



ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در ذرات معلق باریده در غرب ایران با استفاده از شاخص Geo-accumulation

رضا بشیری خوزستانی^۱، بابک سوری^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

^۲ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۲

Evaluation of the Contamination Level of Heavy Metals in Dust-Fall Particles in Western Iran Using Geo-Accumulation Index

Reza Bashiri Khuzestani¹, Bubak Souri^{2*}

¹ M.Sc. Student in Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan.

² Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan.

Abstract

Emission of dust-fall particles in western Iran has been considered as one of the most important environmental issues in recent years. Additionally, presence of heavy metal in these particles due to their toxicity and health problems has been an issue of interest by researchers. Therefore evaluation of the contamination level of this kind of pollution and then determination of proper management strategies for controlling their emission is very important. In fact, the main scope of this research was to evaluate the contamination level of heavy metals in dust-fall particulates precipitated in western Iran using Geo-accumulation index (I_{geo}). In this research these particles were sampled through passive deposit gauge method for a period of one year, from April 2010 to March 2011, in Sanandaj city, western Iran, where has been reportedly the third highly polluted city of the world in 2010 for dust-fall particles. The results demonstrated that mean \pm SD of the concentration of heavy metals were 14003.570 \pm 915.3 for Fe, 497.731 \pm 29.817 for Mn, 61.307 \pm 5.414 for Cu and 18.287 \pm 1.955 for As in mg/Kg based on dry weights of dustfall particles. Also the analysis of the Geo-accumulation index showed that the maximum amounts of I_{geo} values were -1.751 for Fe, -0.63 for Mn, 0.848 for Cu and 1.249 for As, which were evaluated as uncontaminated for Fe and Mn and moderate contamination Cu and As.

Keywords: Dust-fall Particles, Heavy Metals, Contamination Level, Deposit Gauge Method, Geo-Accumulation Index.

چکیده

انتشار ذرات معلق در مناطق غربی ایران به عنوان یکی از مهم ترین مشکلات زیست محیطی این مناطق در سال های اخیر معرفی شده است. به علاوه وجود فلزات سنگین در این ذرات به دلیل خاصیت سمی و بیماری زایی آن ها همواره مورد توجه محققین قرار داشته است. از این رو تشخیص میزان این نوع از آلودگی به منظور تعیین استراتژی های مناسب برای کنترل آن بسیار ضروری است. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی سطح خطر آلودگی فلزات سنگین در ذرات معلق باریده در غرب ایران با استفاده از شاخص I_{geo} (Geo-accumulation) است. بدین منظور و با استفاده از روش سنجش انباشت، طی مدت یک سال (از فروردین ماه تا اسفندماه ۱۳۸۹) در شهر سنندج، که در سال ۲۰۱۰ از حیث غلظت ریزگردها به عنوان سومین شهر آلوده جهان مطرح شد، از این ذرات نمونه برداری شد. نتایج نشان داد که میانگین \pm انحراف معیار غلظت فلزات سنگین براساس وزن خشک ذرات معلق، برای آهن برابر 14003.570 ± 915.3 mg/kg، برای منگنز 497.731 ± 29.817 mg/kg، برای مس 61.307 ± 5.414 mg/kg و برای آرسنیک 18.287 ± 1.955 mg/kg است. نتایج تحلیل های به دست آمده از شاخص Geo-Accumulation نشان داد که بیشترین مقدار ضریب I_{geo} برای آهن معادل -1.751 ، برای منگنز معادل -0.63 ، برای مس معادل 0.848 ، و برای آرسنیک معادل 1.249 است. در مجموع مقادیر این شاخص برای فلزات Fe و Mn در محدوده غیر آلوده و برای فلزات Cu و As در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط ارزیابی شد.

کلمات کلیدی: ذرات معلق، فلزات سنگین، سطح آلودگی، روش سنجش انباشت، شاخص Geo-Accumulation.

* Corresponding author. E-mail Address: bsouri@uok.ac.ir

۱- مقدمه

آلودگی هوا یک مشکل جهانی تأثیرگذار بر کیفیت محیط زیست و سلامت انسان‌هاست. وجود ذرات معلق به‌عنوان یکی از آلاینده‌های شاخص هوا، دال بر اهمیت این ذرات بر سلامتی انسان‌ها می‌باشد. کشور ایران، مستقر در غرب آسیا، یکی از مناطق عمده تحت تأثیر ذرات معلق آلاینده هواست که در سال‌های اخیر میزان آن به‌شدت و به‌شکل نگران‌کننده‌ای افزایش یافته است. این ذرات عمدتاً از مناطق خاورمیانه و کشورهای واقع در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر و اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک با بارندگی سالیانه بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر، منتشر می‌شود [۳، ۱، ۲]. ذرات معلق منتشره از این مناطق به‌واسطه عوامل فرساینده بادی از ساختارهای خاک جدا می‌شوند و به‌دلیل برخورداری از خصوصیات فیزیکی خاص - نظیر اندازه، شکل و وزن مخصوص - در مسافت‌های طولانی قابل انتقال‌اند و به‌دلیل منشا عمدتاً خاک‌زاد مقادیر زیادی از عناصر معدنی را با خود حمل می‌کنند [۵ و ۴]. لذا بررسی خصوصیات فیزیکی - شیمیایی این ریزگردها را، با توجه به آثارشان بر محیط زیست و سلامت انسان، می‌توان یکی از عوامل کلیدی ارزیابی کیفیت هوای تنفسی برشمرد [۴]. در این میان مطالعه میزان ته‌نشینی ذرات معلق با منشاء طبیعی که حضور گسترده و پایاتری در محل زندگی انسان دارند، از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت محیط زیست به‌شمار می‌رود [۶، ۷]. خصوصیات فیزیکی - شیمیایی این ذرات به‌گونه‌ای است که بخش اعظم آن‌ها را رس‌های منعقدشده، سیلت و شن‌های ریز تشکیل می‌دهد. همچنین این ذرات در جذب عوامل معدنی، به‌خصوص عناصر فلزی، در ساختار خود قابلیت‌های بسیار دارند؛ لذا می‌توان آنها را عوامل تعیین‌کننده کیفیت محیط زیست یک منطقه در بلندمدت قلمداد کرد [۷]. مطالعه و بررسی نوع و میزان فلزات سنگین به‌علت داشتن خواص سمی، و نیز توانایی آن‌ها در جذب، انتقال و انتشار در محیط زیست بسیار حائز اهمیت است [۸].

