

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار و منشأیابی آنها در اتمسفر منطقه کوهدشت استان لرستان

حمید علی پور^۱، احمد جلالیان^{۱*}، ناصر هنرجو^۱، نورایر تومانیان^۲ و فریدون سرمدیان^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۸)

چکیده

گرد و غبار هوا یکی از مشکلات زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است و در بعضی مناطق تحت تأثیر فعالیت های صنعتی، گرد و غبار هوا آلوده به فلزات سنگین است. در این مطالعه گرد و غبار هوای ۱۰ ایستگاه در منطقه کوهدشت استان لرستان در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان و همچنین خاک سطحی مجاور آن (در مجموع ۴۰ نمونه گرد و غبار و ۱۰ نمونه خاک سطحی) مورد نمونه برداری قرار گرفت و تجزیه فلزات سنگین روی، سرب، کادمیم، نیکل، مس و منگنز روی آنها انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار روی در گرد و غبار بسیار بیشتر از خاک های سطحی منطقه (۸۰۰ در مقابل ۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم) است. شاخص عامل آلودگی گرد و غبار حاکی از آلودگی بسیار زیاد کادمیم و روی، آلودگی قابل توجه نیکل و سرب و عدم آلودگی به مس و منگنز بود. شدت غنی شدگی سالیانه عناصر کادمیم (۳۳/۹) و روی (۲۴/۶) بسیار زیاد، نیکل (۱۱/۳) قابل توجه، سرب (۶/۴) متوسط، منگنز (۱) و مس (۰/۸۲) کم است. بر اساس نتایج عامل غنی شدگی، منشأ عنصر کادمیم، روی و نیکل انسانی، منشأ سرب انسانی و طبیعی توأم و منشأ مس و منگنز طبیعی است.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، عامل غنی شدگی، عامل آلودگی، شاخص بار آلودگی، وارونگی دما

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۲. گروه علوم خاک، مرکز علوم و تحقیقات اصفهان، سازمان تحقیقات کشاورزی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: jalalian@khuisf.ac.ir

مقدمه

گرد و غبار یکی از پدیده‌های جوی است که پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی برجای می‌گذارد، یکی از این پیامدها ورود فلزات سنگین به اتمسفر و انتقال آنها همراه با گرد و غبار هوا به مناطق دوردست است (۲۸). توزیع زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار تحت تأثیر میزان بارش و رطوبت نسبی و دمای حداقل و حداکثر در تمام ماه‌ها و سرعت حداکثر و متوسط باد در ماه‌های خشک است (۲۱). نتایج مطالعات انجام شده بر روی گرد و غبار شهرهای اصفهان، خمینی‌شهر، فلاورجان، مبارکه و زرین‌شهر نشان داد که غلظت فلزات سنگین سرب، روی، کادمیم، مس، نیکل، کبالت، کروم و منگنز در گرد و غبار این مناطق در مقیسه با میانگین خاک‌های منطقه به مراتب بیشتر است. به دنبال افزایش استفاده از وسایل گرمایشی و وقوع پدیده وارونگی دمایی در فصل پاییز، حداکثر نرخ فرونشست این فلزات در این فصل مشاهده شد. بر اساس نتایج این پژوهشگران، اتمسفر نقش مهمی در ورود فلزات سنگین به خاک منطقه داشته و عامل ورود بخشی از سرب و کادمیم به خاک است (۱۵). سلیمانی و همکاران (۲۴) در مطالعات فلزات سنگین موجود در هوای شهر اصفهان نتیجه‌گیری کردند که مقدار عناصر سرب، کادمیم و نیکل از حد مجاز سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بیشتر بوده و این عناصر از سوخت‌های فسیلی، سایش لاستیک و وسایل نقلیه و فعالیت‌های صنعتی در منطقه منشأ گرفته‌اند.

در مطالعات زیست‌محیطی به‌ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های مختلف آلودگی ارزیابی می‌شود. عامل غنی‌شدگی (Enrichment Factor (EF)، شاخص تجمع آلودگی (Contamination Factor (CF)، شاخص بار آلودگی زمین‌شناسی (Geo-Accumulation Index) و شاخص بار آلودگی (Pollution Load Index (PLI) از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار و زمینه، منشأ طبیعی یا انسان‌ساز فلزات سنگین و شدت آلودگی این

عناصر را نشان می‌دهند (۷ و ۱۰).

عامل غنی‌شدگی، برای جداکردن عناصر منشأ گرفته از فعالیت‌های انسانی از فرایندهای طبیعی کاربرد دارد، در واقع در محاسبه این عامل، نرمال‌سازی عنصر مورد بررسی در مقابل یک عنصر مرجع صورت می‌گیرد. عنصر مرجع عنصری است که غلظت آن در محیط تغییرپذیری اندکی داشته باشد و تحت تأثیر عوامل انسانی نباشد. عناصری از جمله آلومینیوم، آهن، منگنز، تیتانیوم و سیلیسیم اغلب به‌عنوان عنصر مرجع در محاسبه این عامل مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۴، ۱۵). غنی‌شدن عناصر موجود در گرد و غبار نسبت به ترکیب لایه سطحی زمین، دلیلی بر این است که آنها از منابع انسانی منشأ گرفته‌اند. فعالیت‌های انسانی شامل استفاده از سوخت‌های فسیلی و سوزاندن چوب و زباله، دود ناشی از آگزوز ماشین‌ها، فعالیت‌های صنعتی، تولید انرژی، فعالیت‌های عمرانی و ... است (۲۲). نتایج مطالعات انجام‌شده بر روی گرد و غبار تهران با استفاده از شاخص‌های عامل غنی‌شدگی و شاخص تجمع زمین‌شناسی نشان داد که مقادیر فلزات سنگین موجود در گرد و غبار تهران از مقادیر زمینه منطقه بیشتر بوده است. همچنین کادمیم و مس غنی‌شدگی به نسبت زیاد، سرب و روی غنی‌شدگی متوسط داشته، ولی غنی‌شدگی آرسنیک قابل توجه نبوده است. در این مطالعات منشأ فلزات سنگین در گرد و غبار تهران ترافیک سنگین، نیروگاه‌ها و صنایع تشخیص داده شد (۲۵). بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی گرد و غبار شهر کرمانشاه عامل غنی‌شدگی برای عناصر بور، روی و مولیبدن خیلی بالا و برای عناصر مس، سرب، کادمیم، نیکل، وانادیم و کروم متوسط بوده و نتیجه‌گیری شده که انتشار این عناصر از وسایل نقلیه و سایر منابع انسانی بوده است. عناصر آهن، پتاسیم، کلسیم، سلنیوم، آرسنیک، کبالت، فسفر، منیزیم و سدیم موجود در گرد و غبار دارای میزان عامل غنی‌شدگی پایین بوده‌اند که نتیجه‌گیری شده منشأ این عناصر از پوسته زمین بوده است (۱۸). در این پژوهش، بطور کلی دو منشأ برای فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شهر کرمانشاه ذکر کرده‌اند. منشأ

احتمال وجود آلودگی به فلزات سنگین جهت مدیریت‌های بعدی ضروری به شمار می‌رود. اهداف این مطالعه عبارت‌اند از:

۱. بررسی ارتباط نرخ میزان فرونشست ریزگردها با عوامل اقلیمی
۲. تعیین پراکنش زمانی و مکانی فلزات سنگین گرد و غبار
۳. ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار
۴. شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین گرد و غبار منطقه
۵. شناسایی منابع احتمالی تولید ذرات گرد و غبار منطقه

مواد و روش‌ها

جهت انجام این مطالعه، حوضه آبخیز کوه‌دشت با مساحت ۴۵۶ کیلومتر مربع واقع در غرب ایران و جنوب غربی استان لرستان با ارتفاع ۱۱۹۷/۸۵ متر از سطح دریا، میانگین بارندگی ۴۰۵/۲ میلی‌متر در سال و میانگین درجه حرارت ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (۱۳). حوضه مورد مطالعه در حد فاصل ۳۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی ۴۷ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از شرق و شمال شرقی به شهرستان خرم‌آباد، از شمال غرب به شهرستان نورآباد، از جنوب به استان خوزستان و از سمت غرب به استان‌های ایلام و کرمانشاه محدود می‌شود.

