*}، سعید حجتی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴)

چکیده

گرد و غبار یکی از مهمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی است که حاوی ذرات معلق و فلزات سنگین می‌باشد. این مطالعه در سال ۱۳۹۷، با هدف بررسی میزان غلظت و تعیین توزیع فلزات سنگین گرد و غبار در اطراف کانون غبار هویزه-خرمشهر انجام شد. ۳۰ نقطه از مناطق مختلف شهری و روستایی جهت بررسی فلزات سنگین ذرات گرد و غبار فرونشست شده با استفاده از تله‌های رسوبگیر تیل‌های در ارتفاع ۳ تا ۴ متری از سطح زمین، نمونه‌برداری شد. نتایج نشان داد که مقادیر غلظت فلزات سنگین ذرات گرد و غبار به ترتیب منگنز < روی < کروم < نیکل < سرب < مس < کبالت < جیوه می‌باشد. همچنین بیشترین میزان غلظت فلزات سنگین در مناطق جنوبی منطقه مطالعاتی مشاهده گردید که فعالیت میادین نفتی زیاد بوده است. کمترین مقادیر غلظت عناصر سنگین گرد و غبار نیز در مناطق مسکونی روستایی مشاهده شد. در عمده ایستگاه‌های مطالعاتی، دو فاکتور غنی‌شدگی و زمین‌انباشت در عناصر سنگین در ذرات گرد و غبار بیشتر از خاک سطحی کانون غبار می‌باشد. مقادیر شاخص زمین‌انباشت در ذرات گرد و غبار و نیز در خاک سطحی برای فلزات جیوه، سرب و منگنز ($I < 3$) در محدوده آلودگی متوسط تا زیاد قرار دارند که حاکی از تاثیرپذیری فراوانی این عناصر به طور عمده از منابع مختلف انسان زاد می‌باشد. نتیجه آنالیز خوشه‌ای با روش تجزیه مؤلفه اصلی کاملاً مطابقت دارد و می‌تواند بیانگر چند منشأ مختلف (آلاینده‌های نفتی، صنعتی و ترافیکی) فلزات سنگین در گرد و غبار باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، ضریب همبستگی، غنی‌شدگی، فلزات سنگین، گرد و غبار

امین‌فر، ر.، لندی، ا.، حجتی، س. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی پراکنش برخی فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار اطراف کانون هویزه-خرمشهر و شناسایی منشأ احتمالی این فلزات. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۴. صفحه: ۱-۱۴.

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* پست الکترونیک: landi@scu.ac.ir

مقدمه

همانند لاستیک‌ها و لنت‌ها مشتق شده‌اند. از جمله منابع تولید کننده نیکل، احتراق سوخت‌های فسیلی و روغن-های روان کننده (گریس) خودروها می‌باشند (Gui *et al.*, 2012).

مطالعات زیادی در رابطه با تعیین غلظت ذرات گرد و غبار و بررسی آن‌ها از لحاظ زیست محیطی در شهرهای صنعتی ایران (Rashki *et al.*, 2013; Zarasvandi *et al.*, 2014; Gholampour *et al.*, 2011) صورت گرفته است. با این حال مطالعات اندکی در زمینه بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین گرد و غبار در اطراف کانون بحرانی هویزه خرمشهر صورت گرفته است؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار و شناسایی منشأ احتمالی این عناصر با بهره مندی از روش‌های آماری مختلف در اطراف کانون غبار هویزه-خرمشهر انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان دشت آزادگان و هویزه در غرب استان خوزستان واقع شده است و همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است از غرب، شهرستان هویزه با کشور عراق هم‌مرز می‌باشد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۰-۱ متر و دارای مساحت تقریباً ۲۸۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که بین ۴۶' ۴۷° تا ۲۱' ۴۸° طول شرقی و بین ۰۵' ۳۱° تا ۴۴' ۳۱° عرض شمالی واقع شده است. میزان بارندگی در سال بین ۲۴۰ تا ۲۷۰ میلی‌متر متغیر است و بر این اساس دشت آزادگان و هویزه از لحاظ اقلیمی دارای آب و هوای نیمه‌خشک است (Iranian Meteorological Organization, 2018).

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و همچنین انتقال آب هورالعظیم با اهداف گوناگون، حجم وسیعی از بستر تالاب هورالعظیم خشک گردیده است. بدین منظور یکی از مراکز مهم فرسایشی که به احتمال فراوان نقش مهم و به‌سزایی در تولید ذرات گرد و غبار در بخش جنوبی استان ایفا می‌کند کانون غبار هویزه-خرمشهر می‌باشد.

نمونه‌برداری از ذرات گرد و غبار در ۳۰ نقطه مختلف در طول یکسال (سال ۱۳۹۷) و با فاصله زمانی ماهانه از شهرستان دشت آزادگان و هویزه صورت گرفت. توزیع نقاط نمونه‌برداری به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد که هم

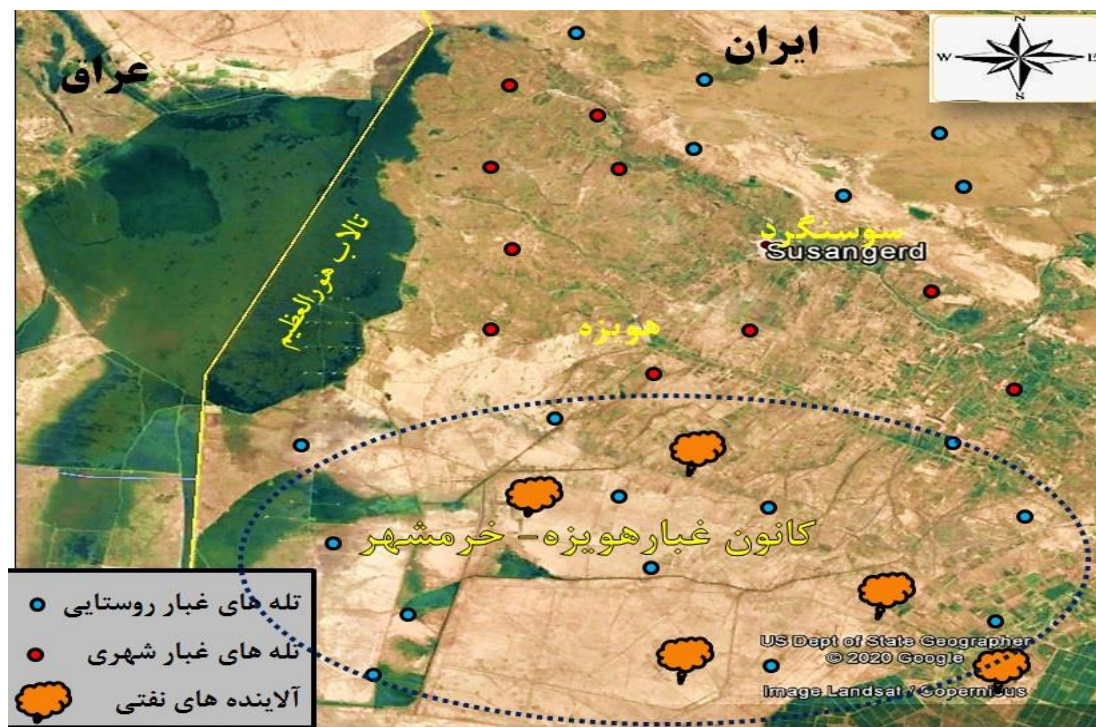
طوفان‌های گرد و غبار از جمله مهم‌ترین مشکلات زیست-محیطی در استان خوزستان محسوب می‌شود. کاهش حاصلخیزی خاک و خسارت به محصولات کشاورزی، کاهش تشعشعات خورشیدی، آلودگی هوا، افزایش بیماری‌های تنفسی از جمله مهم‌ترین پیامدهای وقوع طوفان‌های گرد و غبار می‌باشد. استان خوزستان به دلیل نزدیکی با مناطق منشأ گرد و غبار در غرب آسیا، منطقه-ای مستعد برای رخداد پدیده گرد و غبار به شمار می‌رود (Hojati *et al.*, 2012; Beit lafte *et al.*, 2015). کانون-های داخلی که منشأ طوفان‌های ریزگرد در خوزستان هستند با مساحتی حدود ۳۵۰۰۰۰ هکتار، عمدتاً از شرق و جنوب شرق اهواز تا غرب هندیجان در جنوب شرق استان خوزستان گسترش پیدا کردند. علاوه‌براین، در غرب استان نیز بخش‌های خشک شده تالاب هورالعظیم و نواحی پیرامون آن از هویزه تا خرمشهر جز، مناطق منشأ می‌باشند (Akbari *et al.*, 2002).