علاوه بر این، مطالعه آلودگی فلزات سنگین در ذرات معلق، در تعیین استراتژی‌های مدیریتی مناسب به‌منظور کنترل انتشار این ذرات و نیز کاهش بار آلودگی و صدمات ناشی از آن‌ها بسیار مؤثر است [۱۱، ۱۰، ۹ و ۱۲]. در حال حاضر شاخص‌های فراوانی به‌منظور ارزیابی و مطالعه

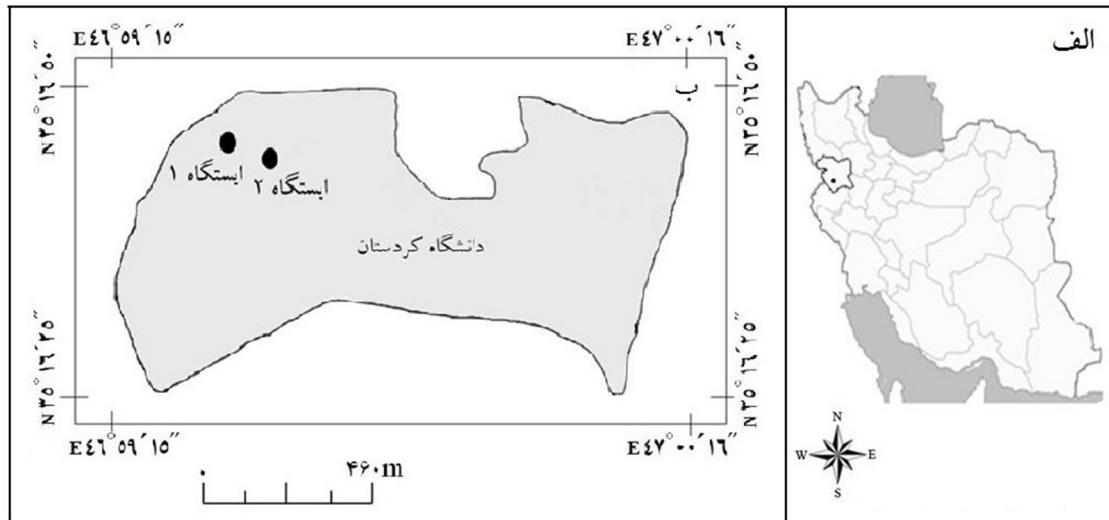
آلودگی فلزات سنگین ابداع شده که در میان آن‌ها استفاده از شاخص Geo-accumulation کاربرد فراوانی پیدا کرده است [۱۰ و ۱۱]. در این تحقیق، با مطالعه منابع موجود در این زمینه و پیشنهادات مرکز استاندارد ASTM، روش نمونه‌برداری مطابق با روش سنجش انباشت^۱ انتخاب شد. این روش یکی از متداول‌ترین و بهترین روش‌های استاندارد نمونه‌برداری و نیز تعیین نرخ ته‌نشینی ذرات معلق است که تا به حال توسط محققین در کشورهای مختلفی چون ایران، آمریکا، انگلستان، چین و غیره به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی - شیمیایی ذرات معلق مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳ و ۱۴].

در مطالعه حاضر، پس از نمونه‌برداری از ذرات معلق باریده طی مدت یک سال در محوطه دانشگاه کردستان واقع در جنوب شهر سنندج، حجم فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها - شامل آهن (Fe)، منگنز (Mn)، مس (Cu) و آرسنیک (As) - اندازه‌گیری شد و با استفاده از شاخص Geo-accumulation مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌طور کلی هدف از انجام این تحقیق، تعیین سطوح آلودگی فلزات سنگین در ذرات معلق باریده در شهر سنندج است که در سال‌های اخیر با هجوم گسترده ریزگردها در غرب ایران مواجه بوده، و براساس گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی سومین شهر آلوده جهان از حیث میزان ذرات معلق معرفی شده است [۱۵].