روش نمونه‌برداری

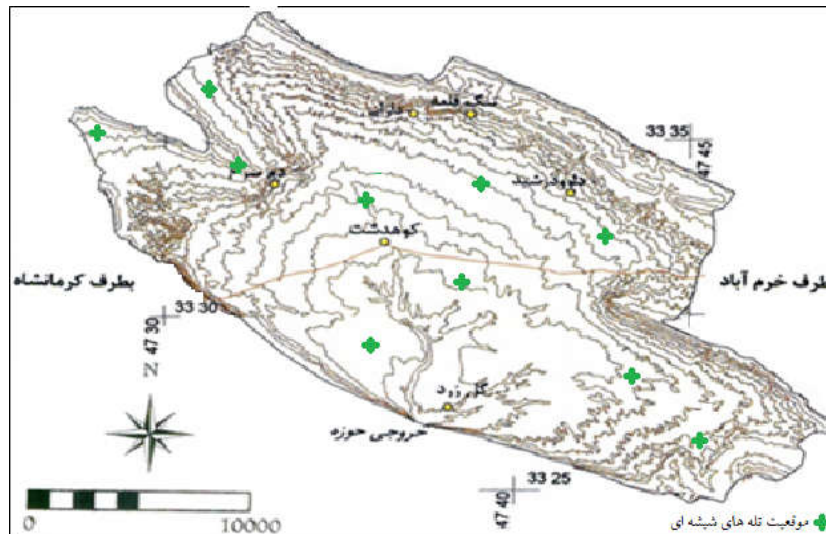
به منظور جمع‌آوری ریزگردها در منطقه، تله‌های شیشه‌ای با ابعاد یک متر مربع استفاده شد که با توری پلاستیکی با روزنه‌های دو میلی‌متری پوشانده شده بود (۱۶). این تله برای به دام‌انداختن ریزگردها در ارتفاع حدود ۲/۵ متری از سطح زمین در منطقه نصب شد که این نقاط با توجه به جهت باد غالب ابتدا بر روی نقشه مشخص و سپس با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث و سیستم موقعیت یاب جغرافیایی (GPS) موقعیت آنها روی زمین پیاده شد. شکل ۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری گرد و غبار در حوضه آبخیز کوه‌دشت را نشان می‌دهد.

اول وسایل نقلیه موتوری و صنایع و منشأ دوم پوسته جامد زمین معرفی شده است (۱۸).

شاخص عامل آلودگی برای بررسی میزان آلودگی محیط به فلزات سنگین معرفی شده است (۹). شاخص بار آلودگی نیز شاخص دیگری است که براساس مقادیر عامل آلودگی عناصر محاسبه می‌شود. مقادیر کمتر از یک این شاخص نشان می‌دهند که غلظت عناصر نزدیک به سطح زمینه است و مقادیر بیش از یک بیانگر گسترش آلودگی می‌باشد (۲۰). شاخص بار آلودگی نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در یک نمونه تا چه میزان از محیط طبیعی تجاوز کرده است (۸ و ۲۳).

با تعیین ضرایب همبستگی فلزات سنگین و با انجام آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) و بر اساس مقادیر عامل غنی‌شدگی، می‌توان با احتمال بالایی یکسان‌بودن منشأ فلزات سنگین گرد و غبار را شناسایی کرد (۲۸). در مورد منشأ گرد و غبار در اتمسفر ایران علاوه بر کانون‌های داخل کشور، کانون‌های موجود در عراق، سوریه، عربستان، اردن، کویت و جنوب ترکیه گزارش شده‌اند (۲۹). در مطالعاتی که بر روی گرد و غبارهای داخلی استان خوزستان انجام شد وجود همبستگی مثبت بین عناصر مس، وانادیوم، کبالت و نیکل نشانه منشأ احتمالاً یکسان برای این عناصر بشمار آمد. محاسبه عامل آلودگی نشان داد که روند سرب <روی <کادمیم <آرسنیک <نیکل <کبالت <وانادیوم برای آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار خوزستان وجود دارد. با توجه به مشاهده بیشترین مقدار عنصر سرب در نمونه‌های گرد و غبار شهر اهواز، غلظت زیاد سرب در گرد و غبار این شهر منشأ گرفته از بار ترافیکی بالا و احتراق سوخت‌های فسیلی در این شهر دانسته شد. افزایش غلظت سرب در گرد و غبارهای رخ داده در فصول سرد به پدیده وارونگی در زمستان نسبت داده شده است (۳۰).

از آن جایی که در منطقه کوه‌دشت استان لرستان واقع در غرب کشور ایران هیچ‌گونه مطالعه جامعی در زمینه گرد و غبار موجود در هوای منطقه و منشأیابی آن تاکنون صورت نگرفته، انجام این مطالعه برای شناسایی میزان گرد و غبار منطقه و



شکل ۱. نقشه توپوگرافی حوزه کوهدهشت و محل قراردادن تله‌های نمونه‌برداری گرد و غبار

عصاره‌ها به دلیل آن که خارج از حد تشخیص دو دستگاه قبلی بود با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل WF-1E Rayleigh: تعیین شد. دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer: AA 3030، دارای سیستم شعله و کوره گرافیتی همراه با HGA 400 Programmer و سیستم هیدرید MHS 10 تلفیق می‌شود و با استفاده از لامپ‌های هوشمند HCL و لامپ‌های EDL شرایط لازم برای اندازه‌گیری فلزات را با حد تشخیص خیلی کم در ماتریکس‌های متفاوت را فراهم می‌کند. نمونه‌ها جهت تزریق به کوره گرافیتی به داخل ظروف پلی‌اتیلنی درب‌دار انتقال داده شدند. حد تشخیص (Detection Limit) برای شعله در حد ppm و برای تکنیک کوره در حد ppb است.

محاسبه شاخص‌های آلودگی

عامل آلودگی

این عامل بر اساس رابطه (۱) برای عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار منطقه تعیین شد (۱۹):

$$C_f^i = \frac{C_{o-1}^i}{C_n^i} \quad (1)$$

C_f^i ، عامل آلودگی، C_{o-1}^i غلظت عنصر در گرد و غبار و C_n^i حداقل غلظت عنصر در منطقه مطالعاتی می‌باشد.

ارزیابی مقادیر عامل آلودگی بر اساس داده‌های جدول ۱ انجام گرفت.

البته علاوه بر جهت باد سعی بر این بوده که موقعیت تله‌ها توزیع مناسبی در سطح منطقه داشته باشند. در ضمن به منظور به دست آوردن غلظت حداقل عنصر مرجع در خاک، از عمق ۱۰-۰ سانتی متری خاک سطحی مجاور تله‌های شیشه‌ای نیز نمونه‌برداری در آخر اسفند ۱۳۹۴ انجام شد. نمونه برداری گرد و غبار طی سال ۱۳۹۴ و در انتهای هر فصل در روزهای سیام ماه‌های خرداد، شهریور، آذر و اسفندماه صورت پذیرفت.