مسأله آلودگی هوا در شهرهای صنعتی به دلیل وجود منابع متعدد آلاینده از قبیل سوخت‌های فسیلی، صنایع و وسایل گرمایشی طی چند دهه اخیر تشدید شده و نگرانی‌های بسیاری را در پی داشته است (Yap *et al.*, 2011). دشت آزادگان و هویزه به دلیل وجود پالایشگاه-های نفتی و کارخانه‌های صنعتی از آلودگی بالایی برخوردار بوده و گرد و غبار هم به‌صورت افزایشی هرساله مشکلات زیست‌محیطی را در این منطقه چند برابر کرده است. فلزات سنگین حاصل از فعالیت این صنایع می‌تواند برای سلامتی انسان مشکل ساز شده و اثرات زیست-محیطی نامطلوبی را به دنبال داشته باشند (Duong & Lee, 2011). علاوه بر این فلزات سنگین از طریق تجمع در خاک، فرونشست بر گیاه و تجمع در ذرات گرد و غبار ترسیمی می‌توانند وارد زنجیره غذایی انسان شوند (Saeedi *et al.*, 2012).

لو و همکاران (Lu *et al.*, 2010) طی تحقیقی بر روی منشأ فلزات سنگین ذرات گردوغبار شهری در بیوجی چین با استفاده از تجزیه مولفه اصلی و آنالیز خوشه‌ای، سه منشأ اصلی برای فلزات سنگین ذرات گردوغبار مشخص کردند و اظهار داشتند که مس، روی و منگنز از آلاینده‌های صنعتی، نیکل و کروم از منابع طبیعی حاصل شده‌اند. مس و روی در اثر استهلاک قطعات وسایل نقلیه

۲۰ نمونه خاک از کانون غبار هویزه - خرمشهر و از عمق ۱۰-۰ سانتیمتری برداشت گردید. نقشه‌های پهنه‌بندی برای همه عناصر مورد مطالعه بر اساس روش وزن‌دهی عکس فاصله با استفاده از نرم افزار Arc GIS ترسیم شد.

موقعیت‌های شهری (۱۰ نقطه) و هم روستایی (۲۰ نقطه) را شامل می‌شود. لازم به توضیح است که به منظور مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده از منطقه مطالعاتی با خاک منطقه، تعداد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (کانون غبار هویزه- خرمشهر)، ایستگاه‌های نمونه‌برداری گرد و غبار

Figure 1. Location of the study area (Hoveyzeh-Khorramshahr dust center), dust sampling stations.

میلی لیتری رسانده (Onder *et al.*, 2006) و غلظت کل عناصر روی، مس، نیکل، سرب، جیوه، کروم، کبالت را به وسیله دستگاه ICP-MS مدل Agilent 7500 CE در آزمایشگاه پتروشیمی مارون ماهشهر مورد سنجش قرار گرفت.

شاخص‌های آلودگی

در این پژوهش برای ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در کانون‌های غبار و ذرات ریز گرد از شاخص‌هایی از جمله فاکتور غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) در منطقه محاسبه گردید (جدول ۱ و ۲) (Zhao *et al.*, 2016). اساس این روش بر مبنای مقایسه غلظت فلز مورد نظر در نمونه‌ها با غلظت همان فلز در ناحیه غیر آلوده است. مقادیر اندازه‌گیری شده هر عنصر در لایه‌های تحتانی خاک را برای محاسبه غلظت ناحیه غیر آلوده یا زمینه، استفاده

مطالعات آزمایشگاهی

تله‌های مورد استفاده برای این پژوهش از نوع تله‌های رسوب‌گیر تیل‌ای بود که به‌طور گسترده در تحقیقات بیابانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Karimian *et al.*, 2016; Ganor *et al.*, 1975) (شکل ۲). برای هر نقطه مورد مطالعه، ۵ عدد تله رسوب‌گیر را با ارتفاع ۳ تا ۴ متری از سطح زمین و روی بام ساختمان‌های شهری و روستایی نصب شده‌اند.

غلظت عناصر

ترکیب عنصری ذرات گرد و غبار و خاک سطحی کانون‌های مورد مطالعه پس از هضم ۳ اسیدی انجام شد. به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گرد و غبار جمع‌آوری شده از سطح منطقه مطالعاتی، ۱ گرم از هر نمونه با اسید پرکلریک (HClO_4) اسید نیتریک (HNO_3) هضم شد. محلول ژله‌ای آماده شده را پس از سرد شدن، با اسید کلریدریک (HCl) ۰/۱ نرمال، محلول را به حجم ۱۰۰

غلظت مرجع به کار گرفته شد. معادله (۱) چگونگی محاسبه شاخص غنی سازی را نشان می‌دهد.

$$EF = \left(\frac{C_m}{C_s} \right) \times \left(\frac{C_m}{C_s} \right) \quad (1)$$

در این معادله C_m غلظت واقعی فلز سنگین مورد نظر ($mg\ kg^{-1}$)، C_s غلظت عنصر زمینه ($mg\ kg^{-1}$) در خاک، C و X به ترتیب غلظت‌های مورد اشاره در لایه عمقی و نمونه هستند.

