نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

تعیین غلظت و میزان آلودگی فلزات سنگین در ریزگردهای بخشی از استان بوشهر

زینب نادری‌زاده[۱]، *حسین خادمی[۲] و شمس‌اله ایوبی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

[۲]استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: افزایش صنعتی‌شدن و فعالیت‌های انسانی، انتشار آلودگی‌های مختلف در محیط را تشدید می‌کند. آلودگی هوا به‌علت اثر روی اکوسیستم و سلامت انسان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی است. فلزات سنگین که از منابع مختلف مانند فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی وارد محیط می‌شوند خطرات زیست‌محیطی جدی ایجاد می‌نمایند. برای کاهش تأثیر این فلزات، شناسایی مناطق آلوده حیاتی است. هدف این مطالعه بررسی برخی ویژگی‌های شیمیایی و غلظت عناصر سنگین آهن، روی، سرب، مس و نیکل در ریزگرد شهرهای بوشهر و عسلویه به‌عنوان مناطق شهری و صنعتی و همچنین ترانسکت (به طول ۳۰۰ کیلومتر) بین این دو شهر به‌عنوان مناطق غیرشهری است.

مواد و روش‌ها: تعداد ۵۰ نمونه ریزگرد به‌صورت خشک از روی برگ‌های درختان نخل جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری در آگوست ۲۰۱۲ در ۵۰ نقطه شامل ۱۵ نمونه از منطقه شهری (شهر بوشهر)، ۱۲ نمونه از منطقه صنعتی (شهر عسلویه) و ۲۳ نمونه از ترانسکت بین دو شهر انجام شد. همچنین ۵۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) از مجاور همان درختان گرفته شد. سپس غلظت کل آهن، روی، سرب، مس و نیکل نمونه‌های ریزگرد و خاک بعد از هضم به‌وسیله اسید نیتریک شش نرمال (۱۱، ۲۴، ۲۷) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. ارتباط بین فلزات سنگین در ریزگرد و منشأ آن‌ها با استفاده از ضرایب همبستگی، روش تجزیه مؤلفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای تعیین شد.

یافته‌ها: در هر سه منطقه مطالعاتی، میانگین غلظت تمام فلزات سنگین ریزگرد به‌جز سرب در بوشهر، نسبت به خاک بیش‌تر بود. غلظت عناصر روی، سرب و مس در مناطق شهری (بوشهر) و صنعتی (عسلویه) نسبت به منطقه غیرشهری (ترانسکت) افزایش معنی‌دار آماری نشان داد. بیش‌ترین غلظت عناصر سنگین مس و سرب در ریزگرد در شهر بوشهر مشاهده شد، اما غلظت عنصر روی در ریزگرد عسلویه بیش‌تر از مناطق دیگر بود. براساس تجزیه مؤلفه اصلی، تجزیه خوشه‌ای و ضرایب همبستگی، دو منبع مهم برای غلظت فلزات سنگین در ریزگرد فرونشسته روی برگ‌های نخل تشخیص داده شد. به‌نظر می‌رسد روی، مس و سرب منشأ انسانی دارند، در حالی‌که احتمالاً آهن و نیکل از منابع غیرانسانی ناشی می‌شوند. مقدار فاکتور آلودگی نشان می‌دهد که ریزگرد منطقه صنعتی عسلویه و شهر بوشهر از لحاظ عناصر روی و مس در کلاس آلودگی قابل‌توجه قرار دارند.

* مسئول مکاتبه: hkhademi@cc.iut.ac.ir

نتیجه‌گیری: رشد فرآیند صنعتی‌شدن و فعالیت‌های انسانی ورود عناصر سنگین را به اتمسفر استان بوشهر افزایش داده است. بنابراین، رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در منطقه ویژه پارس جنوبی و گسترش حمل‌ونقل عمومی در شهر بوشهر جهت کاهش ورود آلاینده‌ها به اتمسفر ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تجزیه چندمتغیره، کلاس آلودگی، منابع انسانی، مناطق شهری و صنعتی

مقدمه

طوفان ریزگرد به‌عنوان منبع اصلی ذرات معدنی اتمسفری، به‌طور مکرر در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان اتفاق می‌افتد و به‌عنوان یک خطر زیست‌محیطی جدی در نظر گرفته می‌شود (۲۳). وقوع این پدیده در مناطق جنوب‌غرب ایران طی سال‌های اخیر خسارات جبران‌ناپذیری را در بخش‌های مختلف محیط زیست، بهداشت، سلامت و در نهایت اکوسیستم منطقه به همراه داشته است (۱۲).

امروزه افزایش انتشار منابع انسانی فلزات سنگین در ریزگرد، تهدیدی جدی برای سلامتی انسان به‌حساب می‌آید. فلزات سنگین با اتصال به ذرات ریزگرد قادرند در مقیاس وسیعی منتشر شوند (۱۰). ترافیک، صنعت و مواد هوادیده به‌عنوان عوامل مؤثر بر مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های ریزگرد گزارش شده‌اند. افزایش مقدار این فلزات در محیط تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی، عمدتاً به گسترش شهرنشینی و صنعتی‌شدن نسبت داده می‌شود (۲). با توجه به آسیب‌های زیان‌بار این فلزات بر روی موجودات زنده و محیط زیست، بنابراین اثرات آن‌ها به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (۲۱، ۲۵). فلزاتی مانند سرب، کبالت، کادمیم، مس و کروم آلوده‌کننده‌های خطرناک در نظر گرفته می‌شوند که می‌توانند با نیمه‌عمر نسبتاً طولانی در بدن انسان تجمع یابند (۲۵). علاوه بر این، برخی گونه‌های کادمیم، کروم و مس منجر به بیماری‌های پوستی و انواع سرطان می‌شوند (۲۱).