مطالعات آزمایشگاهی

بعد از آماده‌سازی نمونه‌های گرد و غبار اتمسفری و خاک سطحی منطقه، تعیین غلظت کل فلزات سنگین به روش هضم شیمیایی توسط دستگاه مایکروویو مدل ETHOS 1 ساخت کشور ایتالیا انجام شد. بدین منظور یک گرم از هر نمونه خاک و ریزگرد توزین شد و به همراه مخلوطی از اسید نیتریک ۶۵ درصد و پراکسید هیدروژن ۳۵ درصد با نسبت ۹ به ۱، به منظور هضم در ویال‌های مایکروویو قرار گرفت (۳). پس از هضم نمونه‌ها، غلظت فلزات منگنز، مس، نیکل و روی به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer: AA 3030 و مقدار سرب با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer: AA 200 و با تکنیک شعله اندازه‌گیری شدند. همچنین، مقدار کل عنصر کادمیم

جدول ۱. طبقه بندی عامل آلودگی عناصر سنگین گرد و غبار (۱۹)

شدت آلودگی	میزان عامل آلودگی
آلودگی کم	عامل $CF > 1$
آلودگی متوسط	$1 > CF > 3$
آلودگی قابل توجه	$3 > CF > 6$
آلودگی زیاد	عامل $CF < 6$

طبقه بندی میزان بار آلودگی در جدول ۳ ارائه شده است.

عامل غنی شدگی

این عامل بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (۱۰):

$$EF = \left[\left(\frac{C_n}{C_{ref}} \right)_{sample} \right] / \left[\left(\frac{B_n}{B_{ref}} \right)_{baseline} \right] \quad (2)$$

C_n ، غلظت عنصر در نمونه گرد و غبار و C_{ref} ، غلظت عنصر مرجع در گرد و غبار می باشد. B_n و B_{ref} مقادیر غلظت عنصر مورد نظر و مرجع در خاک منطقه است. عنصر مرجع عنصری در نظر گرفته می شود که پایدار بوده و تحت تأثیر فعالیت های انسان ساز قرار نمی گیرد. در این تحقیق از منگنز به عنوان عنصر مرجع استفاده شد (۶ و ۱۸). ارزیابی عامل غنی شدگی بر اساس جدول ۲ صورت پذیرفت.

مقادیر کمتر از یک عامل غنی شدگی برای یک فلز سنگین نشان دهنده منشأ طبیعی این فلز است در حالی که مقادیر بیش از ۱ تا ۱۰ منشأ طبیعی و انسانی توأم و مقادیر بیشتر از ۱۰ دلالت بر منشأ انسان ساز دارد (۵).

شاخص بار آلودگی

شاخص بار آلودگی شاخص دیگری جهت ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین است که مقادیر فصلی و سالیانه این شاخص برای هر کدام از عناصر بر مبنای رابطه (۳) تعیین شد (۱۹):

$$PL = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (3)$$

در این رابطه CF_i عامل آلودگی هر کدام از فلزات سنگین از رابطه (۱) به دست آمده و n تعداد فلزات مورد مطالعه می باشد.

نرم افزارهای مورد استفاده

بررسی تغییرات توزیع زمانی و مکانی آلاینده های عناصر، وضعیت توزیع فراوانی داده ها با استفاده از شاخص های میانه، میانگین، مد، واریانس، انحراف معیار، دامنه، چولگی و کشیدگی، مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین میان نمونه های مختلف با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، همبستگی بین ویژگی غلظت فلزات سنگین با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون دارای توزیع نرمال و سایر تجزیه های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS, 17 انجام شد. برای نمایش توزیع داده های آماری از نمودار هیستوگرام استفاده شد. در رسم نمودارها از نرم افزار EXCELL, 2013 استفاده شد. تهیه نقشه های میان یابی به کمک نرم افزار Arc-GIS 10.3.1 به روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) انجام شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار منطقه
توصیف آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه های گرد و غبار فصلی اتمسفری فرونشسته در منطقه مطالعاتی در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین میزان فلزات سنگین مربوط به فلز روی در فصل زمستان با میانگین غلظت ۱۰۵۶/۲۵ و با دامنه تغییرات ۹۷۵ تا ۱۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت فلز سنگین مربوط به فلز کادمیم در فصل تابستان با

جدول ۲. طبقه‌بندی عامل غنی‌شدگی (۱۰)

شدت غنی‌شدگی	میزان غنی‌شدگی
غنی‌شدگی کم	$2 > EF$
غنی‌شدگی متوسط	$5 > EF > 2$
غنی‌شدگی قابل توجه	$20 > EF > 5$
غنی‌شدگی بسیار زیاد	$40 > EF > 20$
غنی‌شدگی فوق‌العاده زیاد	$40 < EF$

جدول ۳. طبقه‌بندی بار آلودگی (۱۹)

شدت آلودگی	میزان بار آلودگی
بدون آلودگی	بار آلودگی > 1
شروع آلودگی	بار آلودگی $= 1$
آلودگی منطقه	بار آلودگی < 1

جدول ۴. توصیف آماری میزان غلظت فصلی فلزات سنگین گرد و غبار منطقه مطالعاتی (میلی گرم بر کیلوگرم)

فلز	دوره نمونه‌برداری	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشی‌دگی	واریانس
کادمیم	بهار	۱/۷۴	۰/۸۵	۲/۶۵	۰/۱۴	-۱/۴۲	۰/۴۶
	تابستان	۰/۸۹	۰/۶۱	۱/۲۰	۰/۶۵	-۰/۵۶	۰/۰۵
	پاییز	۰/۹۲	۰/۷۱	۱/۱۵	۰/۲۱	-۱/۲۶	۰/۰۳
	زمستان	۲/۷۳	۲/۴۴	۳/۳۰	۱/۰۲	-۰/۶۷	۰/۱۳
سرب	بهار	۴۲/۴۴	۳۹/۰	۴۵	-۰/۴۵	-۰/۰۳	۳/۸۲
	تابستان	۴۶/۷۴	۴۲/۵	۴۹/۵	-۰/۳۱	-۲/۰۹	۸/۸۱
	پاییز	۴۰/۱۳	۳۸	۴۳	۰/۵۰	۰/۲۱	۲/۵۵
	زمستان	۴۸/۳۸	۴۶/۳	۵۲/۹	۱/۳۰	۱/۹۵	۴/۸۲
نیکل	بهار	۱۰۳	۹۸	۱۱۰	۰/۴۸	-۱/۹۲	۲۸
	تابستان	۹۶/۳۸	۹۴	۹۸	-۰/۳۷	-۲/۱۰	۳/۴۱
	پاییز	۱۱۸/۶۳	۱۱۴	۱۲۲	-۰/۸۴	۱/۴۶	۵/۷۰
	زمستان	۱۰۰/۳۸	۹۹	۱۰۲	۰/۱۱	-۱/۹۲	۱/۷۰