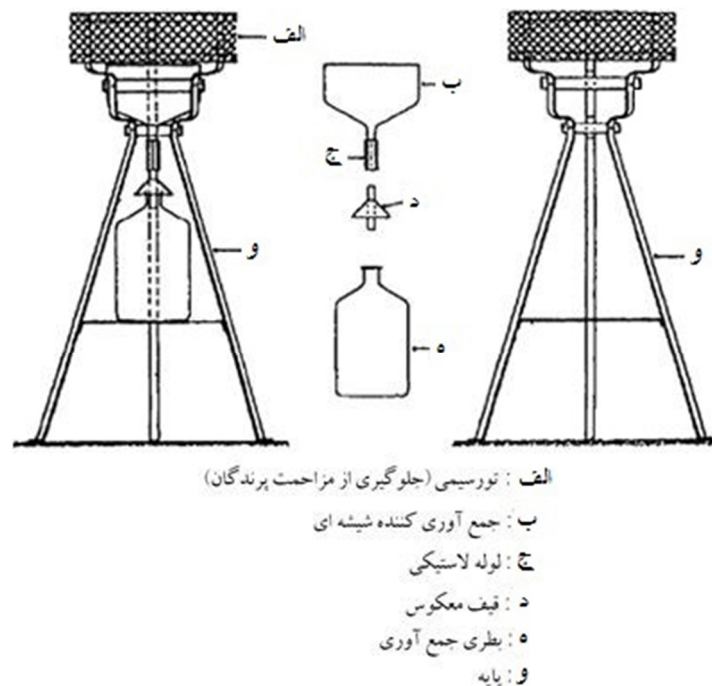
۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق نمونه‌برداری از ذرات معلق باریده طی یک سال، از فروردین تا اسفند سال ۱۳۸۹، با فواصل زمانی ده روز و براساس روش سنجش انباشت ذرات که از روش‌های غیر فعال نمونه‌برداری^۲ [۱۶ و ۱۷] است در دو ایستگاه در محوطه دانشگاه کردستان (شکل ۱) انجام شد.

در این روش دستگاهی متشکل از یک قیف جمع‌آوری‌کننده ذرات، با دهانه ورودی ۳۱۵ و عمق ۱۱۵ میلی‌متر که با استفاده از یک قیف معکوس به یک بطری جمع‌آوری ذرات متصل شده و روی پایه‌ای با ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر ثابت شده مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲) [۱۶ و ۱۷]. در بازه زمانی نمونه‌برداری، پس از هر دوره ده روزه، ریزگردهای باریده بر قیف شیشه‌ای با استفاده از آب دوبر تقطیر شسته و به بطری جمع‌آوری منتقل شد.



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی محدوده دانشگاه کردستان در غرب ایران؛ ب) مکان ایستگاه‌های ۱ و ۲ نمونه‌برداری



شکل ۲- اجزای دستگاه مونتاژ شده به منظور نمونه‌برداری ذرات معلق باریده به روش غیرفعال [۱۷]

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین Cu, Mn, Fe و As ابتدا ۰/۷ گرم از نمونه‌ها توزین شد و به آن‌ها ۱۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک (HNO_3) غلیظ (۶۵٪) اضافه شد و عصاره تهیه شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس به منظور انجام هر چه بهتر فرایند هضم، عصاره مذکور به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، و در

محلول به دست آمده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به طور کامل خشک شد و ذرات حاصله به منظور تعیین غلظت ریزگردها توزین شد و سپس در پاکت‌های پلاستیکی خشک و تمیز جایگزین شد [۱۸]. در این تحقیق نمونه‌برداری از دو مکان یادشده به طور همزمان و به صورت مجزا انجام گرفت و در نهایت از آماره میانگین داده‌ها برای تعیین نمونه شاخص هر ۱۰ روز نمونه‌برداری استفاده شد.

پایه هر فلز، هنگامی که مطالعات جامع به منظور تعیین سطوح پایه ژئوشیمیایی آن‌ها در منطقه صورت نگرفته، استفاده از مقدار پایه هر فلز در شیل نفتی^۵ توصیه شده است [۲۴]. براساس مطالعات انجام شده توسط محققین، استفاده از این شاخص در تحلیل آلودگی فلزات سنگین، به دلیل ثبات و تغییرپذیری کم آن در طول زمان، به منظور انجام تحلیل بهتر و دقیق تر در مقایسه با دیگر شاخص‌های موجود توصیه شده است [۱۰]. شاخص Geo-accumulation محاسبه شده دارای ۷ طبقه است که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص Geoaccumulation و سطوح آلودگی آن

سطوح آلودگی	مقادیر شاخص I_{geo}	طبقه بندی شاخص Geo-accumulation
غیر آلوده	$I_{geo} \leq 0$	۰
غیر آلوده/ آلودگی متوسط	$1 < I_{geo} < 0$	۱
آلودگی متوسط	$2 < I_{geo} < 1$	۲
آلودگی متوسط/ آلودگی زیاد	$3 < I_{geo} < 2$	۳
آلودگی زیاد	$4 < I_{geo} < 3$	۴
آلودگی زیاد/ آلودگی بسیار زیاد	$5 < I_{geo} < 4$	۵
آلودگی بسیار زیاد	$I_{geo} > 5$	۶

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مورفولوژی ذرات معلق

در شکل ۳ تصویری از نمونه‌ها که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تهیه شده نشان داده شده است. نتایج حاصل از تحلیل تصاویر نشان داد که بیشینه قطر این ذرات حدود ۲۲ میکرومتر است. همچنین مشخص شد که شکل ظاهری این ذرات - که اغلب زاویه دار هستند و نه کروی - حمل آن‌ها توسط جریانات هوا و عوامل فرسایش بادی را تسهیل می‌کند. این موارد تأکیدی است بر منابع عمدتاً طبیعی و خاک‌زاد این ریزگردها در غرب ایران [۲]. مطالعات نشان می‌دهد الگوهای فرسایش خاک از مهم‌ترین منابع انتشار ذرات معلق در اتمسفر هستند که البته نقش و اهمیت عوامل اقلیمی در بروز پدیده فوق بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۸ و ۲۵].