فرونشست خشک فلزات سنگین و ترکیبات اسیدی روی گیاهان در دوره خشک‌سال افزایش می‌یابد. مواد فرونشسته بر برگ‌ها که به‌عنوان بخش مهمی از درختان جهت انجام فتوسنتز هستند، اثراتی بر کلروفیل، غشای سلولی و روزنه‌ها دارد و رشد گیاه را کاهش می‌دهد. به‌علت فرونشست خشک و مرطوب، رشد جوانه‌های جانبی و اصلی متوقف، رنگ برگ‌ها محو و بخش‌هایی از درختان خشک می‌شود. این تغییرات مقاومت درخت را به سرما، خشکی، حشرات و قارچ‌ها کاهش می‌دهد (۲۱).

سال‌ها است که از شاخص‌های بیولوژیکی برای تخمین آلودگی هوا و تغییرات آن طی دوره‌های طولانی استفاده می‌شود (۴، ۵، ۸، ۱۳). به این منظور از انواع مختلف مواد گیاهی چندساله مانند خزه‌ها، گلسنگ‌ها، پوست درختان و برگ آن‌ها استفاده شده است (۴، ۸). در مطالعه‌ای در شهر ریاض غلظت سرب و کادمیم در ریزگرد روی میوه‌های نخل و همچنین بافت میوه‌ها بررسی گردید. نتایج، حضور مقادیر معنی‌دار سرب و کادمیم را در این دو بخش نشان داد. غلظت سرب در ریزگرد و بافت میوه‌ها با افزایش منابع انسانی افزایش یافت. بنابراین از میوه‌های خرما هم می‌توان به‌عنوان یک شاخص آلودگی استفاده کرد. مقادیر بالاتر از حد مجاز آلوده‌کننده‌هایی مانند سرب و کادمیم در میوه‌های خرما، ممکن است خطرات جدی برای مصرف‌کنندگان داشته باشد. بنابراین، تخمین مقدار

آن‌ها در غذای آلوده برای سلامتی انسان خیلی مهم است (۱۳). در ایران نیز مطالعاتی در زمینه مقدار و سطح آلودگی فلزات سنگین در ریزگرد صورت گرفته است. محمودی (۲۰۱۱)، در مطالعه ویژگی‌های ریزگرد در مناطقی از غرب استان اصفهان گزارش کرد که افزایش میزان فلزات سنگین در ماه‌های آبان و آذر نسبت به ماه‌های گرم ناشی از وسایل گرمایشی و همچنین رخداد وارونگی دمایی و به دنبال آن افزایش غلظت ذرات معلق و آلاینده در اتمسفر است (۱۶). همچنین در مطالعه دیگری نقشه درجه آلودگی فلزات آهن، روی، سرب، کبالت، کروم، مس، منگنز و نیکل مربوط به ریزگرد شهر اصفهان تهیه شد. نتایج نشان داد که درجه آلودگی اصفهان قابل‌توجه و بسیار زیاد است و عناصر روی، سرب، کبالت و مس بیش‌ترین نقش را در آلایندگی هوای اصفهان دارند. مناطق مرکزی و جنوبی شهر اصفهان درجه آلودگی بالاتری نسبت به سایر مناطق داشتند (۲۰).