ادامه جدول ۴

فلز	دوره نمونه برداری	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	واریانس
روی	بهار	۷۲۸/۷۵	۵۵۰	۹۰۰	-۰/۴۸	-۰/۸۹	۱۶۰۷۶/۷۹
	تابستان	۸۹۳/۷۵	۸۰۰	۹۵۰	-۰/۶۷	-۰/۸۲	۲۹۹۱/۰۷
	پاییز	۵۲۳/۷۵	۴۸۰	۶۲۵	۲/۰۸	۵/۲۱	۱۹۲۶/۷۹
	زمستان	۱۰۵۶/۲۵	۹۷۵	۱۱۵۰	۰/۵۹	۰/۰۵	۳۱۶۹/۶۴
مس	بهار	۱۹/۶۶	۱۷/۹	۲۳/۴	۱/۱۶	۱/۳۶	۳/۵۰
	تابستان	۱۸/۹۸	۱۷/۷	۲۴/۵	۲/۶۶	۷/۲۶	۵/۱۴
	پاییز	۲۴/۶۶	۱۶/۰	۵۳/۵	۲/۵۰	۶/۶۳	۱۴۴/۳۴
	زمستان	۱۹/۹	۱۹/۰	۲۳/۵	۲/۳۲	۵/۵۶	۲/۳۶
منگنز	بهار	۴۱۱/۲۵	۳۹۵	۴۳۰	۰/۱۷	-۲/۲۰	۲۳۳/۹۳
	تابستان	۴۲۸/۷۵	۳۸۵	۵۰۵	۱/۱۳	۲/۲۳	۱۳۸۳/۹۳
	پاییز	۴۲۵	۴۱۵	۴۳۵	۰/۳۳	-۱/۴۹	۵۷/۱۴
	زمستان	۴۰۶/۲۵	۳۸۴	۴۳۵	۰/۲۷	-۱/۰۸	۳۳۸/۵۰

است.

میانگین غلظت روی در گرد و غبار منطقه (۸۰۰/۴) بسیار بیشتر از میانگین غلظت این عنصر در خاک‌های منطقه (۸۵/۴۳) است. غلظت سرب در گرد و غبار (۴۴/۳۴) به مقدار کمی بیشتر از خاک‌های منطقه (۳۵/۶۴) است. غلظت کادمیم در گرد و غبار منطقه (۱/۵۷) نیز اندکی بیشتر از خاک‌های منطقه (۱/۴۸) بوده است. روند غلظت سالیانه فلزات سنگین گرد و غبار اتمسفری منطقه مطالعاتی به ترتیب فراوانی به صورت، روی < منگنز < نیکل < سرب < مس < کادمیم است. در مجموع روی بیشترین و کادمیم کمترین غلظت را به خود اختصاص داده است. در حالی که این غلظت در خاک منطقه مورد مطالعه به صورت، منگنز < نیکل < روی < سرب < مس < کادمیم است. غنی شدن عناصر موجود در گرد و غبار و تغییر روند آن نسبت به ترکیب لایه سطحی زمین و روند فلزات سنگین در خاک منطقه، دلیلی بر این است که حداقل بخشی از فلزات سنگین

میانگین غلظت ۰/۸۹ و دامنه تغییرات ۰/۶۱ تا ۱/۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم است. به نظر می‌رسد وارونگی هوا در فصل زمستان یکی از عوامل تجمع فلزات سنگین در گرد و غبار منطقه کوه‌دشت لرستان باشد. در مطالعه گرد و غبار شهر اصفهان بیشترین میزان فلزات سنگین مربوط به دوره آبان- آذر بود که به افزایش استفاده از وسایل گرمایشی و وقوع پدیده وارونگی دمایی نسبت داده شد. بر اساس نتایج حاصله اتمسفر نقش مهمی در ورود فلزات سنگین به خاک منطقه داشته و عامل ورود ۳۵-۹۱ درصد از سرب به خاک و ۴۷-۱۲ درصد از کادمیم به خاک شناخته شد (۱۵).

توزیع غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار و خاک منطقه

مقادیر میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری و خاک سطحی منطقه مطالعاتی مجاور ایستگاه‌های جمع‌آوری گرد و غبار در جدول ۵ آورده شده

جدول ۵. میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار سالیانه و خاک منطقه مطالعاتی (میلی گرم بر کیلوگرم)

Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Zn	نمونه
۱/۵۷	۲۰/۸۴	۴۴/۳۴	۱۰۴/۵۴	۴۱۸/۱۳	۸۰۰/۴۰	گرد و غبار
۱/۴۸	۱۵/۷۰	۳۵/۶۴	۱۴۰/۲۹	۴۳۰/۴۳	۸۵/۴۳	خاک

توجه و عناصر منگنز ($CF=۰/۴۵$) و مس ($CF=۰/۳۶$) دارای آلودگی کم هستند. در مجموع نتایج محاسبه میزان آلودگی سالیانه فلزات سنگین که میانگین آلودگی فصلی است نشان داد که عناصر کادمیم ($CF=۱۵/۷$) و روی ($CF=۱۱/۴$) دارای عامل آلودگی بسیار زیاد، نیکل ($CF=۵/۲$) و سرب ($CF=۳$) دارای آلودگی قابل توجه، و عناصر منگنز ($CF=۰/۴۶$) و مس ($CF=۰/۳۸$) دارای آلودگی کم هستند. مطالعات گرد و غبار استان کرمانشاه نشان داد که غلظت فلزات سنگین روی، مس، نیکل و کروم در گرد و غبار این استان در مقایسه با خاک‌های جهان بیشتر بود در حالی که برای آهن و منگنز چنین شرایطی وجود نداشت (۲).

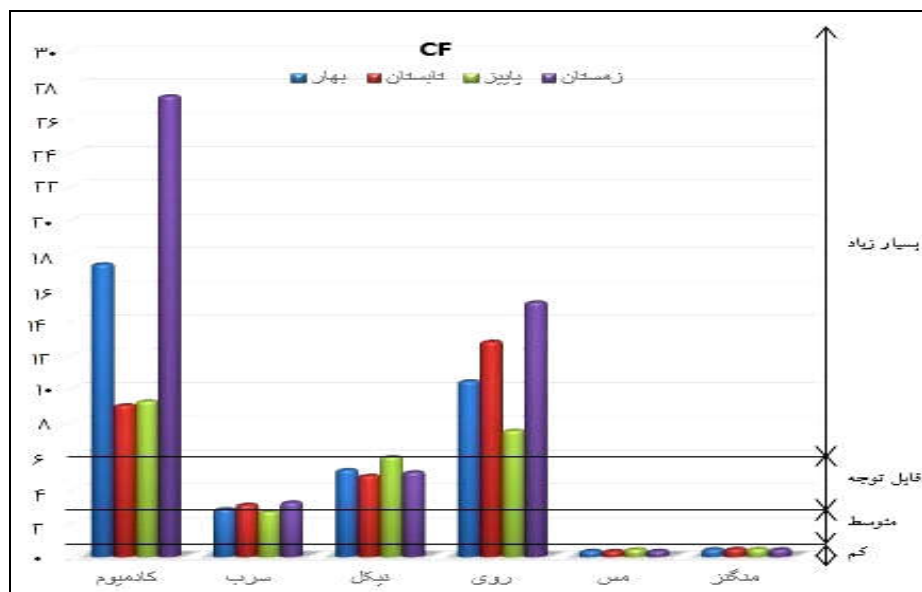
عامل غنی‌شدگی

میزان این پارامتر با استفاده از رابطه (۲) برای تمام عناصر در نمونه‌های گرد و غبار اتمسفری فصل‌های مختلف محاسبه و در شکل ۳ ارائه شده است. میزان عامل غنی‌شدگی در نمونه‌های فصلی گرد و غبار، در فصل‌های بهار، زمستان و پاییز مشابه روند سالیانه و به صورت کادمیم < روی < نیکل < سرب < منگنز < مس ولی در تابستان روند به صورت روی < کادمیم < نیکل < سرب < منگنز < مس است. در فصل زمستان مقادیر عامل غنی‌شدگی بیشتر از سایر فصول بوده بطوری که عامل غنی‌شدگی کادمیم برابر ۶۰/۵ (فوق العاده زیاد)، روی برابر ۳۳/۵ (بسیار زیاد)، نیکل برابر ۱۱/۱ (قابل توجه)، سرب برابر ۷/۲ (متوسط)، منگنز برابر ۱ (کم) و مس برابر ۰/۸۰ (کم) است (جدول ۲). شدت غنی‌شدگی سالیانه عناصر