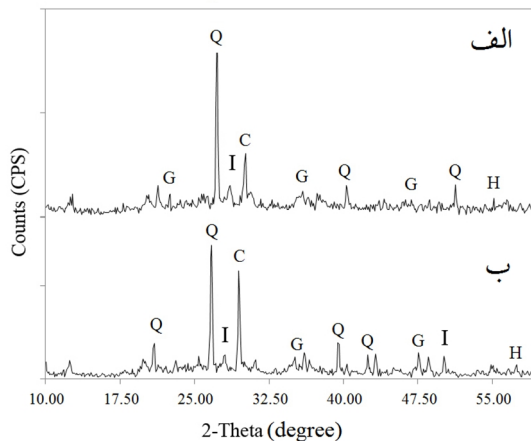
نهایت با استفاده از کاغذ صافی واتمن^۳ شماره ۴۱ تصفیه شد [۱۹]. برای تعیین غلظت فلزات Fe، Mn و Cu از دستگاه جذب اتمی به روش شعله، و به منظور اندازه‌گیری غلظت نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی به روش کوره گرافیتی (Biotech-phoenix 986) استفاده شد. نوع و فراوانی نسبی کانی‌های تشکیل‌دهنده ریزگردهای مذکور پس از آماده‌سازی لازم [۲۰]، در دو مورد از نمونه‌ها که به ترتیب در فصل تابستان (زمانی که میانگین دمای هوا بالا بود) و در فصل زمستان (زمانی که میانگین دمای هوا کم‌تر بود) جمع‌آوری شده بود، با استفاده از دستگاه پراکندگی اشعه ایکس^۴ مطالعه شد و طیف‌های به دست آمده از نمونه‌ها با پیک‌های استاندارد هر کدام از کانی‌ها مقایسه و با استفاده از نرم‌افزار Crystal Impact Match (Match version 1.11) تفسیر شد [۲۱]. همچنین به منظور تعیین اندازه و بررسی شکل ذرات، عکس‌برداری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی JEOL JSM 840A انجام پذیرفت و تصاویر تهیه شده با استفاده از برنامه تحلیل دیجیتالی تصاویر (Image version 1.44p) بررسی شد. ضمناً داده‌های مربوط به مقادیر روزانه پارامترهای هواشناسی - مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا و میدان دید افقی - با استفاده از سازمان هواشناسی در سال ۲۰۱۰ تهیه شد [۲۲]. از مقادیر به دست آمده برای محاسبه میانگین ۱۰ روزه، به منظور تحلیل داده‌ها استفاده شد.

۳-۲- تحلیل آلودگی فلزات سنگین با شاخص Geo-accumulation

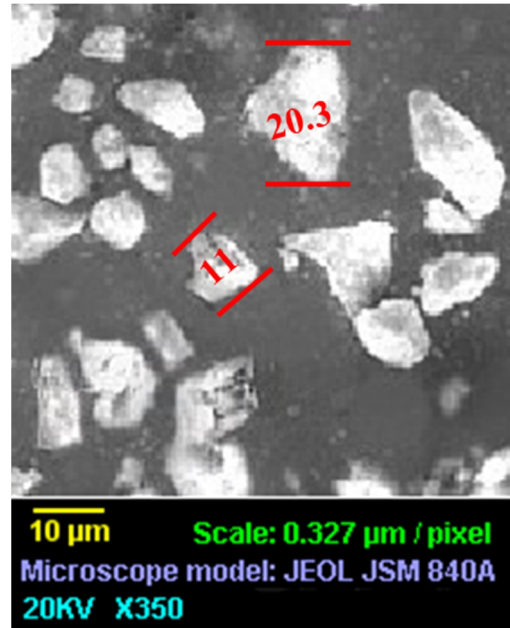
به منظور ارزیابی سطوح آلودگی فلزات سنگین در این تحقیق از شاخص Geo-accumulation استفاده شد. این شاخص ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های مختلف را، با استفاده از مقایسه غلظت حال حاضر عنصر و مقادیر پایه‌ای^۶ آن، ممکن می‌سازد [۲۳]:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (1)$$

در این رابطه ضریب I_{geo} نشان‌گر شاخص Geo-accumulation است و C_n غلظت فلز در محیط و B_n غلظت پایه‌ای^۵ آن است [۲۴]. اعمال ضریب ثابت ۱/۵ در این رابطه نیز به علت تغییرات مقادیر پایه‌ای عناصر نسبت به مقادیر زمین‌شناختی آن است. به منظور محاسبه غلظت



شکل ۴- طیف پراکندگی اشعه ایکس مربوط به ریزگردهای باریده بزرگتر از ۱۰ میکرومتر: (الف) نمونه برداشت شده در فصل تابستان؛ (ب) نمونه برداشت شده در فصل زمستان (Q: کوارتز، C: کلسیت، I: ایلیت، H: هماتیت، G: گنویت)



شکل ۳- تصویر تهیه شده از ریزگردهای باریده، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)؛ مقادیر نمایش داده شده در تصویر برحسب میکرومتر است