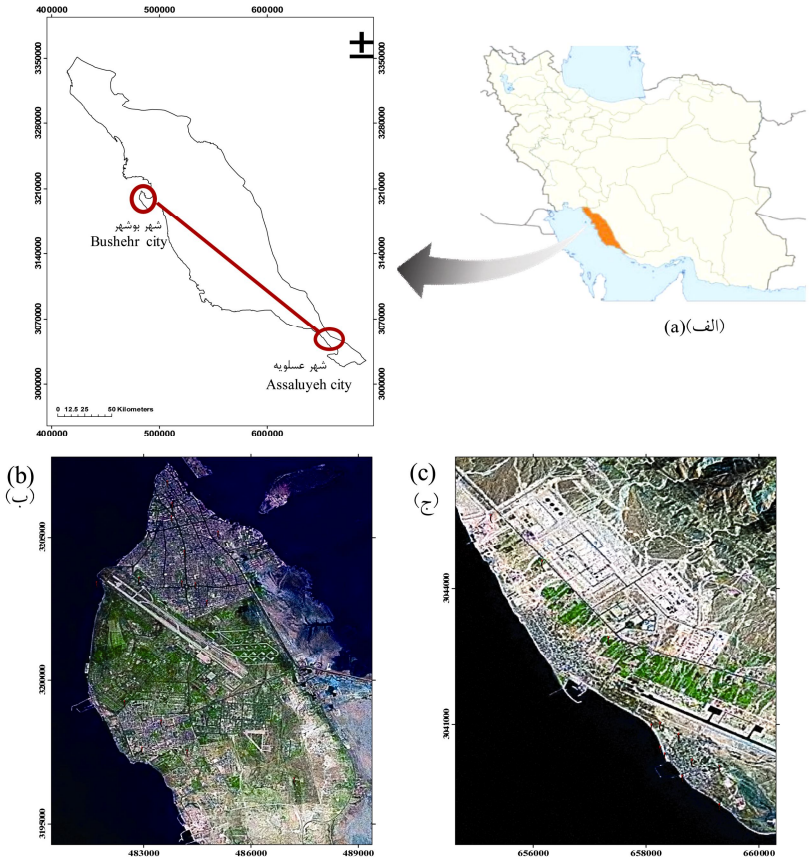
کشور ایران در غرب آسیا به‌دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، مکرراً در معرض طوفان‌های ریزگرد قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر استان بوشهر نیز مانند بسیاری از استان‌های غربی و جنوبی کشور درگیر پدیده ریزگرد بوده و این معضل به یک نگرانی زیست‌محیطی مهم در استان بوشهر، در جنوب‌غربی ایران تبدیل شده است. وقوع این پدیده خسارات زیادی نیز به بخش‌های مختلف وارد کرده است. به‌طوری‌که تجمع ریزگرد بر روی درختان خرما باعث کاهش کیفیت و بازارپسندی خرما شده و خسارات زیادی را به نخل‌داران وارد کرده است. با توجه به اثرات زیان‌بار این پدیده و عدم وجود مطالعات دقیق روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ذرات معلق در اتمسفر ناشی از ریزگرد، انجام چنین مطالعه‌ای در استان بوشهر ضروری است. از طرفی با توجه به توسعه روزافزون صنعت در استان بوشهر به‌ویژه در منطقه صنعتی عسلویه که گسترش منطقه ویژه پارس، مجتمع‌های پتروشیمی و پالایشگاه‌ها باعث افزایش آلودگی‌های خاک، آب و هوا در این مناطق شده است و می‌تواند تهدید جدی برای سلامتی ساکنان و کارکنان شاغل در آن منطقه باشد. همچنین میزان آلایندگی فلزات سنگین در این منطقه نیز با توجه به افزایش منابع ایجاد آن احتمالاً زیاد است. تاکنون گزارشی در زمینه استفاده از ریزگرد فرونشسته روی برگ نخل به‌صورت خشک به‌عنوان یک شاخص بیولوژیکی جهت بررسی سطح فلزات سنگین و آلودگی ریزگرد منتشر نشده است. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی ویژگی‌هایی مانند غلظت برخی عناصر سنگین در ریزگردهای فرونشسته بر روی برگ‌های نخل و مقایسه آن با خاک‌های سطحی منطقه و تعیین میزان آلودگی ریزگرد به فلزات سنگین است.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی برخی ویژگی‌ها و ارزیابی سطح عناصر سنگین در ریزگردها و خاک‌های سطحی استان بوشهر و بررسی منشأ احتمالی این پدیده، یک ترانسکت از شهر بوشهر با میانگین بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا تا منطقه عسلویه با میانگین بارندگی ۱۷ میلی‌متر (میانگین سال‌های ۹۱-۸۵) و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا در نظر گرفته شد. شهر بوشهر مرکز استان بوشهر است، که در فاصله ۲۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۸ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار دارد. عسلویه به‌عنوان پایتخت انرژی ایران شرقی‌ترین بخش استان بوشهر است، که در فاصله ۲۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۵۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۱ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۲ درجه

و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع گردیده است. بررسی گلبادهای شهرهای بوشهر و عسلویه نشان داد که در سال نمونه‌برداری (۲۰۱۲) بادهای غالب این دو شهر جهت شمال‌غربی داشته‌اند (۷). نقاط نمونه‌برداری وموقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش نمونه‌برداری: در این مطالعه از درخت نخل به‌عنوان یک شاخص بیولوژیکی و نمونه‌گیر طبیعی ریزگرد استفاده گردید. با توجه به گسترش کشت نخل در استان بوشهر و ارزان‌بودن این روش نمونه‌برداری نسبت به استفاده از تله‌های نمونه‌گیر که در پژوهش‌های گذشته استفاده شده است (۱۴)، در این مطالعه ریزگرد فرونشسته روی برگ‌هایی از درخت که در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری قرار داشتند، با استفاده از قاشقک پلاستیکی، به‌صورت خشک جمع‌آوری گردید. در شهرهای بوشهر (منطقه شهری)، عسلویه (منطقه شهری) و در یک ترانسکت ۳۰۰ کیلومتری بین دو شهر (منطقه غیرشهری) به‌ترتیب ۱۵، ۲۳ و ۱۲ نمونه و در مجموع ۵۰ نمونه ریزگرد (در آخر آگوست ۲۰۱۲) برداشته شد. همچنین نزدیک محل نمونه‌های ریزگرد از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری ۵۰ نمونه خاک برداشت گردید. جهت حذف تأثیر ترافیک جاده بین‌شهری، نمونه‌برداری درترانسکت با فاصله ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر از جاده صورت گرفت.



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان بوشهر، جنوب‌غرب ایران (الف)، شهر بوشهر (ب) و شهر عسلویه (ج).

Figure 1. Location of the study area in Bushehr Province, southwestern Iran (a), Bushehr city (b) and Assaluyeh city (c).

مطالعات آزمایشگاهی: پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ابتدا نمونه‌های خاک هوا خشک‌شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس مقدار ماده آلی خاک و ریزگرد به روش والکلی‌بلک (۱۹۳۴)، قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش آن‌ها در عصاره ۱ به ۵ آب به خاک یا ریزگرد تعیین گردید. غلظت کل عناصر سنگین نمونه‌های خاک و ریزگرد شامل آهن، روی، سرب، مس، و نیکل پس از هضم توسط اسید نیتریک شش نرمال (۱۱، ۲۴) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین‌المر ۳۰۳۰ تعیین شد.