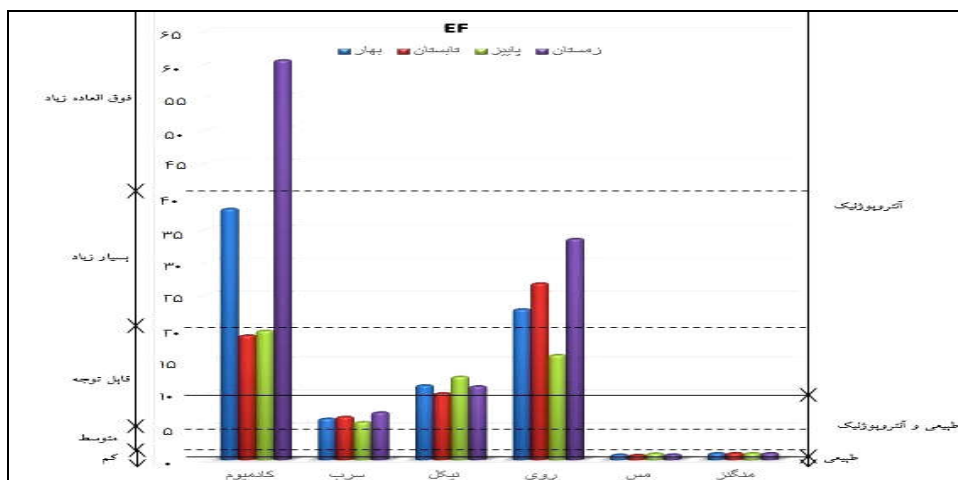
گرد و غبار به خصوص روی از فعالیت‌های انسانی منشأ گرفته اند. فعالیت‌های انسان‌زاد، باعث ورود قابل توجهی از فلزات سنگین مورد مطالعه در منطقه می‌شوند و این عناصر بر سطوح ذرات ریزگردها جذب شده و در اتمسفر پراکنده می‌گردند (۶). فعالیت‌های انسان‌ساز و آنتروپوژنیک اصلی‌ترین عامل بالا رفتن میزان غلظت عناصر گرد و غبار و غنی شدن خاک منطقه در نتیجه فرونشست ذرات گرد و غبار است. عدم وجود صنایع مهم و عدم ترافیک زیاد در منطقه و وجود میزان بالای بعضی از عناصر سنگین به ویژه عنصر روی در گرد و غبار بیانگر ورود این عنصر از طریق گرد و غبار فرامرزی است که در نتیجه فرونشست ذرات گرد و غبار، خاک منطقه را غنی کرده است (۱۳). غلظت فلزات منگنز، نیکل و مس در گرد و غبار بیشتر از خاک‌های منطقه است که نشان‌دهنده منشأ طبیعی این عناصر در گرد و غبار است.

عامل آلودگی

به‌منظور تخمین میزان آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار منطقه، مقادیر عامل آلودگی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. نتایج این محاسبات در شکل ۲ ارائه شده است. میزان آلودگی سالیانه فلزات سنگین به صورت روند کادمیم < روی < نیکل < سرب < منگنز < مس است. به‌طور کلی بر اساس میزان عامل آلودگی می‌توان گفت که بیشترین میزان آلودگی در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. در مقایسه با داده‌های جدول ۱ می‌توان گفت که در این فصل عناصر کادمیم ($CF=۲۷/۳$) و روی ($CF=۱۵/۱$) دارای درجه آلودگی بسیار زیاد، نیکل ($CF=۵$) و سرب ($CF=۳/۲$) دارای آلودگی قابل



شکل ۲. میانگین فاکتور آلودگی فصلی فلزات سنگین گرد و غبار به همراه کلاس‌های تعریف شده (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. میانگین عامل غنی‌شدگی فصلی فلزات سنگین گرد و غبار به همراه کلاس‌های تعریف شده (رنگی در نسخه الکترونیکی)

طبیعی و انسانی توأم و عناصر منگنز و مس منشأ طبیعی در منطقه مورد مطالعه دارند (۴). محاسبه عامل غنی‌سازی در گرد و غبار استان کرمانشاه نشان داد که غنی‌سازی برای منگنز و کروم متوسط و برای روی، مس و نیکل قابل توجه بود (۲). نتایج محاسبات عامل غنی‌سازی بر گرد و غبار

کادمیم (۳۳/۹) و روی (۲۴/۶) بسیار زیاد، نیکل (۱۱/۳) قابل توجه، سرب (۶/۴) متوسط، منگنز (۱) و مس (۰/۸۲) کم (جدول ۲) هستند.

عناصر کادمیم، روی و نیکل که دارای عامل غنی‌شدگی بیش از ۱۰ هستند منشأ انسانی دارند ولی عنصر سرب منشأ

شمال غربی وارد حوضه آبخیز کوه‌دشت می‌گردند.

شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار منطقه

برای تشخیص منابع احتمالی ورود فلزات سنگین به گرد و غبار منطقه، پارامتر ضرایب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای فلزات سنگین نمونه‌های گرد و غبار مورد بررسی قرار گرفتند. ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین تعداد ۴۰ نمونه گرد و غبار فصلی منطقه در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج این جدول نشان می‌دهد که روی و سرب موجود در گرد و غبار اتمسفری منطقه دارای ضریب همبستگی زیاد و معنی‌دار هستند ($r = 0.725$). به عبارت دیگر احتمالاً منشأ این دو عنصر در گرد و غبار مشابه است.

آنالیز PCA، براساس روش وارد بر روی داده‌های غلظت عناصر سنگین گرد و غبار طی چهار فصل نمونه برداری انجام شد و نتیجه آن در جدول ۸ و شکل ۶ ارائه گردیده است.

مقادیر واریانس فاکتورها و بارهای عامل بعد از چرخش واریمکس نشان می‌دهند که دو فاکتور اصلی قادر به توجیه ۶۷۸۴ درصد از تغییرات می‌باشد. ۳۶۸۳ درصد از واریانس در فاکتور یک واقع می‌باشد که شامل بار عامل قابل توجه برای عناصر سرب، مس، روی و نیکل است. فاکتور دو با واریانس ۳۲/۰۰ درصد بار عامل قابل توجهی برای عناصر کادمیم و منگنز را دارا می‌باشد. میزان بار عامل نشانگر میزان ارتباط بین متغیرها با هر فاکتور است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که عناصر سرب، مس، روی و نیکل دارای منشأ احتمالی مشترک و عناصر کادمیم و منگنز هم از یک منبع مشترک و متفاوت از گروه اول منشأ می‌گیرند. به منظور تعیین منابع احتمالی کنترل‌کننده فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک صنعتی روی در استان زنجان، از تکنیک‌های آماری چند متغیره استفاده شد و منشأ عناصر روی و کادمیم ناشی از فعالیت‌های صنعتی و عناصر نیکل و سرب از مواد مادری بیان شد (۵). در پژوهش مشابهی که با استفاده از روش PCA در منطقه هرمز ایران انجام پذیرفت، درصد تجمعی واریانس برابر ۶۵/۲۰ و

شهر اصفهان حاکی از منشأ انسانی در تولید فلزات سنگین کادمیم، مس، نیکل، سرب و روی موجود در گرد و غبار شهر بود (۲۱). در مطالعات انجام شده بر روی گرد و غبار شهر تهران، مقدار عامل غنی‌شدگی برای آرسنیک بزرگتر از ۱ یعنی کم، برای روی و سرب و مس بین ۲ تا ۵ یعنی متوسط، برای کادمیم بین ۵ و ۱۰ یعنی قابل توجه بود. در این مطالعه غنی‌شدگی نسبی عناصر سنگین در هوای تهران به فعالیت‌های انسانی نسبت داده شد (۲۵).