جدول ۱- طبقات مختلف فاکتور غنی‌شدگی (Tang *et al.*, 2013)

Table 1. Different classes of enrichment factor (Tang *et al.*, 2013)

Low	$EF < 2$
Moderate	$2 \leq EF < 5$
High	$5 \leq EF < 20$
Very High	$20 \leq EF < 40$
Extremely High	$EF \geq 40$

تحلیل آماری قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی عناصر سنگین در ذرات گرد و غبار ترسیب یافته (۳۰ نمونه) با استفاده از روش چرخش واریماکس (ماتریس فاکتورهای چرخیده شده) انجام شد. جهت انتخاب ویژگی‌های مهم برای تفسیر هر فاکتور بارهای عاملی بزرگ‌تر از ۰/۷ به صورت بولد شده مشخص شد (Norouzi *et al.*, 2015).

نتایج و بحث

غلظت فلزات سنگین

تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین، ابزار مفیدی برای مطالعه، ارزیابی و شناسایی مناطق آلوده به فلزات سنگین است (Chen *et al.*, 2014). الگوی پراکنش عناصر مس، سرب، روی، منگنز، جیوه، نیکل، کروم و کبالت در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳، بالاترین میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار فرونشستی در طول نمونه‌برداری یکسال به ترتیب مربوط به منگنز < روی < کروم < نیکل < سرب < مس < کبالت < جیوه می‌باشد. بیشترین مقدار انحراف معیار و تغییرات غلظت فلزات سنگین نیز در عناصر روی و منگنز مشاهده شده است.

گردید. این غلظت‌ها بر اساس غلظت عنصر مرجع که می‌تواند آلومینیم یا آهن باشد، نرمال می‌شوند (Deely *et al.*, 1994). فلز آهن را به عنوان یک نرمال کننده مناسب پیشنهاد کردند. زیرا توزیع آهن در محیط و در ارتباط با سایر فلزات نمی‌باشد و مقدار آن به‌طور عمده وابسته به فعالیت‌های انسانی نیست (Deely *et al.*, 1994). در این مطالعه از غلظت آهن در نمونه‌های گرد و غبار به عنوان

شاخص زمین انباشت (Igeo)

روش متداول دیگر برای ارزیابی آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین که برای اولین بار توسط Muller (1969) معرفی شد و از آن زمان بطور گسترده‌ای در مطالعات عناصر سنگین مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left\{ \frac{C_n}{1.5 B_n} \right\} \quad (2)$$

که در معادله بالا C_n غلظت اندازه گیری عنصر در نمونه مورد مطالعه و B_n غلظت همان عنصر در زمینه یا پوسته زمین می‌باشد. به منظور تصحیح و کاهش تاثیر مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی و همچنین برای تعیین اثرات انسان زاد از ضریب ۱/۵ در رابطه مذکور استفاده می‌شود.

تحلیل داده‌ها

به منظور بررسی عوامل مؤثر در غلظت فلزات سنگین ذرات گردوغبار و تعیین منشأ احتمالی آن‌ها، تحلیل خوشه‌ای، آنالیز تجزیه مؤلفه‌های اصلی و ضریب همبستگی اسپیرمن با محاسبه غلظت فلزات سنگین در ۱۲ دوره نمونه‌برداری انجام شد. آنالیز تحلیل خوشه‌ای و ضریب همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ با توجه به تغییرات غلظت در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری مورد تجزیه و

جدول ۲- طبقات مختلف شاخص زمین انباشتگی (Muller, 1969)

Table 2. Different classes of Igeo index (Muller, 1969)

Not polluted	$I_{geo} < 0$
Not polluted to moderately polluted	$0 \leq I_{geo} < 1$
Moderately polluted	$1 \leq I_{geo} < 2$
Moderately polluted to highly polluted	$2 \leq I_{geo} < 3$
Highly polluted	$3 \leq I_{geo} < 4$
Highly polluted to extremely polluted	$4 \leq I_{geo} < 5$
Extremely polluted	$I_{geo} > 5$

شدید خودروها گزارش نمودند. همچنین باتوجه به شکل ۳، می‌توان پی برد که عمده تجمع عناصر سنگین در نیمه جنوبی شهرستان هویزه می‌باشد که مرتبط با مناطقی از کانون ریزگرد و فعالیت بیشتر میادین نفتی و کارخانجات صنعتی است.

تشخیص منشأ و منبع ورود فلزات سنگین به ذرات گرد و غبار

جدول ۴، ضرایب همبستگی اسپیرمن بین غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار را نشان می‌دهد. اغلب فلزات سنگین نمونه در منطقه نمونه برداری شده از نظر همبستگی مثبت و ارتباط معنی‌داری با هم دارند. در بین این عناصر مس، روی، نیکل و منگنز دارای بیشترین همبستگی (در سطح ۱٪) هستند. همچنین روی و نیکل با کروم، کروم با سرب و جیوه، کبالت با مس و نیکل نزدیکترین همبستگی (در سطح ۱٪) را دارند. وجود این همبستگی معنی‌دار بین فلزات سنگین موجود در گرد و غبار می‌تواند نتیجه منشأ مشترک آلودگی باشد. نتایج پژوهش حاضر مطابق با برخی از مطالعات قبلی بوده است (Nourouzi *et al.*, 2015; Al-Dabbas, *et al.*, 2012). نتایج حاصل از ضرایب همبستگی اسپیرمن هنوز به طور کامل روابط بین هشت فلز سنگین را تایید نمی‌کنند، بنابراین تحلیل‌های آماری چند متغیره دیگر برای بررسی رابطه بین این فلزات سنگین و منشأ آن‌ها استفاده شده است.

از فاکتور غنی‌سازی (EF) می‌توان برای ارزیابی میزان تداخل انسان در ایجاد آلودگی فلزات سنگین و تمایز منشأ فلزات از فعالیت‌های انسانی و منابع طبیعی استفاده کرد (Zhao *et al.*, 2016). به طوری که هرچه عناصر نسبت به خاک و پوسته زمین غنی‌تر شده باشند تأثیر عوامل انسانی در ورود فلزات سنگین به ذرات گرد و غبار بیشتر از عوامل طبیعی است. بر این اساس میزان شاخص غنی‌شدگی نزدیک به عدد ۱ دلالت بر منشأ طبیعی فلزات سنگین دارد.