جهت تعیین میزان آلودگی ریزگرد استان بوشهر به عناصر آهن، روی، سرب، مس و نیکل، فاکتور آلودگی (c_f^i) ریزگردها محاسبه گردید. بدین‌منظور غلظت این چهار عنصر در ریزگرد (c_{0-1}^i) و حداقل غلظت آن‌ها (c_n^i) تعیین شد و بر اساس رابطه زیر این شاخص به‌دست آمد (۱۰).

$$c_f^i = \frac{c_{0-1}^i}{c_n^i}$$

تجزیه‌وتحلیل آماری: تمامی تحلیل‌های آماری از جمله همبستگی بین متغیرها و تحلیل‌های چندمتغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. جهت تعیین ارتباط بین فلزات سنگین و منابع احتمالی آن‌ها، از روش‌های تجزیه مؤلفه اصلی[1] و تجزیه خوشه‌ای[2] استفاده شد. تجزیه مؤلفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای روش‌های آماری هستند که در مطالعات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش تجزیه مؤلفه اصلی جهت کاهش داده‌ها و استخراج تعداد کم‌تری فاکتور مستقل (فاکتور اصلی) برای آنالیز ارتباط بین متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد و از طریق ماتریس همبستگی به توصیف پراکندگی متغیرهای اصلی و استخراج مقادیر ویژه و بردارهای ویژه می‌پردازد. این روش به‌طور گسترده در مطالعات زیست‌محیطی مختلف مانند خاک، ریزگرد و آب برای مشخص کردن منابع آلودگی و به‌دست آوردن میزان مشارکت منابع انسانی و طبیعی کاربرد دارد (۱۲، ۱۵، ۲۶، ۲۷، ۳۴).

روش تجزیه خوشه‌ای، مجموعه‌ای از مشاهدات را به دو گروه ناشناخته منحصربه‌فرد یا بیش‌تر بر اساس ترکیبی از متغیرهای داخلی طبقه‌بندی می‌کند (۱۵). تجزیه خوشه‌ای اغلب با روش تجزیه مؤلفه اصلی برای بررسی نتایج و گروه‌بندی پارامترهای فردی و متغیرها ترکیب می‌شود. هدف تجزیه خوشه‌ای به‌دست آوردن یک سیستم سازمان‌یافته از مشاهدات است که در آن گروه‌هایی با ویژگی‌های مشترک مشاهده می‌شود (۱۵). در این مطالعه غلظت فلزات سنگین از طریق روش Z استاندارد شد و فواصل اقلیدسی برای محاسبه شباهت‌ها در متغیرها به‌کار رفت. سپس خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با استفاده از روش Ward بر روی مجموعه داده‌های استانداردشده انجام شد.

نتایج و بحث

وضعیت آماری غلظت فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های ریزگرد و خاک منطقه مطالعاتی: در جدول ۱ وضعیت آماری غلظت فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های ریزگرد و خاک منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تمام پارامترهای مورد اندازه‌گیری به‌جزء واکنش در ریزگرد نسبت به خاک افزایش یافته است. بالاترین میانگین غلظت فلز در ریزگرد و خاک به‌ترتیب مربوط به آهن> روی> نیکل> مس است. میانگین غلظت آهن، روی، سرب، مس و نیکل در ریزگرد به‌ترتیب ۱۱۲۸۰، ۱۷۰، ۶۸، ۵۴ و ۷۹ میلی‌گرم

1- Principle component analysis (PCA)
2- Cluster analysis (CA)

در کیلوگرم است. میانگین غلظت روی، سرب، مس و نیکل در ریزگردهای شهر اصفهان به‌ترتیب ۴۷۰، ۲۲۳، ۷۱ و ۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۶). غلظت روی، مس و نیکل در ریزگردهای شهر ریاض عربستان نیز به‌ترتیب ۱۴۱/۸، ۹۴/۵ و ۴۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بیان کرده‌اند (۱۸). این نتایج نشان می‌دهد که مقدار روی، سرب، مس و نیکل در ریزگردهای شهراصفهان بیش‌تر از استان بوشهر می‌باشد. اما مقدار روی و نیکل در ریزگردهای مربوط به شهر ریاض عربستان کم‌تر از بوشهر است.

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و برخی ویژگی‌های ریزگرد و خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Descriptive statistics of heavy metal concentrations (mg kg^{-1}) and selected properties of dust and soil of the study area.

	متغیر Variable	میانگین Mean	واریانس Variance	انحراف معیار SD	حداکثر Max	حداقل Min	ضریب تغییرات (٪) CV
ریزگرد Dust	روی Zn	170.0	8220.0	90.7	437.5	42.5	53.3
	مس Cu	54.0	1271.0	35.7	196.3	13.8	66.1
	سرب Pb	68.1	208.5	14.4	104.2	38.5	21.2
	نیکل Ni	79.0	160.3	12.7	103.8	47.5	16.0
	آهن Fe	11280.0	7571000.0	2751.6	16700.0	4450.0	24.4
	ماده آلی (٪) OM	3.7	11.1	3.3	23.5	1.2	91.2
	هدایت الکتریکی ($ds\ m^{-1}$) EC	9.7	39.1	6.3	39.9	3.6	64.6
	واکنش pH	7.4	0.2	0.4	8.9	7.0	5.3
خاک Soil	روی Zn	54.8	985.6	31.4	172.5	18.8	57.4
	مس Cu	16.1	33.1	5.8	41.3	10.0	35.8
	سرب Pb	68.3	407.0	20.2	148.4	37.5	29.6
	نیکل Ni	49.7	274.3	16.6	100.0	31.3	33.3
	آهن Fe	5466.5	8463000.0	2909.1	13200.0	550.0	53.2
	ماده آلی (٪) OM	1.3	0.7	0.8	3.6	0.3	64.8
	هدایت الکتریکی ($ds\ m^{-1}$) EC	5.3	30.1	5.5	26.6	0.4	103.2
	واکنش pH	8.0	0.1	0.4	8.9	7.4	4.5