شاخص بار آلودگی

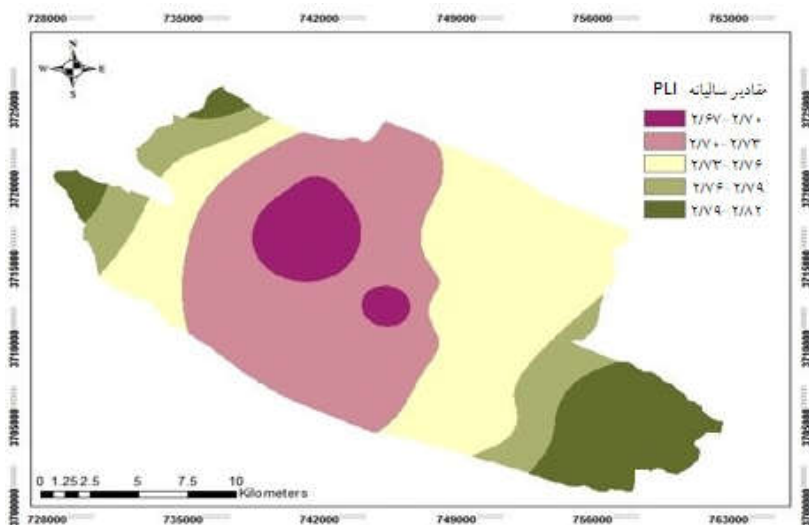
بر اساس رابطه (۳) شاخص بار آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار محاسبه شد. توصیف آماری مقادیر شاخص بار آلودگی فلزات سنگین نمونه‌های گرد و غبار منطقه در جدول ۶ ارائه شده است. بیشترین میزان شاخص بار آلودگی در فصل زمستان به میزان ۳/۲ و با دامنه تغییرات، ۳/۰۵ تا ۳/۳ و کمترین میزان در فصل پاییز به میزان ۲/۴۵ و با دامنه تغییرات ۲/۲۶ تا ۲/۷۷ است.

چنانچه در جدول ۶ مشاهده می‌شود میزان بار آلودگی تمام فصل‌ها بیش از یک بوده که بیانگر آلاینده‌ی منطقه به فلزات سنگین در تمام فصل‌های سال بر اساس معیارهای جدول ۳ است (۱۹). تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی سالیانه فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری منطقه مطالعاتی در شکل ۴ ارائه شده است.

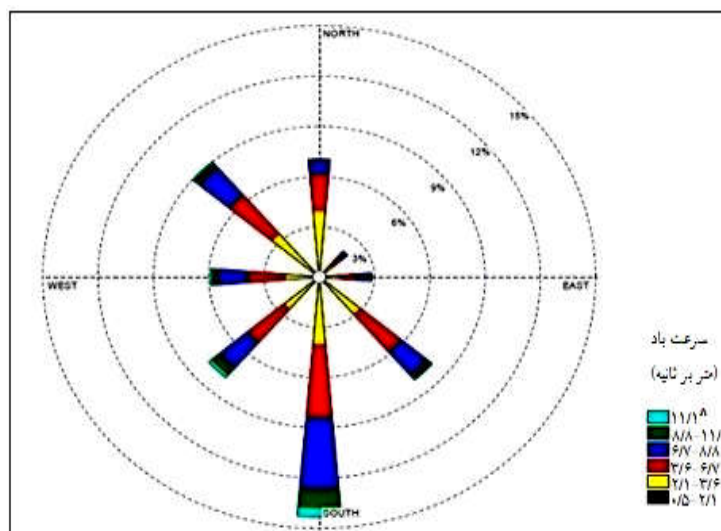
چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین آلودگی در جنوب شرق و شمال غرب منطقه کوه‌دشت و کمترین آلودگی در مرکز منطقه دیده می‌شود. با توجه به عدم استقرار صنعت در منطقه کوه‌دشت لرستان، به نظر می‌رسد آلودگی منطقه تحت تأثیر بادهایی باشد که از جنوب شرق یعنی استان خوزستان و شهر اهواز وارد منطقه می‌شود و نیز بادهایی که از شمال غرب یعنی استان کرمانشاه وارد منطقه می‌شوند. در شکل ۵ گلباد سالیانه منطقه کوه‌دشت (۱۲) نشان می‌دهد که بادهای فراوانی از جنوب شرقی و

جدول ۶. توصیف آماری میزان شاخص بار آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار

نمونه	دوره	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	واریانس
	بهار	۲/۷۲	۲/۴۱	۳/۰۵	۰/۱۵۷	-۱/۴۳۱	۰/۰۵۲
	تابستان	۲/۵۴	۲/۳۸	۲/۶۵	-۰/۸۰۴	-۰/۸۷۸	۰/۰۱۱
گرد و غبار	پاییز	۲/۴۵	۲/۲۶	۲/۷۷	۰/۹۶۹	۰/۸۳۱	۰/۰۲۸
	زمستان	۳/۲	۳/۰۵	۳/۳	-۰/۶۳۸	-۰/۶۵۶	۰/۰۰۸
	سالانه	۲/۸	۲/۷۵	۲/۹۳	۱/۵۲	۱/۶۱۱	۰/۰۰۴



شکل ۴. تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی سالانه فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری منطقه مطالعاتی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



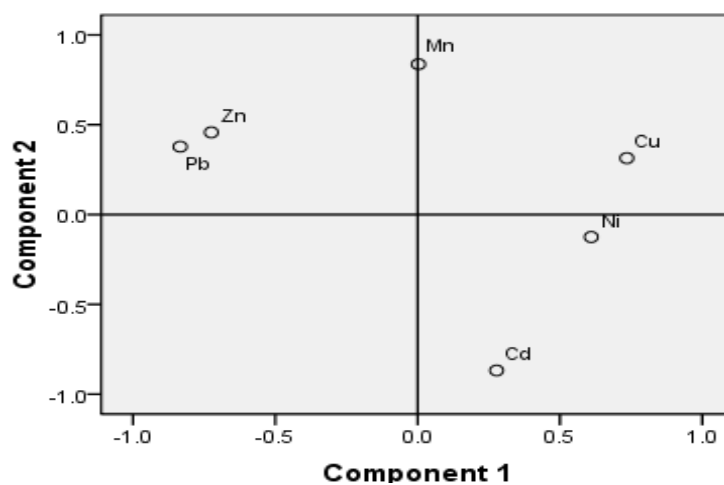
شکل ۵. نمودار گلباد سالانه منطقه کوهدشت استان لرستان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۷. ضرایب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین گرد و غبار منطقه