الگوی توزیع مکانی فلزات سنگین

تعیین الگوی مکانی غلظت فلزات سنگین، ابزار مفیدی برای درک و تفسیر راحت‌تر، ارزیابی و شناسایی مناطق آلوده به فلزات سنگین است (Adoo *et al.*, 2012). الگوی پراکنش عناصر مورد مطالعه در منطقه در شکل ۳، نشان داده شده است. تغییرات مکانی غلظت سه عنصر کبالت، مس و روی و غلظت سه عنصر سرب، نیکل و منگنز از الگوی مشابهی پیروی می‌کنند. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود فلزات سرب، مس و روی تقریباً دارای الگوی مکانی مشابهی هستند و بیشترین غلظت این سه فلز مربوط به مناطق پرتراфик مانند مرکز شهر و نیز مناطق صنعتی می‌باشد. فلزات منگنز و نیکل نیز الگوی توزیع مشابهی داشتند و غلظت آن‌ها به جز، چند نقطه، در غالب نقاط نمونه برداری به صورت یکنواخت مشاهده شد. کمترین غلظت‌ها برای کل فلزات در مناطق مسکونی روستایی که با خیابان‌های اصلی و مرکز شهر فاصله دارند، مشاهده شد. پس می‌توان احتمال داد که مس، کبالت، روی و نیکل عمدتاً از منابع صنعتی مشتق می‌شود و کروم و جیوه از منابع طبیعی نشأت گرفته‌اند. هرچند مطالعات متعددی (Wei *et al.*, 2009; Faiz *et al.*, 2009) از افزایش غلظت نیکل را در گرد و غبار فرونشست شده را نیز به منابع انسانی (آلودگی حاصل از فعالیت‌های صنعتی و نفتی) نسبت داده‌اند.

محمودی (Mahmoudi, 2011) طی پژوهشی جهت تعیین پراکنش فلزات سنگین در گرد و غبار شهر اصفهان، منطقه مورد مطالعه را به ۳ بخش شامل منطقه شهری صنعتی (حداکثر غلظت آهن و منگنز)، منطقه شهری با تراфик سنگین (حداکثر غلظت مس و نیکل) و منطقه شهری با تراфик کم (حداکثر غلظت سرب و روی) تفکیک کرد. (Salmanzadeh *et al.*, 2012) طی مطالعه روی ذرات گرد و غبار شهر تهران، منشأ فلزات سنگین را فعالیت‌های انسانی از جمله آلودگی‌های صنعتی، مصالح ساختمانی و تراфик

طبیعی است. بر این اساس میزان شاخص غنی‌شدگی نزدیک به عدد ۱ دلالت بر منشأ طبیعی فلزات سنگین دارد. مقادیر ۱ تا ۱۰ این شاخص ناشی از تأثیر هر دو منابع طبیعی و انسانی می‌باشد و شاخص غنی‌شدگی بالای ۱۰ دلالت بر منشأ عوامل انسانی (آنتروپوژنیک) فلزات سنگین گرد و غبار دارد (Nayebare *et al.*, 2016).

مقایسه میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین ذرات گرد و غبار با خاک سطحی کانون غبار هویزه- خرمشهر در شکل ۴، نشان داده شده است. میزان فاکتور غنی‌شدگی در فلزات سنگینی همانند سرب، جیوه، کروم و روی در ذرات گرد و غبار به مراتب بیشتر از بخش خاک سطحی کانون غبار می‌باشد. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی هم در ذرات گرد و غبار و هم خاک سطحی برای فلزات کروم، کبالت، روی و مس در کلاس ۱ (غنی‌شدگی کم) و برای فلزات نیکل و سرب بالای ۷۰٪ داده‌ها (عمدتاً در مناطق پرتردد) در کلاس ۲ (غنی‌شدگی متوسط) قرار داشتند.

مقادیر ۱ تا ۱۰ این شاخص ناشی از تأثیر هر دو منابع طبیعی و انسانی می‌باشد و شاخص غنی‌شدگی بالای ۱۰ دلالت بر منشأ عوامل انسانی (آنتروپوژنیک) فلزات سنگین گرد و غبار دارد (Nayebare *et al.*, 2016).

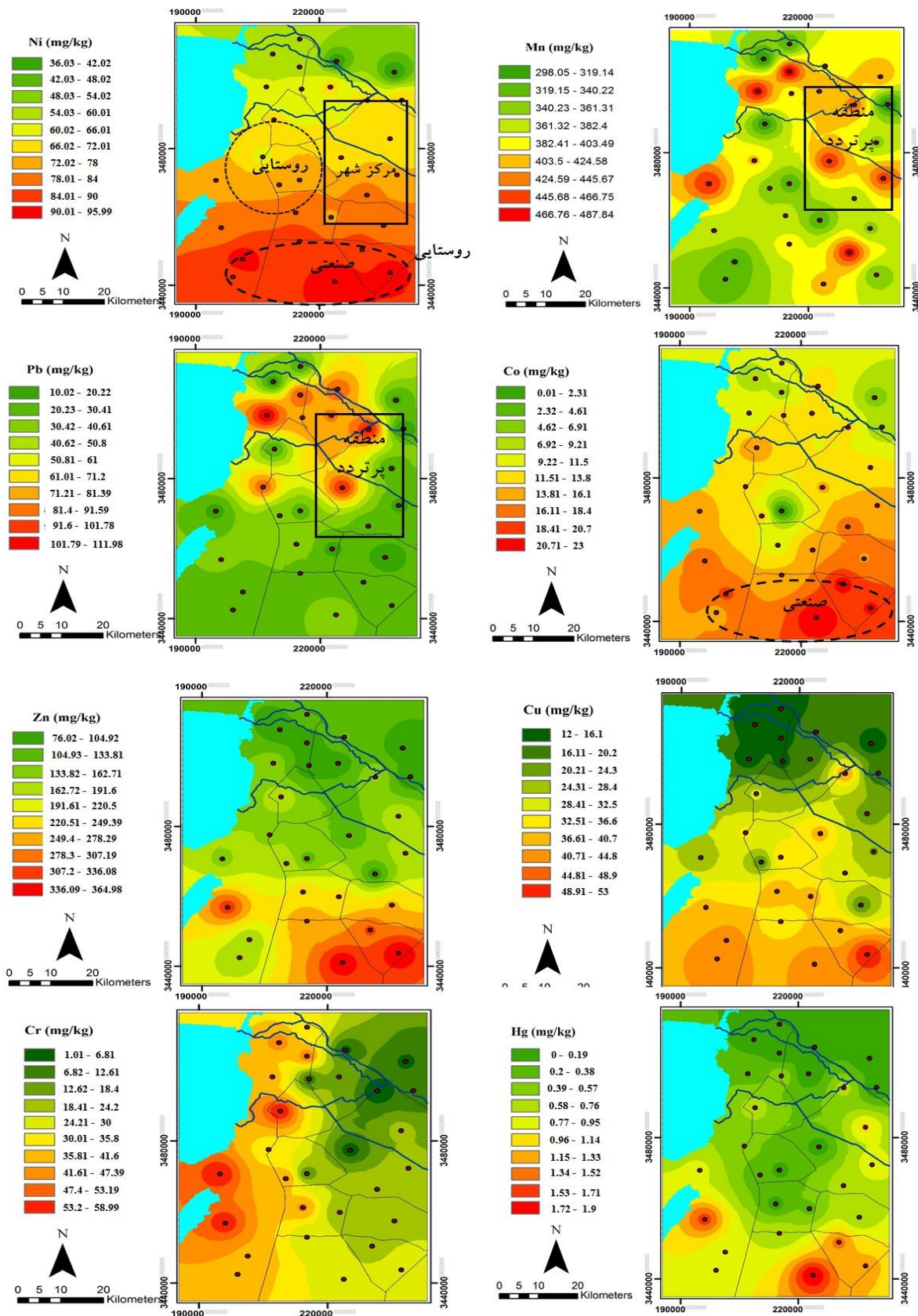
مقایسه میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین ذرات گرد و غبار با خاک سطحی کانون غبار هویزه- خرمشهر در شکل ۴، نشان داده شده است. میزان فاکتور غنی‌شدگی در فلزات سنگینی همانند سرب، جیوه، کروم و روی در ذرات گرد و غبار به مراتب بیشتر از بخش خاک سطحی کانون غبار می‌باشد. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی هم در ذرات گرد و غبار و هم خاک سطحی برای فلزات کروم، کبالت، روی و مس در کلاس ۱ (غنی‌شدگی کم) و برای فلزات نیکل و سرب بالای ۷۰٪ داده‌ها (عمدتاً در مناطق پرتردد) در کلاس ۲ (غنی‌شدگی متوسط) قرار داشتند.