مقدار ماده آلی ریزگرد حدود سه برابر مقدار آن در خاک است. ذرات ریزگرد نسبت به خاک ریزتر هستند و ذرات ریز تمایل بیش‌تری به جذب مواد آلی دارند. علاوه براین بخشی از خروجی‌های صنایع و پتروشیمی‌های منطقه صنعتی عسلویه و ترافیک شهری، ترکیبات آلی است که وارد اتمسفر می‌شوند و ذرات ریزگرد به‌عنوان هسته مرکزی عمل کرده و این مواد را موقع فرونشست، همراه خود منتقل می‌کنند. لو و همکارن (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که ریزگرد اغلب به‌علت تأثیر فعالیت‌های انسانی ناشی از صنعتی‌شدن و گسترش شهرنشینی، دارای مقادیر بالای فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای است (۱۵). به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش واکنش ریزگردهای منطقه نسبت به خاک‌ها نیز حضور مقدار بالای آلاینده‌های آلی در ریزگردها باشد. براساس نتایج جدول ۱ مقدار ضریب تغییرات برخی از متغیرها مانند مس و روی ریزگرد بالاست که این مسأله را می‌توان به تغییرات زیاد مقدار آن‌ها در منطقه نسبت داد.

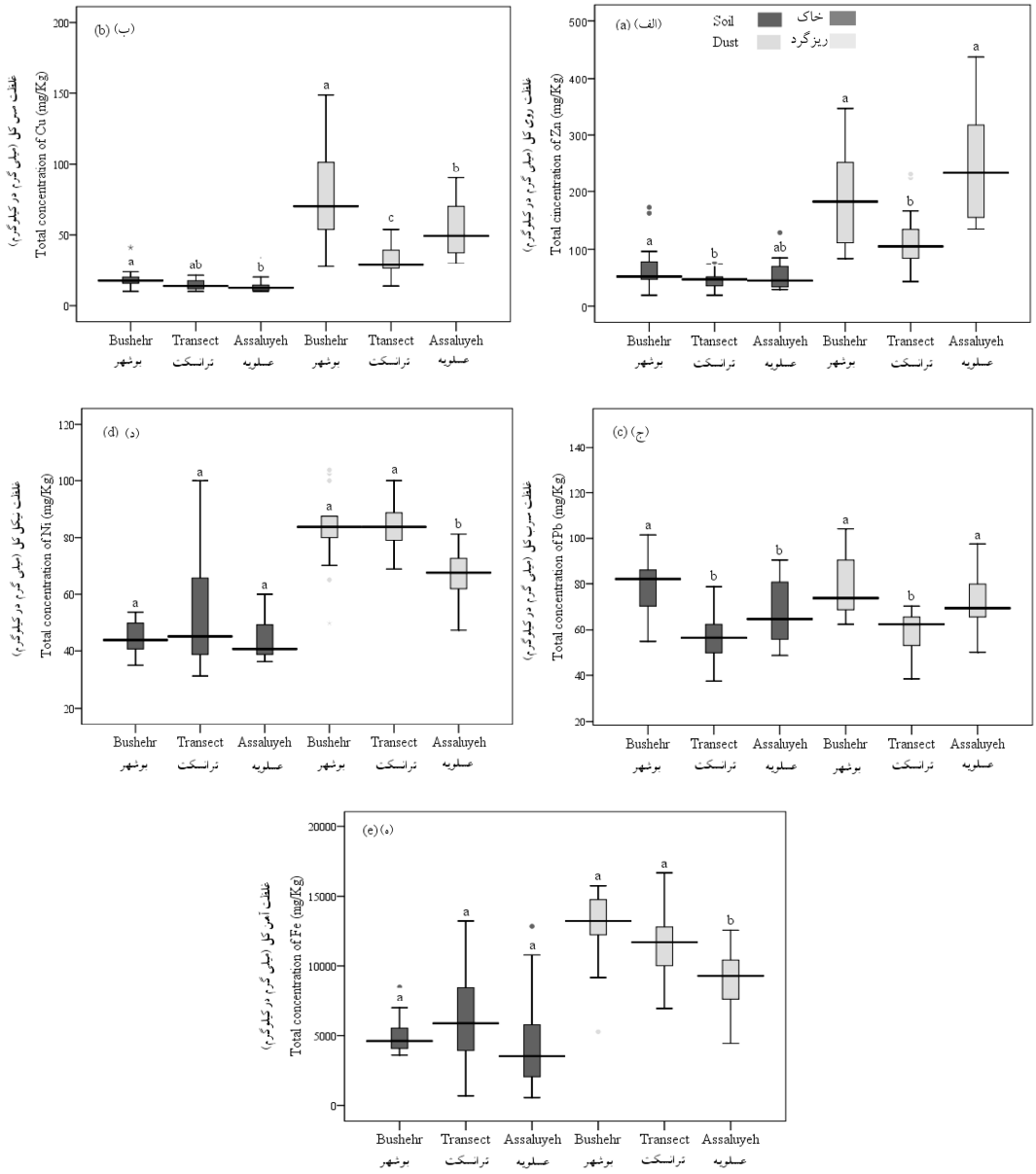
میانگین هدایت الکتریکی ریزگردهای منطقه ۹/۷ دسی‌زیمنس بر متر است و حدود دو برابر خاک است. این نشان می‌دهد احتمالاً ریزگرد از منطقه‌ای با خاک‌های شور منشأ می‌گیرد. در مطالعه‌ای در شهر ریاض عربستان، مقدار بالای هدایت الکتریکی (۴/۸ دسی‌زیمنس بر متر) ریزگردهای این شهر را به خاک‌های منطقه منشأ ریزگردها، نسبت دادند (۱۸).