مگنز	مس	روی	نیکل	سرب	کادمیم	
					۱	کادمیم
				۱	-۰/۶۵۳	سرب
			۱	-۰/۳۸۶	۰/۲۵۴	نیکل
		۱	-۰/۴۵۷	۰/۷۲۵*	-۰/۴۸۸	روی
	۱	-۰/۲۷۸	۰/۱۴۴	-۰/۴۶۸	-۰/۰۷۱	مس
۱	۰/۰۱۴	۰/۳۸۰	-۰/۰۳۶	۰/۱۸۸	-۰/۵۹۳	مگنز

جدول ۸. واریانس فاکتورها و بارهای عامل پس از چرخش واریمکس بر روی داده‌های غلظت عناصر سنگین گرد و غبار طی چهار فصل حاصل از آنالیز تجزیه مؤلفه اصلی (PCA)

فاکتور دو	فاکتور یک	
۱/۹۲۱	۲/۲۱۰	واریانس کل
۳۲/۰۰۹	۳۶/۸۳۷	درصد واریانس
۶۸/۸۴۵	۳۶/۸۳۷	درصد واریانس تجمعی
-۰/۸۶۸	۰/۲۷۷	کادمیم
۰/۳۷۸	-۰/۸۳۴	سرب
-۰/۱۲۵	۰/۶۱۰	نیکل
۰/۴۵۸	-۰/۷۲۵	روی
۰/۳۱۴	۰/۷۳۵	مس
۰/۸۳۷	۰/۰۰۳	مگنز



شکل ۶. نمودار پراکنش فاکتورها پس از چرخش واریمکس برای عناصر سنگین گرد و غبار حاصل از آنالیز تجزیه مؤلفه اصلی (PCA)

CASE	0	5	10	15	20	25
Label	Num	+-----+-----+-----+-----+-----+				
Pb	2	-+-----+-----+-----+-----+-----+				
Zn	4	--+-----+-----+-----+-----+-----+				
Mn	6	-----+-----+-----+-----+-----+				
Cd	1	-----+-----+-----+-----+-----+				
Ni	3	-----+-----+-----+-----+-----+				
Cu	5	-----+-----+-----+-----+-----+				

شکل ۷. دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه ای (CA) عناصر سنگین گرد و غبار

می‌توان ناشی از منابع صنعتی، فرسوده شدن لاستیک خودروها و خوردگی قطعات گالوانیزه اتومبیل دانست (۱۱). در آنالیز PCA و CA، عناصر کادمیم و منگنز در گروه دوم تعریف می‌شوند. عنصر کادمیم میزان غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ نیز دارای منبع انسان‌زاد، انتشارات وسایل نقلیه و مصرف سوخت‌های فسیلی هستند. عنصر منگنز نسبت به دو عنصر دیگر دارای مقدار فاکتور غنی‌شدگی کمتر و در دامنه ۱ تا ۱۰ است. از این رو می‌توان منشأ منگنز گرد و غبار منطقه را به منبع طبیعی خاک محلی نسبت داد.

نتیجه‌گیری

متوسط غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار بسیار بیشتر از خاک منطقه است. به نظر می‌رسد این افزایش به دلیل فعالیت‌های انسانی محلی یا فرامرزی بوده که از طریق جذب توسط ذرات گرد و غبار در منطقه رخ داده است. نتایج تجزیه‌های مربوط به عامل آلودگی نشان داد که عناصر کادمیم و روی دارای آلودگی بسیار زیاد و نیکل و سرب دارای آلودگی قابل توجه هستند. در مقابل عامل آلودگی منگنز و مس کم است. نتایج میزان غنی‌شدگی سالیانه فلزات سنگین گرد و غبار نشان داد که عناصر کادمیم و روی دارای درجه غنی‌شدگی فوق‌العاده زیاد و بسیار زیاد، نیکل دارای غنی‌شدگی قابل توجه، سرب غنی‌شدگی متوسط و عناصر مس و منگنز دارای

تعداد مؤلفه‌های مؤثر برابر ۲ به دست آمد (۱). آنالیز خوشه ای بر اساس روش وارد بر روی داده‌های غلظت فلزات سنگین گرد و غبار طی چهار فصل نمونه‌برداری انجام شد و نتیجه آن در شکل ۷ ارائه گردید. در دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای فاصله میان خوشه‌ها قوی و فاصله زیاد نشان‌دهنده ارتباط ضعیف بین متغیرها است (۲۱). در شکل دو خوشه قوی و به نسبت قوی بین روی با سرب، منگنز با کادمیم و نیکل با مس مشاهده می‌شود که این نتایج با نتیجه حاصل از آنالیز همبستگی غلظت فلزات سنگین مطابقت دارد. همچنین نتایج به دست آمده با نتیجه روش آنالیز تجزیه مؤلفه اصلی مطابقت داشته و فلزات در دو گروه متمایز در دندروگرام (شکل ۷) مشاهده می‌شوند. گروه اول، مس، نیکل، سرب و روی و گروه دوم عناصر کادمیم و منگنز را در بر می‌گیرد. در آنالیز PCA و CA عناصر مس، نیکل، سرب و روی در یک گروه قرار می‌گیرند. عنصر مس به علت عامل غنی‌شدگی کمتر از بقیه عناصر این گروه، تا حد زیادی از منبع طبیعی و محلی خاک منطقه نشأت گرفته است. از طرفی همبستگی بین غلظت روی با سرب (جدول ۷) معنی‌دار است. نیکل، با میزان غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ نیز دارای منبع انسان‌زاد، ناشی از انتشارات آلاینده‌های هوا از وسایل نقلیه و مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشند. سرب و روی عمدتاً از انتشارات آگروز خودروها به گرد و غبار وارد شده‌اند. علاوه بر منبع یاد شده، منشأ عنصر روی را

بنزین، استفاده از روغن‌های روان‌کننده، سائیدگی لاستیک خودروها و خوردگی قطعات گالوانیزه خودروها و نیز صنعت از مهم‌ترین منابع انسان‌زاد ورود عناصر سنگین به گرد و غبار منطقه مطالعاتی به شمار می‌روند.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اصفهان بابت فراهم‌آوردن زمینه انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

غنی‌شدگی کم هستند. نتایج نشان داد در تمام فصول، کادمیم، روی و نیکل منشأ انسان‌زاد و سرب منشأ طبیعی و انسان‌زاد توأم و عناصر مس و منگنز منشأ طبیعی دارند. تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری منطقه مطالعاتی نشان داد که بیشترین میزان آلودگی در جنوب شرق و شمال غربی منطقه رخ داده، بنابراین می‌توان گفت که به احتمال قوی ورود این عناصر به منطقه منشأ انسان‌زاد و فرامرزی داشته که از این دو سمت با وزش باد وارد منطقه می‌شود (شکل ۵). در مجموع نتایج منشأیابی ورود عناصر در گرد و غبار منطقه نشان داد که منابع اصلی انسان‌زاد نظیر مصرف سوخت‌های فسیلی، ترافیک شامل مصرف گازوئیل و