۳-۳- نتایج تحلیل غلظت فلزات سنگین با شاخص Geo-accumulation

نتایج حاصل از آمار توصیفی شامل مقادیر کمترین، بیشترین، میانگین و انحراف از معیار غلظت فلزات سنگین (شامل Fe, Mn, Cu و As) و نیز مقادیر پایه مهم‌ترین پارامترهای هواشناختی در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصله، تغییرات غلظت فلزات سنگین در مورد آهن برابر ۴۳۲۴/۹۴۳ تا ۳۱۹۰۵/۱۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، برای منگنز برابر ۱۰۶۲/۲۲۳ تا ۲۰۷/۰۸۷، برای مس برابر با ۱۴۸/۹۷۹ تا ۲۰/۹۳۱، و برای آرسنیک برابر ۴۵/۹۰۴ تا ۱/۱۲۱ بود. همچنین میزان تغییرات مهم‌ترین پارامترهای هواشناختی نیز برابر ۳۳/۵ تا ۵- درجه سانتی‌گراد برای دمای هوا، ۸۲/۵ تا ۱۴/۵ درصد برای مقادیر رطوبت نسبی، و ۱۱/۳۳ تا ۰/۸۳ کیلومتر بر ساعت برای سرعت باد است. مطالعه منابع انتشار ذرات معلق، و نیز نبود فعالیت‌های صنعتی در این مناطق نشان می‌دهد که وجود فلزات سنگین در ذرات معلق عمدتاً ناشی از الگوهای فرسایشی خاک است [۳]. تحقیقات نشان می‌دهد که بخش غیر آلی و کلئیدی خاک به‌عنوان مهم‌ترین منبع فلزات سنگین و دیگر ذرات معدنی ریزگردهای خاک‌زاد به حساب می‌آید؛ این بخش از ذرات خاک کانی‌رسی و اکسیدهای مختلف فلزی را شامل می‌شود. کانی‌رسی نیز به‌نوبه خود، مواد معدنی و سیلیکات‌های آهن و منگنز

۳-۲- تحلیل پراش اشعه ایکس (XRD)

در شکل ۴ طیف‌های حاصل از پراش اشعه ایکس نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل طیف‌های به دست آمده با مقادیر استاندارد [۲۱] نشان می‌دهد که کانی‌های کوارتز، کلسیت و ایلیت به‌ترتیب فراوان‌ترین کانی‌های موجود در ریزگردهای باریده طی دوره نمونه‌برداری بودند. در بین اکسیدهای آزاد آهن نیز، هماتیت و گنویت بیشترین فراوانی را داشتند [۲]. مطالعات نشان می‌دهد که فرسایش خاک همواره یکی از مهم‌ترین منابع انتقال و انتشار مواد به حساب می‌آید. ذرات معلق توسط عوامل فرساینده‌ای همچون باد، از ساختارهای خاک جدا می‌شوند و به‌دلیل داشتن مشخصات فیزیکی خاص - از جمله اندازه، شکل و وزن مخصوص - خود مسافت‌های طولانی را طی می‌کنند. همزمان با این جابه‌جایی، ذرات رس توسط جریان هوا به یکدیگر می‌چسبند و در حضور رطوبت کافی هوا ته‌نشین می‌شوند. لازم به ذکر است که فراوانی کانی کلسیت و ایلیت در ذرات معلق مطالعه شده (شکل ۴) مؤید منشاء آهکی خاک‌های مولد ذرات معلق مذکور است. به‌علاوه، وجود مقادیر بسیار زیادی از کانی کوارتز نیز تأییدکننده منابع انتشار عمدتاً زمین‌شناختی برای این ذرات است.

رطوبت نسبی نیز ارتباطی منفی و معنادار با مقادیر $(r = -0.680)$ Cu، $(r = -0.629)$ Mn، $(r = -0.736)$ Fe و $(r = -0.539)$ As مشاهده شد. وجود ارتباط مثبت و معنادار میان غلظت فلزات سنگین در ریزگردها با مقادیر دمای هوا، و همچنین ارتباط منفی و معنادار بین غلظت آن‌ها با مقادیر رطوبت نسبی نشان می‌دهد که افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی در اثر تغییرات آب و هوایی باعث تضعیف پیوندهای واندروالسی بین کانی‌های رسی [26 و 25] و افزایش فرسایش‌پذیری آن‌ها، و در نتیجه افزایش غلظت این فلزات در ذرات معلق می‌شود. وجود ارتباط معنادار میان غلظت فلزات مورد مطالعه در این تحقیق مؤید وجود منابع انتشار عمدتاً مشابه و خاکزاد برای این عناصر است [26].

نتایج حاصل از تحلیل شاخص Geo-accumulation به تفکیک ماه‌های نمونه‌برداری در جدول 4 ارائه شده است. چنان که مشاهده می‌شود میزان تغییرات شاخص Geo-accumulation برای هر یک از فلزات مورد مطالعه در این تحقیق برابر 1/751- تا 3/110- برای آهن، 0/630- تا 1/925- برای منگنز، 0/848 تا 1/125- برای مس، و 1/249 تا 2/002- برای آرسنیک است.