از فاکتور غنی‌سازی (EF) می‌توان برای ارزیابی میزان تداخل انسان در ایجاد آلودگی فلزات سنگین و تمایز منشأ فلزات از فعالیت‌های انسانی و منابع طبیعی استفاده کرد (Zhao *et al.*, 2016). به‌طوری‌که هرچه عناصر نسبت به خاک و پوسته زمین غنی‌تر شده باشند تأثیر عوامل انسانی در ورود فلزات سنگین به ذرات گرد و غبار بیشتر از عوامل

جدول ۳- توصیف آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده در منطقه

Table 3. Statistical description of heavy metal concentration in dust samples collected in the area

	Co	Mn	Hg	Zn	Ni	Pb	Cu	Cr
Min	5.81	360.30	0.02	75.80	46.12	13.21	12.01	53.30
Max	69.42	577.55	1.01	365.23	95.34	96.91	53.10	115.23
Average	15.82	480.83	0.56	183.17	72.93	40.23	28.44	74.43
Standard deviation	10.88	62.86	0.30	81.42	11.94	30.34	11.69	17.73
Variance	118.41	3950.83	0.09	6629.04	142.62	920.78	136.67	314.46
Skewness	4.23	-0.13	-0.42	0.79	-0.32	1.02	0.25	0.56
Kurtosis	-20.97	-1.13	0.86	-0.06	0.13	0.77	-1.15	-0.60



شکل ۳- پهنه‌بندی فلزات سنگین در گرد و غبار فرونشست شده بر اساس وزن دهی عکس فاصله در منطقه مورد مطالعه
 Figure 3. Spatial distribution of heavy metals in the dust subsided based on the IDW in the study area

جدول ۴- ضرایب همبستگی اسپیرمن بین غلظت فلزات سنگین ذرات گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه

Table 4 - Spearman correlation coefficient between heavy metal concentrations of dust particles in the study area

	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	Mn	Co
Cr	1	0.801 ^a	-0.110	0.811 ^a	0.632 ^a	0.350	0.052	0.778 ^a
Cu		1	0.102	0.736 ^a	0.534 ^a	0.259	0.034	0.661 ^a
Pb			1	-0.151	-0.680	0.007	0.662 ^a	-0.09
Ni				1	0.617	0.084	-0.140	0.552 ^a
Zn					1	0.285	0.042	0.402 ^b
Hg						1	0.263	0.266
Mn							1	0.006
Co								1

^aCorrelation is significant at $P < 0.01$ (two-tailed).

^bCorrelation is significant at $P < 0.05$ (two-tailed).

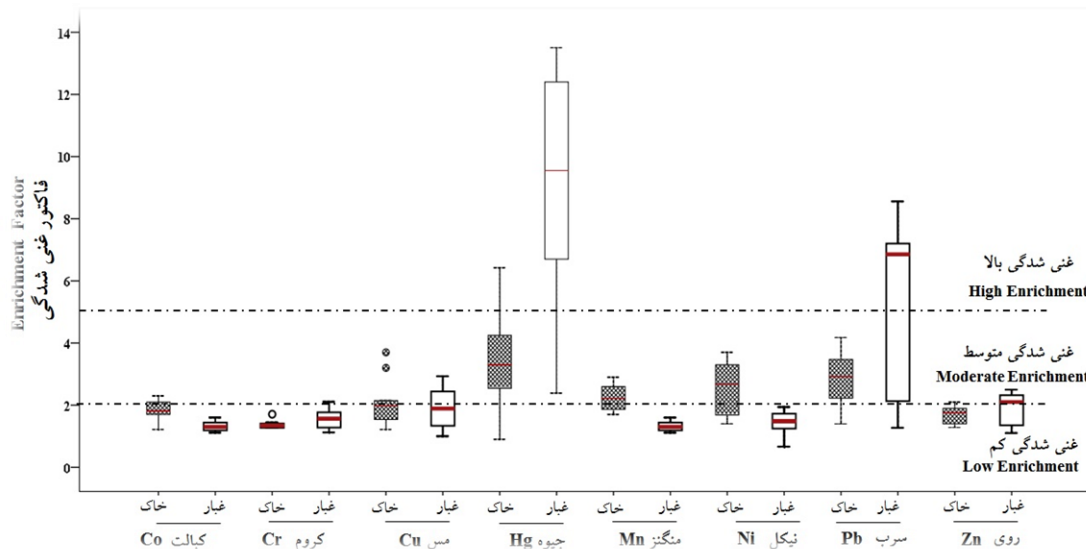
تشخیص بین منابع انسانی، طبیعی و یا منابع مختلط (انسانی و طبیعی) استفاده می‌شود (Al harbi *et al.*, 2019).

شکل ۵، مقایسه میزان شاخص زمین انباشت (Igeo) فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار با خاک سطحی کانون غبار هویزه- خرمشهر نشان می‌دهد. عمده مقدار شاخص زمین انباشت در عناصر سنگین در ذرات گرد و غبار بیشتر از بخش خاک سطحی کانون غبار می‌باشد. طبق داده‌های مشخص شده هیچ یک از این عناصر، در محدوده $(Igeo < 0)$ نیستند و بر این اساس هیچ کدام از نمونه‌های گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه از حیث فلزات سنگین غیر آلوده تشخیص داده نشدند. مقادیر شاخص زمین انباشت در ذرات گرد و غبار و نیز در خاک سطحی برای فلزات جیوه، سرب و منگنز در محدوده $(2 \leq Igeo < 3)$ آلودگی متوسط تا زیاد دارند. بنابراین عناصر مذکور با این مقادیر بالا می‌تواند از منابع مختلف انسان زاد نشأت بگیرند.