غلظت کل عناصر سنگین در ریزگرد و خاک‌های منطقه مطالعاتی: نتایج ارائه‌شده در شکل ۲- الف نشان داد که غلظت روی کل در ریزگرد منطقه صنعتی عسلویه از دو منطقه دیگر بیش‌تر است، اما اختلاف معنی‌دار آماری با منطقه شهری بوشهر ندارد. غلظت روی کل در ریزگردهای سه منطقه به مقدار زیادی نسبت به خاک‌های آن مناطق افزایش یافته است. اختلاف معنی‌دار آماری بین خاک‌های منطقه صنعتی عسلویه و منطقه شهری بوشهر از نظر میزان روی کل وجود ندارد.

بیش‌ترین مقدار غلظت کل مس مربوط به ریزگردهای منطقه شهری بوشهر است که به‌طور معنی‌داری نسبت به منطقه صنعتی عسلویه و ترانسکت بین دو منطقه افزایش یافته است ($P<۰/۰۵$). بین ریزگردهای منطقه صنعتی عسلویه و ترانسکت نیز از نظر مقدار کل مس اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵ درصد وجود دارد (شکل ۲- ب). میزان کل مس در خاک‌های منطقه مطالعاتی به مقدار زیادی کم‌تر از مقدار آن در ریزگرد است.

مقدار غلظت سرب کل در ریزگرد منطقه صنعتی عسلویه و شهر بوشهر اختلاف معنی‌دار آماری ($P<۰/۰۵$) با منطقه غیرشهری (ترانسکت) دارد، اما بین ریزگرد مناطق صنعتی و شهری اختلاف معنی‌دار آماری از لحاظ غلظت سرب وجود ندارد. بیش‌ترین غلظت سرب در خاک و ریزگرد مربوط به شهر بوشهر است (شکل ۲- ج). روند کاهش سرب در خاک و ریزگرد سه منطقه به‌صورت شهر بوشهر > منطقه صنعتی عسلویه> منطقه غیرشهری (ترانسکت) است.

با توجه به افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) مقدار روی، سرب و مس کل در ریزگردهای منطقه صنعتی عسلویه و منطقه شهری بوشهر نسبت به ترانسکت، می‌توان نتیجه گرفت که منابع انتشار این عناصر سنگین به محیط، فعالیت‌های انسانی است. ترافیک زیاد ممکن است باعث ایجاد فلزاتی مثل روی، سرب و مس شده و این فلزات به‌طور مستقیم وارد اتمسفر شوند (۲۸). روی در فرآیند ساخت لاستیک خودرو به آن اضافه می‌گردد (۹). بنابراین روی در ریزگرد می‌تواند از ساییدگی و پارگی لاستیک و خوردگی بخش‌هایی از خودرو ایجاد شود (۳).



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای روی (الف)، مس (ب)، سرب (ج)، نیکل (د) و آهن (ه) کل ریزگرد و خاک در سه منطقه مورد مطالعه (اختلاف آماری بین نمونه‌های خاک و ریزگرد جداگانه بررسی شده است و میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند).

Figure 2. Boxplots of dust and soil Zn (a), Cu (b), Pb (c), Ni (d) and Fe (e) concentrations in the three study areas. (The same letters in soil or dust indicates that the means were not statistically significant at 0.05%).

غلظت روی کل در ریزگرد دو منطقه شهری و صنعتی بالاست و اختلاف معنی‌دار آماری بین دو منطقه نیست. احتمالاً ترافیک و صنعت در افزایش ورود روی به ریزگردهای منطقه نقش زیادی دارند. غلظت مس کل در منطقه شهری بوشهر اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) با منطقه صنعتی نشان می‌دهد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد ترافیک شهری نسبت به صنعت تأثیر بیش‌تری در ورود مس به ریزگرد دارد.

مس از استهلاک عایق ترمز اتومبیل و احتراق مواد نفتی ایجاد می‌شود (۲۲، ۳۰). علت بالا بودن مقدار سرب در ریزگردهای شهر بوشهر و منطقه صنعتی عسلویه را به‌ترتیب می‌توان به ترافیک شهری و فعالیت‌های صنعتی نسبت داد. غلظت غیرعادی فلزاتی مانند روی، سرب و مس در ریزگرد را می‌توان به آلودگی انسانی مانند عملیات کشاورزی، ساخت‌وساز، فعالیت‌های تخریب محیط زیست و یا وسایل حمل‌ونقل و ترافیک نسبت داد (۶). به‌نظر می‌رسد نقش فعالیت‌های صنعتی در منطقه ویژه پارس‌جنوبی، وسایل حمل‌ونقل و ترافیک شهری در افزایش ورود فلزاتی مانند روی، سرب و مسبه اتمسفر منطقه مطالعاتی، بیش‌تر از عوامل دیگر است.