را شامل می‌شوند [26]. نوع ترکیب شیمیایی این سیلیکات‌ها طوری است که برخی از آن‌ها دارای پیوندهای ضعیف واندروالسی هستند و بر اثر هوازدگی می‌توانند با فلزات سنگین و دیگر عوامل معدنی پیوند برقرار کنند [26 و 25]. همچنین کانی‌های رسی در خاک‌ها دارای بار منفی هستند که در جذب عناصر فلزی در خاک‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند. اکسیدهای آزاد آهن و منگنز، که تقریباً در تمامی خاک‌ها به وفور یافت می‌شوند، دارای بار الکتریکی وابسته به pH هستند؛ این ویژگی از عوامل بسیار مؤثر در جذب فلزات سنگین موجود در خاک است [26].

در جدول 3 نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق با پارامترهای هواشناسی نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود مقادیر Fe دارای ارتباط مثبت و معنادار با مقادیر $(r = 0.790)$ Mn، $(r = 0.839)$ Cu و $(r = 0.531)$ As است. ضمناً غلظت Mn نیز ارتباطی مثبت و معنادار با مقادیر $(r = 0.924)$ Cu دارد. در بین مهم‌ترین پارامترهای هواشناختی نیز دمای هوا ارتباطی مثبت و معنادار با مقادیر $(r = -0.707)$ Fe، $(r = -0.594)$ Mn، $(r = -0.631)$ Cu و $(r = -0.607)$ As دارد و برای مقادیر

جدول 2- آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین آهن، منگنز، مس و آرسنیک در ریزگردهای باریده و نیز پارامترهای هواشناسی

تعداد= 34	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	As (mg/Kg)	سرعت باد (Km/h)	رطوبت نسبی (%)	میانگین دمای هوا (°C)
کم‌ترین	4324/943	207/087	20/931	1/121	0/833	14/500	-5
بیشترین	31905/127	1062/223	148/979	45/904	11/330	82/500	33/500
میانگین	14003/570	497/731	61/307	18/287	5/469	44/009	14/700
انحراف از معیار	915/300	29/817	5/414	1/955	0/526	3/421	1/832
غلظت پایه عنصر	47200	850	43	13			

جدول 3- آزمون همبستگی بین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه و پارامترهای هواشناختی

تعداد= 36	Fe	Mn	Cu	As	دمای هوا	رطوبت نسبی	سرعت باد
Fe	1	-	-	-	-	-	-
Mn	**0/790	1	-	-	-	-	-
Cu	**0/839	**0/924	1	-	-	-	-
As	**0/531	0/294	*0/379	1	-	-	-
دمای هوا	**0/707	**0/594	**0/631	**0/607	1	-	-
رطوبت نسبی	**0/736	**0/629	**0/680	**0/539	**0/936	1	-
سرعت باد	0/207	*0/396	0/294	0/296	*0/461	*0/415	1

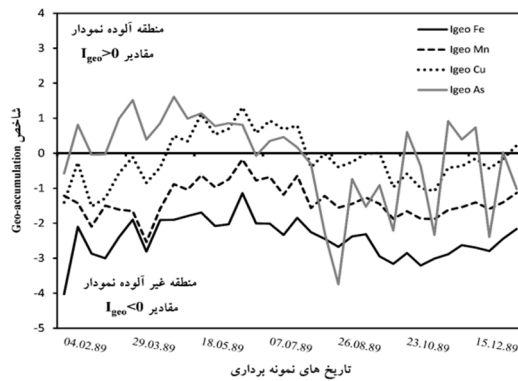
*: معنا داری در سطح $\alpha = 0.05$

** : معناداری در سطح $\alpha = 0.01$

جدول ۴- شاخص Geo-accumulation برای فلزات سنگین مورد مطالعه طی یک سال نمونه‌برداری (فروردین تا اسفند ۱۳۸۹) و طبقه‌بندی سطوح آلودگی آن‌ها