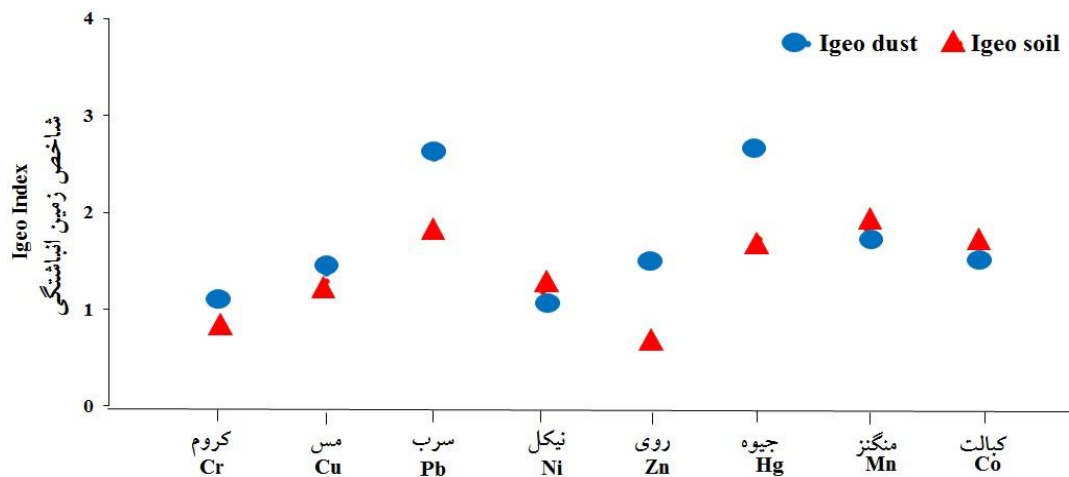
تشابه مقادیر دو شاخص، زمین انباشت (Igeo) و فاکتور غنی شدگی (EF) می‌تواند منشأ ذرات گرد و غبار و سطوح آلودگی برآورد شده برای فلزات سنگین را تأیید کند. بر این اساس به نظر می‌رسد شاخص زمین انباشتگی در این مطالعه می‌تواند ابزاری مؤثر به منظور تفکیک منشأ طبیعی از منابع انسانی باشد.

در شکل ۴، همچنین مشاهده می‌شود که میزان این شاخص در ذرات گرد و غبار برای عناصری مانند سرب و جیوه به ترتیب $6/9$ و $9/4$ به دست آمده است که در کلاس ۳ (غنی شدگی زیاد) قرار دارند. پس می‌توان پی برد که عناصر روی، مس، کروم و کبالت عمدتاً از منابع طبیعی و خاک‌های محلی نشأت گرفته‌اند. عناصر نیکل و منگنز با دارا بودن شاخص غنی‌شدگی بین ۲ تا ۱۰ می‌توانند از منابع مختلط انسانی و طبیعی حاصل شوند که سهم هر کدام از این منابع بسته به مکان نمونه‌برداری از ذرات گرد و غبار و یا کانون‌های محلی متفاوت باشد. عناصر جیوه و سرب با میزان فاکتور غنی‌شدگی زیاد نیز احتمالاً از منابع مختلف انسانی مشتق شده‌اند. طی پژوهشی نایبر و همکاران (Nayebare *et al.*, 2016) سطوح آلودگی فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار شهر مکه در عربستان سعودی اظهار داشتند که فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات سرب و روی بیشتر از ۱۰ بوده که منعکس کننده آلودگی به‌طور عمد از منابع صنعتی و ترافیکی است. همچنین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات کروم، منگنز و آهن کمتر از ۲ بود که منشأ آن را از منابع طبیعی و خاک‌های محلی گزارش کردند.

روش معمول دیگر برای ارزیابی زیست محیطی ذرات گرد و غبار و خاک با فلزات سنگین که مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص زمین انباشت (Igeo) می‌باشد. از این شاخص جهت تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین و



شکل ۴- مقایسه میزان غنی شدگی فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار با خاک سطحی کانون غبار هویزه- خرمشهر
Figure 4. Comparison of the enrichment of heavy metals in dust particles with surface soil of Hoveyzeh- Khorramshahr dust center



شکل ۵- مقایسه میزان شاخص زمین انباشتگی (Igeo) فلزات سنگین ذرات گرد و غبار با خاک کانون غبار هویزه- خرمشهر
Figure 5. Comparison of the amount of accumulation index (Igeo) index of heavy metals of dust particles with soil of Hoveyzeh-Khorramshahr dust center.

از فاکتورها نشان می‌دهد. بر این اساس، فاکتور اول بیشترین همبستگی را با عناصر کروم، مس، نیکل و روی نشان داده است که ۴۳/۷ درصد از کل واریانس موجود، فاکتور دوم که ۲۱/۲ درصد از کل واریانس را شامل شده است، بیشترین همبستگی را با عناصر سرب و منگنز و فاکتور سوم با ۱۳/۹۲ درصد واریانس بیشترین همبستگی را با عنصر جیوه نشان داده است. با عنایت به اینکه بار عامل ارتباط بین متغیرها با هر یک از فاکتورها را توجیه می‌کند، می‌توان پی برد که احتمالاً عناصر کروم، مس، نیکل و روی دارای یک منبع احتمالی مشترک هستند و

پژوهش‌های مختلفی منابع اصلی ورود عناصر کروم، نیکل، روی و مس به ذرات گرد و غبار را منابع انسان‌زاد سوخت-های فسیلی، دود ناشی از آگزوز خودروها، روغن‌های روان کننده (گریس)، سایش و پارگی لاستیک ماشین‌ها معرفی کرده‌اند (Chen *et al.*, 2014). عناصر کروم، نیکل، روی و مس، طبق نتایج آنالیز خوشه‌ای و تجزیه مولفه‌های اصلی در یک گروه قرار دارند. هر چند بر اساس نتایج به‌دست آمده از تکنیک PCA، عنصر کبالت را نیز می‌توان در این گروه قرارداد. بار عاملی در حقیقت ارتباط بین عناصر سنگین را با هر یک

کم بین متغیرها نشان‌دهنده ارتباط قوی و فواصل زیاد بیانگر ارتباط ضعیف میان فلزات سنگین است (Duong *et al.*, 2011). بر این اساس، هشت عنصر بررسی شده در ذرات گرد و غبار به سه گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول عناصر کروم، مس، روی و نیکل را شامل می‌شود. گروه دوم فقط عنصر جیوه و گروه سوم عناصر سرب و منگنز را در بر می‌گیرد. نتیجه این آنالیز با روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی کاملاً مطابقت دارد و می‌تواند بیانگر سه منشأ مختلف برای فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار باشد. اغلب مطالعات روش آنالیز خوشه‌ای (CA) را همسان با آنالیز تجزیه عنصری (PCA) برای تایید نتایج و ارائه گروه‌بندی متغیرها گزارش نموده‌اند (Nourouzi *et al.*, 2015; Faiz *et al.*, 2009).