منابع مورد استفاده

1. Abbaszadeh, F., V. R. Jalali and A. Jafari. 2018. Study of heavy metal sources through PCA and CA analysis in Hormoz. *Journal of Soil Research* 6 (1): 13-24.
2. Ahmadi doabi, Sh., M. Afyouni, H. Khademi and M. Karami. 2014. Heavy metal analysis in dust of Kermanshah Province. *Journal of Water and Soil Science* 20 (76): 29-43 (In Farsi).
3. Akinola, M. O. and K. L. Njoku. 2008. Determination of Lead, Cadmium and Chromium in the tissue of an economically important plant grown around a Textile industry at Ibeshe area of Lagos state, Nigeria. *Journal of Advances in Environmental Biology* 2: 25-30.
4. Chen, H., X. Lu, Y. Chang and W. Xue. 2014. Heavy metal contamination in dust from kindergartens and elementary schools in Xi'an, China. *Environmental Earth Science* 71: 2701-2709.
5. Delavar, M. A. and Y. Safari. 2015. Source identification of heavy metals in soils surrounding the Zanjan zinc town by multivariate statistical techniques. *Journal of Water and Soil* 29(3): 627-637.
6. Duong, T. and B. K. Lee. 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management* 92: 554-562.
7. Dytłow, S. and B. Go'rkka-Kostrubiec. 2021. Concentration of heavy metals in street dust: an implication of using different geochemical background data in estimating the level of heavy metal pollution. *Environmental Geochemistry Health* 43:521-535.
8. Gueguen, F., P. Stille, M. L. Geagea and R. Boutin. 2012. Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring– Part I: Trace element analysis. *Chemosphere* 86: 1013-1019.
9. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research* 14: 975-1001.
10. Han, Y. M., P. X. Du, J. J. Cao and E. S. Posmentier. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*. 355: 176-186.
11. Lin, C. C., S. J. Chen, K. L. Huang, W. I. Hwang, G. P. Chang Chien and W. Y. Lin. 2005. Characteristics of metals in nano/ultrafine/fine/coarse particles beside a heavily trafficked road. *Environmental Science and Technology* 39: 8113-8122.
12. Lorestan annual statistics. 2015. Part one. Land and weather. Climate Organization of Lorestan Province.
13. Lu, X., L. Wang, K. Lei, J. Huang and Y. Zhai. 2009. Contamination assessment of Mercury and Arsenic in roadway dust from Baoji China. *Atmospheric Environment* 43: 2489-2496.
14. Lu, X. L. Wang, K. Lei, J. Huang and Y. Zhai. 2009. Contamination assessment of Copper, Lead, Zinc, Manganese, Nickel in street dust of Baoji NW China. *Journal of Hazardous Materials* 161: 1058-1062.
15. Mahmoodi, Z. and H. Khademi. 2015. Concentration of some heavy metals in atmospheric dust of Isfahan and some neighboring cities. *Journal of Water and soil Science* 18 (67): 243-255 (In Farsi).

16. Menendez, I., J. L. Diaz Hernandez, J. Mangas, I. Alonso and P. J. Sancegez Soto. 2007. Air borne dust accumulation and soil development in the North East sector of Gran Canaria (Canary) Island, Spain. *Journal of Arid Environment* 71: 57-81.
17. Meza-Figueroa, D., M. De la O-Villanueva and M. L. De la Parra. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México. *Atmospheric Environment* 41: 276-288.
18. Nazari, Z., N. Khorasani, S. Feiznia and M. Karami. 2018. Sources investigation of airborne elements in Kermanshah. *Journal of Arid Biome* 8 (2): 65-75 (In Farsi).
19. Nkansah, M. A., J. R. Fianko, S. Mensah, M. Debrah, and G. W. Francis. 2015. Determination of heavy metals in dust from selected nursery and kindergarten classrooms within the Kumasi metropolis of Ghana. *Cogent Chemistry* 1, 1119005.
20. Norouzi, S., H. Khademi, Sh. Ayoubi and A. F. Cano. 2017. Seasonal and spatial variations in dust deposition rate and concentrations of dust-borne heavy metals, a case study from Isfahan, central Iran. *Atmospheric Pollution Research* 8 :1-14.
21. Norouzi. S. and H. Khademi. 2015. Spatial and temporal variation in dust deposition rate in Isfahan and its relationship with selected climatic parameters. *Journal of Soil and Water Sciences* 19 (72): 149-162 (In Farsi).
22. Park, SH., C. B. Song, M. C. Kim, S. B. Kwon and K. W. Lee. 2003. Study on size distribution of total aerosol and water-soluble ions during an Asian dust storm event at Jeju Island, Korea. *Environmental Monitoring Assessment* 93: 157-183.
23. Salo, H., M. S. Bucko, E. Vaahtovu, J. Limo, J. Makinen and L. J. Pesonen 2012. Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and Lichens. *Journal of Geochemical Exploration* 115: 9-81.
24. Soleimani, M., N. Amini, B. Sadeghian, D. Wang, and L. Fang. 2018. Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran. *Journal of Environmental Science* 72:166-175.
25. Taghavi, S. N., H. Kamani, M. H. Dehghani, R. Nabizadeh, N. Afshari and A. H. Mahvi. 2019. Assessment of heavy metals in street dusts of Tehran using enrichment factor and geo-accumulation index. *Health Scope*. 8(1): e57879.
26. Ugolini, F. C., S. Hillier, G. Certini and M. J. Wilson. 2008. The contribution of aeolian material to an Aridisol from southern Jordan as revealed by mineralogical analysis. *Journal of Arid Environments* 72: 1431-1447.
27. Wei, B., F. Jiang, X. Li and S. Mu. 2009. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchemical Journal* 93: 147-152.
28. Yongming, H., D. Peixuana, C. Junjib and E. S. Posmentier 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355: 176-186.
29. Zarifi, K. and B. Habibian. 2011. Effect of dust on human health. In: First Congress of Dust and its Problems. University of Ramin, Faculty of Agriculture and Environment, Ahvaz, Khuzestan (In Farsi).
30. Zarasvandi, A., M. Heidari, A. Lahijan-zadeh, S. Jalali, M. Rezaei, M. Saed and Z. Fereydouni. 2018. Geochemistry and geo-environmental parameters of heavy metals in dust with internal sources in the Khuzestan Province. *Journal of Agricultural Engineering* 41 (1): 105-126.

Evaluation of Heavy Metal Dust Pollution and their Origin in the Atmosphere of Kuhdasht, Lorestan Province

H. Alipour¹, A. Jalalian^{1*}, N. Honarjoo¹, N. Tommanian² and F. Sarmadian³

(Received: September 19-2020; Accepted: April 7-2021)

Abstract

Dust is one of the environmental hazards in arid and semi-arid regions of the world. In some areas, under the influence of human activities, dust is contaminated by heavy metals. In this study, the dust of 10 stations in the Kuhdasht region of Lorestan province in four seasons of spring, summer, autumn, and winter, as well as adjacent surface soils (a total of 40 dust samples and 10 surface soil samples), were sampled and some heavy metals including Zn, Pb, Cd, Ni, Cu, and Mn were analyzed. The results revealed that the amount of Zn in the dust was much higher than the surface soils of the region (800 vs. 85 mg/kg). Contamination factor index calculation indicated that high contamination of Cd and Zn, significant contamination of Ni and Pb, and lack of contamination by Cu and Mn. The annual enrichment factor of Cd (33.9) and Zn (24.6) was very high, Ni (11.3) was significant, Pb (6.4) was moderate, Mn (1) and Cu (0.82) were low. Based on the enrichment factor values, Cd, Zn, and Ni seem to have a human origin, Pb has both human activities and natural origin, and Cu and Mn have an only natural origin.

Keywords: Air pollution, Enrichment factor, Pollution factor, Pollution load index, Temperature inversion

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2. Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran.

*: Corresponding author, Email: jalalian@khuif.ac.ir