غلظت نیکل کل ریزگرد در ترانسکت و منطقه شهری بوشهر با منطقه صنعتی عسلویه تفاوت معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) نشان می‌دهد. اما بین خاک‌های سه منطقه از این لحاظ اختلاف آماری معنی‌دار وجود ندارد (شکل ۲- د). نتایج مربوط به غلظت آهن کل نیز مشابه نیکل کل است (شکل۲- ه). تفاوت معنی‌دار آماری بین خاک‌های سه منطقه از لحاظ غلظت این عنصر وجود ندارد. اما در بخش ریزگرد مقدار آهن کل در منطقه شهری بوشهر و ترانسکت به‌صورت معنی‌داری نسبت به منطقه صنعتی عسلویه افزایش یافته است. می‌توان نتیجه گرفت که این دو عنصر تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی (صنعت و ترافیک) نیستند و احتمالاً منشأ ورود آن‌ها به ریزگردهای اتمسفری منطقه، منابع طبیعی است. مطالعه زانگ و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که عناصر آلومینیم، آهن، منگنز، سیلیسیم، سدیم، وانادیم، نیکل و کروم در ریزگرد جمع‌آوری‌شده از شهرهای چین منشأ طبیعی (پوسته زمین) دارند، در حالی‌که سرب، روی، کادمیم، مس، آرسنیک، سلنیم و آنتیموان دارای منشأ انسانی هستند (۳۳).

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که به‌جزء سرب که مقدار آن در ریزگرد با خاک تفاوتی ندارد و علت آن را می‌توان بالابودن مقدار سرب خاک‌های منطقه دانست، غلظت بقیه فلزات سنگین در ریزگرد بیش‌تر از خاک است و بیش‌ترین افزایش غلظت عنصر در ریزگرد نسبت به خاک‌های منطقه، مربوط به عنصر مس است که مقدار آن در ریزگرد ۳/۴ برابر خاک شده است. پس از مس بیش‌ترین افزایش در ریزگرد مربوط به عناصر روی، آهن و نیکل است. این مسأله می‌تواند به این دلیل باشد که اندازه ذرات ریزگرد نسبت به خاک ریزتر است و عمدتاً شامل سیلت و رس است. ذرات ریز به‌دلیل سطح ویژه بالا، حضور کانی‌های رسی در این بخش و همچنین به‌علت وجود مواد آلی و اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم چسبیده به این ذرات، توانایی بیش‌تری در انتقال فلزات سنگین دارند (۳۲). علاوه بر این فعالیت‌های انسانی باعث ورود مقادیر قابل‌توجه فلزات سنگین به محیط می‌شود. بنابراین ریزگرد مناطق شهری و صنعتی استان بوشهر، مقادیر بالایی از این فلزات را دارند.

ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های ریزگرد و خاک در جدول ۲ ارائه شده است. در این مطالعه برای داده‌های با توزیع نرمال از ضریب همبستگی پیرسون و برای داده‌هایی با توزیع غیرنرمال از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شده است.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های ریزگرد و خاک.

Table 2. Correlation coefficients between heavy metals and selected properties of dust and soil.

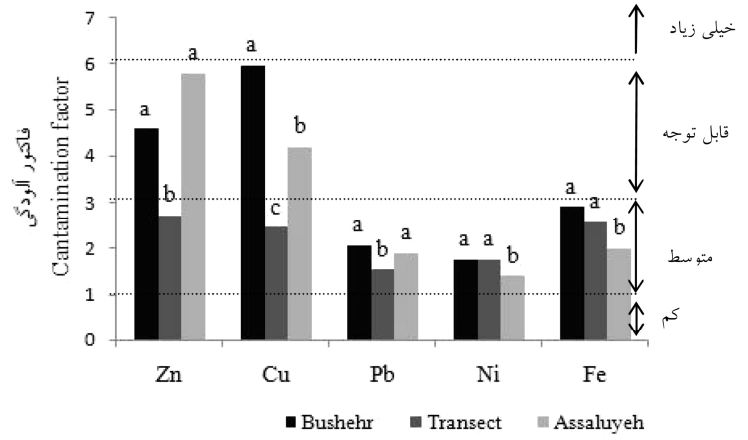
	متغیر Variable	روی Zn	مس Cu	سرب Pb	نیکل Ni	آهن Fe	ماده آلی (٪) OM	هدایت الکتریکی ($ds\ m^{-1}$) EC	واکنش pH
ریزگرد Dust	روی Zn	1							
	مس Cu	0.78^{s**}	1						
	سرب Pb	0.57^{p**}	0.52^{s**}	1					
	نیکل Ni	-0.41^{p**}	-0.20^{s}	-0.20^{p}	1				
	آهن Fe	-0.12^{p}	0.05^{s}	0.03^{p}	0.87^{p**}	1			
	ماده آلی (٪) OM	0.25^{s}	0.36^{s*}	0.11^{s}	0.12^{s}	0.25^{s}	1		
	هدایت الکتریکی ($ds\ m^{-1}$) EC	0.17^{s}	0.21^{s}	0.00^{s}	-0.11^{s}	-0.16^{s}	0.06^{s}	1	
	واکنش pH	0.37^{s**}	0.22^{s}	0.31^{s*}	-0.37^{s**}	-0.17^{s}	0.12^{s}	0.07^{s}	1
خاک Soil	روی Zn	1							
	مس Cu	0.67^{s**}	1						
	سرب Pb	0.30^{s*}	0.33^{s*}	1					
	نیکل Ni	0.25^{s}	0.50^{s**}	0.05^{s}	1				
	آهن Fe	0.32^{s*}	0.59^{s**}	0.07^{s}	0.82^{s**}	1			
	ماده آلی (٪) OM	0.37^{s*}	0.23^{s}	0.30^{s*}	-0.02^{s}	0.10^{p}	1		
	هدایت الکتریکی ($ds\ m^{-1}$) EC	-0.05^{s}	-0.06^{s}	0.02^{s}	-0.16^{s}	-0.22^{s}	0.19^{s}	1	
	واکنش pH	-0.28^{s}	-0.30^{s*}	-0.18^{s}	-0.24^{s}	-0.13^{s}	-0.32^{p**}	0.31^{s*}	1