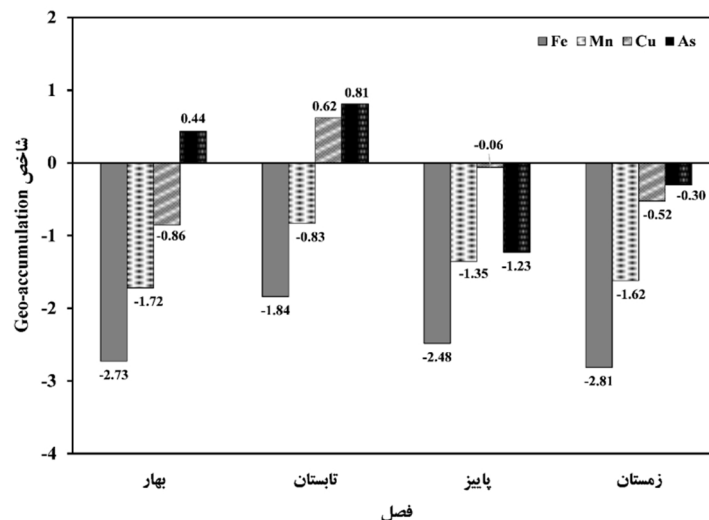
ماه	شاخص Geo-accumulation			
	As	Cu	Mn	Fe
فروردین	^b ۰/۱۱۷	^a ۰/۸۳۴-	^a ۱/۳۲۰-	^a ۳/۰۶۴-
اردیبهشت	^b ۰/۳۰۵	^a ۱/۱۲۵-	^a ۱/۷۳۵-	^a ۲/۷۵۵-
خرداد	^b ۰/۹۲۱	^a ۰/۴۵۴-	^a ۱/۹۲۵-	^a ۲/۲۰۵-
تیر	^c ۱/۲۴۹	^b ۰/۶۵۱	^a ۰/۸۵۲-	^a ۱/۷۹۷-
مرداد	^b ۰/۸۱۶	^b ۰/۸۴۸	^a ۰/۶۳۰-	^a ۱/۷۵۱-
شهریور	^b ۰/۲۴۷	^b ۰/۷۳۰	^a ۰/۸۸۰-	^a ۲/۱۱۸-
مهر	^a ۰/۸۰۷-	^b ۰/۱۲۷	^a ۱/۱۴۳-	^a ۲/۱۸۳-
آبان	^a ۲/۰۰۲-	^a ۰/۲۱۸-	^a ۱/۴۲۱-	^a ۲/۴۵۵-
آذر	^a ۱/۸۴۱-	^a ۰/۵۱۵-	^a ۱/۶۵۸-	^a ۲/۹۸۶-
دی	^a ۱/۳۵۱-	^a ۱/۰۳۸-	^a ۱/۸۷۵-	^a ۳/۱۱۰-
بهمن	^b ۰/۶۸۲	^a ۰/۳۱۰-	^a ۱/۵۲۳-	^a ۲/۷۳۶-
اسفند	^a ۱/۱۲۸-	^a ۰/۱۲۶-	^a ۱/۳۷۶-	^a ۲/۴۶۷-
کم‌ترین	۲/۰۰۲-	۱/۱۲۵-	۱/۹۲۵-	۳/۱۱۰-
بیشترین	۱/۲۴۹	۰/۸۴۸	۰/۶۳۰-	۱/۷۵۱-
میانگین	۰/۱۴۹-	۰/۱۸۹-	۱/۳۶۱-	۲/۴۶۹-
انحراف از معیار	۰/۰۳۰۰	۰/۰۱۹۳	۰/۱۲۰	۰/۱۳۶

a: غیر آلوده، b: غیر آلوده تا آلودگی متوسط، c: آلودگی متوسط



شکل ۵- نمودار روند تغییرات شاخص Geo-accumulation برای فلزات مورد مطالعه طی دوره نمونه‌برداری و تغییرات سطوح آن

در شکل ۵ نیز روند تغییرات شاخص Geo-accumulation برای فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق طی دوره نمونه‌برداری آورده شده است. چنان که مشاهده می‌شود مقادیر I_{geo} محاسبه شده برای فلزات



شکل ۶- نمودار تغییرات شاخص Geo-accumulation برای فلزات مورد مطالعه در این تحقیق به تفکیک هر فصل نمونه‌برداری

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Deposit gauge method
² Passive sampling method
³ Whatman filter paper (No 41)
⁴ X-ray diffraction (XRD): Ital structure (APD 2000) 40 KW, 30 mA
⁵ Background level (BL)
⁶ World Average Shale

منابع

- [1] Cuesta J, Morsham J H, Parker D J, Flament C. Dynamical mechanisms controlling the vertical redistribution of the dust and the thermodynamic structure of the west Saharan atmospheric boundary layer during summer. *Atmospheric Science Letters*; **2009**; **10**: 34-42.
- [2] Xunming W, Huang N, Zhibao, D, Caixia Z. Mineral and trace element analysis in dustfall collected in Hexi corridor and its significance as indicator of environmental change. *Environ. Earth Sci.*; **2010**; **60**: 1-10.
- [3] Gerivani H, Lashkaaripour G R, Ghafoori M, Jalali N. The sources of dust storms in Iran: a case study based on geological information and rainfall data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*; **2011**; **16**: 297-308.
- [4] Moreno S, Cascales Pujalte J A, Martinez Garcia M J, Angosto J M, Moreno S, Bayo J, Garcia-Sanchez, A, Moreno Clavel, J. Relationships between levels of lead, cadmium, zinc, and copper in soil and settle able particulate matters in Cartagena (Spain). *Water, Air, and Soil Pollution*; **2002**; **137**: 365-386.
- [5] Tindle N W, Pease P P. Aerosols over the Arabian Sea: Atmospheric transport pathways and concentrations of dust and sea salt. *Deep-Sea Research II*; **1999**; **46**: 1577-1595.
- [6] Escudero M, Querol X, Pey J, Alastuey A, Perez N, Ferreira F, Alonso S, Rodriguez S, Cuevas E. A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*; **2007**; **41**: 5516-5524.
- [7] DUSTSCAN, Nuisance dust monitoring. Guidance note 1, Dust Monitoring and Dust Consultancy Services, Griffin House, Market Street, Charlbury, Oxford, OX7 3PJ, Dust Scan Ltd., UK, retrieved from <http://www.dustscan.co.uk/>, (assessed: 2011).
- [8] Loska K, Wiechula D, Korus I. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ Int*; **2004**; **30**: 159-165.
- [9] Loska K, Wiechula D. Application of principal