فاکتور دوم شامل عناصر منگنز و سرب نیز از یک منبع مشترک انسانی ناشی شده‌اند که به احتمال زیاد ناشی از فعالیت‌های ترافیکی و با منشأ متفاوتی از فاکتور اول در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده از سطح منطقه مطالعاتی حضور دارند. حال آن‌که فاکتور سوم که فقط عنصر جیوه را شامل شده است، احتمالاً از منبعی متفاوت (انسان‌زاد) از سایر گروه‌ها به ذرات گرد و غبار وارد شده است. نمودار سه بعدی ارتباط بین مؤلفه‌های اصلی با غلظت فلزات سنگین مطالعه شده در ذرات گرد و غبار این روند را به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۶).

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای (دندروگرام) برای عناصر سنگین مطالعه شده در شکل ۷، ارائه شده است. هدف از انجام آنالیز خوشه‌ای، تعیین ارتباط بین متغیرها با توجه به فاصله بین خوشه‌ها می‌باشد. به این صورت که فواصل

جدول ۵ - واریانس فاکتورها پس از چرخش واریماکس

Table 5. Variance of factors after rotation of varimax

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Total variance	3.496	1.698	1.114
Variance (%)	43.705	21.229	13.923
Cumulative Variance (%)	43.705	64.933	78.856

جدول ۶ - ماتریس فاکتورهای چرخیده شده برای غلظت عناصر سنگین در ذرات گرد و غبار

Table 6. Matrix of rotating factors for the concentration of heavy elements in dust particles

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Cr	0.940	-0.130	0.112
Cu	0.887	0.060	-0.099
Pb	-0.256	0.893	-0.09
Ni	0.832	-0.254	-0.147
Zn	0.802	-0.205	0.319
Hg	0.294	0.101	0.796
Mn	0.072	0.897	0.205
Co	0.460	0.109	-0.632

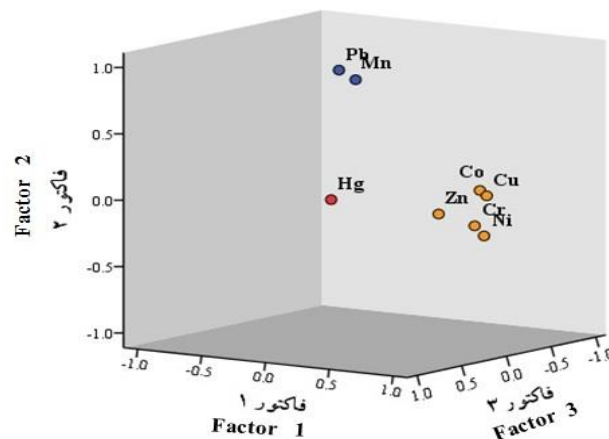
پژوهش‌های مختلفی منابع اصلی ورود عناصر کروم، نیکل، روی و مس به ذرات گرد و غبار را منابع انسان‌زاد سوخت-های فسیلی، دود ناشی از آگزوز خودروها، روغن‌های روان‌کننده (گریس)، سایش و پارگی لاستیک ماشین‌ها معرفی کرده‌اند (Chen *et al.*, 2014). عناصر کروم، نیکل، روی و مس، طبق نتایج آنالیز خوشه‌ای و تجزیه مؤلفه‌های اصلی در یک گروه قرار دارند. هر چند بر اساس نتایج به‌دست آمده از تکنیک PCA، عنصر کبالت را نیز می‌توان در این گروه قرار داد.

پژوهش‌های متعددی نیز منبع اصلی ورود عناصر کروم، نیکل، روی و مس به ذرات گرد و غبار را منابع انسان‌زاد سوخت-های فسیلی، دود ناشی از آگزوز خودروها، روغن‌های روان‌کننده (گریس)، سایش و پارگی لاستیک ماشین‌ها معرفی کرده‌اند (Chen *et al.*, 2014). عناصر کروم، نیکل، روی و مس، طبق نتایج آنالیز خوشه‌ای و تجزیه مؤلفه‌های اصلی در یک گروه قرار دارند. هر چند بر اساس نتایج به‌دست آمده از تکنیک PCA، عنصر کبالت را نیز می‌توان در این گروه قرار داد.

نتیجه گیری کلی

پراکنش عناصر سرب، مس و روی تقریباً دارای الگوی مکانی مشابهی بودند و بیشترین غلظت این سه فلز مربوط به مناطق پرتراфик مانند مرکز شهر و نیز مناطق صنعتی می‌باشد. عناصر منگنز و نیکل نیز الگوی توزیع مشابهی داشتند و غلظت آنها در غالب نقاط نمونه برداری به صورت یکنواخت مشاهده شد. کمترین غلظت‌ها برای کل فلزات در مناطق مسکونی روستایی که با خیابان‌های اصلی و مرکز شهر فاصله دارند، مشاهده شد. نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای و تجزیه مولفه اصلی نشان داد که احتمالاً فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار می‌توانند از چند منبع مختلف (آلاینده‌های نفتی، صنعتی و ترافیکی) منشاء گرفته باشند.

توان پی برد که حضور منگنز در ذرات گرد و غبار نمونه- برداری شده ناشی از منبع خاک محلی بوده است که توسط دود ناشی از آگزوز ماشین‌ها غنی‌تر شده است. عنصر جیوه بر اساس نتایج آنالیز خوشه‌ای و تجزیه مؤلفه- های اصلی به تنهایی در یک گروه قرار دارد. با توجه به محاسبات انجام شده مقادیر جیوه در ذرات گرد و غبار نسبت به مقدار زمینه بالاتر است که تأیید کننده نقش فعالیت‌های انسانی در آلوده ساختن منطقه مطالعاتی می- باشد. منابع انسان زاد آلاینده‌های نفتی و صنعتی برای عنصر جیوه در مطالعات مختلفی گزارش شده است.



شکل ۶- نمودار سه بعدی پراکنش مؤلفه‌ها پس از چرخش واریماکس برای متغیرهای مورد مطالعه

Figure 6. 3D diagram of the distribution of components after rotation of the varimax for the studied variables



شکل ۷- دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه متغیرهای مورد بررسی در ذرات گردوغبار

Figure 7. Dendrogram from cluster analysis of the studied variables in dust particles

References

- Addo M. A., Darko E. O., Gordon C., Nyarko, B. J. B. and Gbadago, J. K. 2012. heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-South district, Ghana. *International Journal of Science and Technology*, 2(1): 28-39.
- Akbari A., Azimzadeh H. R., and Bahan Dayyani S. 2002. Determination of pollution and geoaccumulation index of Pb heavy metal in soils around Behbahan cement factory. *Protection and environmental planning conference*, 1: 1-8. (In Persian)
- Al-Dabbas M., Abbas M. and Al-Khafaji R. 2012. Dust storms loads analyses –Iraq Arab. *Journal of Geoscience*. 5: 121-131.
- Alharbi B.H., Pasha M.J., and Al-Shamsi M.A.S. 2019. Metal contamination decrease with new legislation: A decade of metal risk assessment in urban dust. *Journal of Environmental Management*. 236: 214–223.
- Al-Jaberi M. H. A. 2014. Heavy metals characteristics of settled particles during dust storms in Basrah city- Iraq. *Journal of Physics Conference Series*. 3(10): 14-18.
- Beit-lafte R., Landi A., Hojati S., and Sayyad, GH. 2015. Deposition rate, mineralogy and size distribution pattern of dust particles collected around the Houralazim Marshland, Khuzestan province. *Journal of Water and Soil*. 29: 695-707. (In Persian)
- Chen H., Lu X., Chang Y., and Xue, W. 2014. Heavy metal contamination in dust from kindergartens and elementary schools in Xi'an, China. *Environmental Earth Sciences*. 71: 2701–2709.
- Deely J. M, and Fergusson J. E. 1994. Heavy metal and organic matter concentration and distributions in dated sediment of small adjacent to a small urban area. *Science of the Total Environment*. 153: 97-111.
- Duong T. T., and Lee B.K. 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*. 92: 554–562.
- Faiz Y., Tufail M., Javed M. T., Chaudhry M. M. and Siddique, N. 2009. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 92: 186–192.
- Ganor E. 1975. Atmospheric dust in Israel. Sedimentological and meteorological analysis of dust deposition. *Ph.D. dissertation*, University of Jerusalem.
- Gholampour A., Nabizadeh R., Yunesian M., Naseri S., Taghipour H., Rastkari N., Nazmara S., and Mahvi A.H. 2014. Physicochemical characterization of ambient air particulate matter in Tabriz, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 92: 738-744.
- 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. *Environmental Pollution*, 30:758-791.
- Hojati S, Khademi H, Faz Cano, A and Landi A. 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains. *Catena*. 88: 27–36.
- Iranian Meteorological Organization, Khuzestan Province Daily Meteorological Data of 2018. (Personal communication)
- Karimian B., Landi A., Hojati S., and Ahadian, J. 2016. Investigation of physicochemical and mineralogical characteristics of Ahvaz dust. *Journal of Water and Soil Research*. 47: 159-173. (In Persian)
- Li Z., Feng X., Li G., Bi X., Zhu J., Qin H., Dai Z., Liu J., Li Q., and Sun G., 2013. Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids in the street dust of a heavily industrialized city of central China. *Environmental Pollution*. 182: 408 – 416.
- 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 *Journal of Hazardous Materials*. 173:744-749.
- Mahmoudi Z. 2011. Investigation of geochemical and mineralogical characteristics of Isfahan atmospheric dust. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology.
- Muller, G.1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geological Journal*. 2: 108-118.
- Nayebare S. R., Aburizaiza O. S., Khwaja H. A., Siddique A., Hussain M. M. Zeb J., Khatib F., Arpenter D.O., and Blake, D.R. 2016. Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} in Rabigh, Saudi Arabia. *Aero. Air Quality Research*. 16(12): 3114 - 3129.

- Nourouzi S, Khademi H, Faz Cano and A, Acosta J. 2015. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*. 57: 64–73.
- Onder S. and Dursun S. 2006. Air borne heavy metal pollution of Cedrus libani (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey). *Atmospheric Environment*. 40: 1122–1133.
- Rashki A., Eriksson P. G., Rautenbach C. J. W., Kaskaoutis D. G., Grote W. and Dykstra, J. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region. Iran. *Chemosphere*. 90: 227-236.
- Saeedi M., Li L. Y., and Salmanzadeh M. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal Hazard Mater*. 228: 9–17.
- Salmanzadeh M., Saeedi, M., and Nabi Bidhandi., GH. 2012. Heavy metal pollution in sediment street dust in Tehran and their biological assessment. *Journal of Environmental Studies*. 2: 9-18.
- Wei B. F. Jiang, X. Li and Mu S. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental monitoring and assessment*. 160: 33-45.
- Yap CK, Krishnan T, Chew W. Heavy metal concentration in ceiling fans dusts sampled at schools around Serdang area. *Sains Malaysia Journal*. 10: 569–75.
- Zhao H., Shao Y., Yin C., Jiang Y., and Li X. 2016. An index for estimating the potential metal pollution contribution to atmospheric particulate matter from road dust in Beijing. *Science of Total Environmental*. 550: 167– 175.

Source Identification and Distribution Mapping of some Heavy Metals in Dust Particles Collected Around the Hoveyzeh-Khorramshahr Dust Center

Reza Aminfar¹, Ahmad Landi^{2*}, Saeed Hojati³

(Received: July 2020 Accepted: May 2021)

Abstract

Dust is one of the most important environmental pollutants, containing particulate matter and heavy metals. The aims of this study were to determine the pollution level and to identify the distribution pattern of heavy metals in dust samples collected around the Hoveyzeh - Khorramshahr dust center. Thirty points from different urban and rural areas were taken using marble sediment traps to examine the heavy metals contents of the dust particles. The results showed that the concentrations of heavy metals in dust particles follows the order $Mn > Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > Co$. Also, the highest values of enrichment factor were found in the southern parts of the study area, where the oil fields activities are predominant. The lowest concentrations of heavy metals were also observed in rural areas. In most of the stations, both values of enrichment factor and geo-accumulation index were higher in dust samples compared to those of soil samples. The values of geo-accumulation index for Hg, Pb, and Mn elements in dust particles and soil samples were in the range of medium to high pollution ($2 \leq I_{geo} < 3$), indicating the impact of various human resources on distribution of these elements. The result of cluster analysis is fully consistent with the results of Principal Component Analysis (PCA), indicating several sources deriving from human activities including oil, industrial and traffic on heavy metals distribution in dust samples.

Keywords: Correlation Coefficient, Dust, Enrichment Factor, Heavy metal, Pollution

Aminfar R., Landi A., Hojati S., 2022. Source identification and distribution mapping of some heavy metals in dust particles collected around the Hoveyzeh - Khorramshahr dust center. *Applied Soil Research*. 9(4): 1-14.

1. Ph.D Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* Corresponding Author Email: Landi@scu.ac.ir