با توجه به نتایج حاصل از داده‌های نمایش داده شده در شکل‌های ۵ و ۶، شاخص Geo-accumulation در روزهای تابستان که میانگین دمای هوا بسیار بیشتر است به بیشترین حد خود رسیده است. همچنین نتایج مشابهی در جدول ۴ ارائه شده، و بیشترین مقدار شاخص Geo-accumulation برای تمامی فلزات سنگین در ماه‌های تیر و مرداد به ثبت رسیده است. به‌عکس، کم‌ترین میزان شاخص مذکور در ماه‌های دی و بهمن — که میزان میانگین دمای هوا کم‌تر و رطوبت نسبی نیز بیشتر است — به ثبت رسید [۲۵ و ۲۶]. لذا با توجه به نتایج به دست آمده از این شاخص می‌توان گفت که سطح خطر آلودگی برای مقادیر آهن و منگنز در محدوده‌ی غیر آلوده شاخص ($I_{geo} < 0$) ارزیابی می‌شود (تغییرات شاخص برای Fe از ۱/۷۵۱- تا ۳/۱۱۰- و برای Mn از ۰/۶۳۰- تا ۱/۹۲۵- است). این در حالی است که سطح آلودگی برای مقادیر Cu و As در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط شاخص ($I_{geo} > 0$) است (تغییرات شاخص برای مقادیر Cu ۰/۸۴۸ تا ۱/۱۲۵- و برای As ۱/۲۴۹ تا ۲/۰۰۲- است). همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، وجود ارتباط معنادار میان غلظت فلزات مورد مطالعه در این تحقیق تأییدی است بر وجود منابع انتشار عمدتاً مشابه و خاک‌زاد برای این عناصر [۲۶]. در نتیجه، به‌طور کلی می‌توان گفت که تغییرات پارامترهای هواشناسی (افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی) در مناطق منشاء انتشار این ریزگردها باعث افزایش فرسایش‌پذیری خاک و در نتیجه افزایش مقادیر غلظت فلزات سنگین در ریزگردهای باریده می‌شود [۲۵]. به‌طور کلی علاوه بر فرایندهای بیوژئوشیمیایی، عوامل و تغییرات اقلیمی نیز نقش بسیار مهمی بر غلظت فلزات سنگین در ریزگردهای باریده دارند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از زحمات خانم‌ها مهندس لیلا بابایی‌فر، مهندس سارا ماجدی و آقای مهندس هوشیار گویلیان به دلیل مساعدت‌های بی‌دریغ‌شان در اجرای مراحل آزمایشگاهی این تحقیق در گروه محیط زیست دانشگاه کردستان تقدیر و تشکر می‌کنند.

- [21] Grazulis S, Chateigner D, Downs R, Yokochi Y, Quiros M, Lutterotti L, Manakova E, Butkus J, Moeck P, Le Bail A. Crystallography Open Database (COD) an open access collection of crystal structures. *Applied Crystallography*; **2009**; **42**: 726-729.
- [22] I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Meteorological Yearbook, retrieved from <http://www.irimo.ir/english/publication/index.asp>, (assessed: 2007).
- [23] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geological Journal*; **1969**; **2**: 109-118.
- [24] Turekian K K, Wedepohl K H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*; **1961**; **72**: 175-192.
- [25] Gonzalez E B, Gadra J M, Valasco E S, Mahia P L. Metals in air born particulate matter in la courna. *Sci. Total Environ*, **1997**; **196**: 131-139.
- [26] Dube A, Zbitniewski R, Kowalkowski T, Cukrowska E, Buszewski B. Adsorption and migration of heavy metals in soil.¹ *Polish Journal of Environmental Studies*; **2001**; **10**: 1-10.
- component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere*; **2003**; **51**: 723-733. doi:10. 1016/ S0045-6535 (03)00187-5.
- [10] Ghrefat H, Abu-Rukah Y, Rosen MA. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan. *Environ Monitoring and Assessment*; **2010**; **178**: 95-109.
- [11] Wei B, Linsheng Y. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*; **2009**; **94**: 99-107.
- [12] Rodríguez-Barroso M R, Benhamou Y, El Hatimi I, El Moumni B, García-Morales J L. Evaluation of metal contamination in sediments from north of Morocco: Geochemical and statistical approaches. *Environmental Monitoring and Assessment*; **2009**; doi:10.1007/s10661-008-0620-z.
- [13] Naddafi K, Nabizadeh R, Soltanianzadeh Z, Ehrampoosh M H. Evaluation of dustfall in the air of yazd. *Iranian Journal of Environmental Health Science*; **2006**; **3**: 161-168.
- [14] Vallack H W, Shillito D E. Suggested guidelines for deposited ambient dust. *Atmospheric Environment*; **1998**; **32**: 2737-2744.
- [15] World Health Organization (WHO), Outdoor Air Pollutions in Cities, retrieved from http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/index.html, (assessed: **2011**).
- [16] ASTM D1739, Standard Test Method for collection and measurement of dust fall, retrieved from <http://www.astm.org/Standards/D1739.html>, (assessed: **2010**).
- [17] BSI 1747, British Standard Institution for Dust fall Measurement Methods, retrieved from <http://www.bsigroup.com>, (assessed: **1972**).
- [18] Jaradat Q M, Momani K, Jbarah A Q, Massadeh A. Inorganic analysis of dustfall and office dust in an industrial area in Jordan. *Environmental research*; **2004**; **96**: 139-141.
- [19] Momani K A, Jiries A G, Jaradat Q M. Atmospheric Deposition of Pb, Zn, Cu and Cd in Aman JORDAN. *TURK.J.Chem*; **2000**; **24**: 231-237.
- [20] Kampf N, Schwertmann U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays and clay minerals*; **1982**; **30**: 401-408.