[P] Pearson coefficient, [S] Spearman coefficient, * Significance at 0.05, ** Significance at 0.01.

در بسیاری از مطالعات از ضرایب همبستگی برای بیان منشأ احتمالی فلزات سنگین استفاده شده است (۱۱، ۱۵، ۱۷، ۲۷). لو و همکاران (۲۰۱۰) بیان می‌کنند که ضرایب همبستگی بین فلزات می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد منشا و راه‌های ورود آن‌ها را فراهم نماید (۱۵). در بین عناصر اندازه‌گیری‌شده در ریزگرد، روی حداکثر همبستگی معنی‌دار را با مس در سطح ۱ درصد آماری نشان می‌دهد. روی و سرب، و سرب و مس نیز همبستگی بالایی در سطح یک درصد آماری با هم دارند. همبستگی بالا و مثبت نشان‌دهنده این است که این عناصر از منابع مشابهی ایجاد شده‌اند. نیکل ریزگرد نیز بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار (۰/۸۷) با آهن در سطح یک درصد آماری دارد. در بین سایر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری ماده آلی با مس و واکنش ریزگرد با روی، سرب و نیکل همبستگی معنی‌دار نشان می‌دهد.

همان‌طور که نتایج همبستگی بین فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های خاک در جدول ۲ نشان می‌دهد، همبستگی آماری معنی‌داری بین روی خاک با مس خاک (۰/۶۷) در سطح ۱ درصد آماری وجود دارد. سرب خاک با مس و روی خاک در سطح ۵ درصد آماری همبستگی معنی‌دار نشان داد. نان و همکاران (۲۰۰۲) نیز همبستگی بالایی بین روی و مس و روی و سرب در خاک‌های تحت کشت گندم در چین به‌دست آوردند (۱۹). در مورد همبستگی بین فلزات سنگین در خاک، نتایجی مشابه این مطالعه توسط رودریگوز مارتین و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شد (۲۴). در بین فلزات سنگین خاک نیز مشابه ریزگرد حداکثر همبستگی معنی‌دار آماری بین آهن و نیکل وجود دارد. ضرایب همبستگی بالا بین این فلزات نشان می‌دهد که احتمالاً عوامل کنترل‌کننده مقدار این عناصر در خاک یاریزگرد یکسان باشد.

سطح آلودگی ریزگردهای استان بوشهر به فلزات سنگین: در شکل ۳ میزان فاکتور آلودگی ریزگردهای مناطق مورد مطالعه و چهار کلاس آلودگی ریزگرد به فلزات سنگین که توسط دانگ و لی (۲۰۱۱) ارائه‌شده، نشان داده شده است (۱۰). مقدار فاکتور آلودگی نشان می‌دهد که ریزگرد منطقه صنعتی عسلویه و شهر بوشهر از لحاظ عناصر روی و مس در کلاس آلودگی قابل‌توجه قرار دارند. به‌ویژه ریزگرد شهر بوشهر از نظر مقدار مس به‌میزان آلودگی خیلی‌زیاد نزدیک است.



شکل ۳- میانگین فاکتور آلودگی فلزات سنگین در ریزگرد سه منطقه مورد مطالعه (میانگین‌های دارای حروف مشترک مربوط به هر عنصر در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند).

Figure 3. Mean contamination factor of heavy metals in dust of the three study areas (means with the same letters for each heavy metal are not statistically significant at 0.05%).

بیش‌ترین فاکتور آلودگی سرب مربوط به شهر بوشهر است که در محدوده آلودگی متوسط قرار دارد. اختلاف آماری معنی‌داری از لحاظ فاکتور آلودگی سرب بین مناطق شهری بوشهر و صنعتی عسلویه مشاهده نشد. اما نسبت به منطقه غیرشهری (ترانسکت) افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد. مقادیر عناصر نیکل و آهن ریزگرد در هر سه منطقه در محدوده آلودگی متوسط است. البته عناصر روی و مس نیز در ترانسکت در همین محدوده است. این نتایج نشان می‌دهد عسلویه و بوشهر به‌طور قابل‌توجهی آلوده به عناصر روی و مس است. نتایج مطالعه‌ای در شهر اولسان کره جنوبی نیز نشان داد که ریزگرد بزرگراه آسفالته از نظر فاکتور آلودگی روی مشابه شهرهای عسلویه و بوشهر در کلاس آلودگی قابل‌توجه قرار می‌گیرد، اما مقدار مس در ریزگرد بزرگراه در کلاس آلودگی خیلی‌زیاد طبقه‌بندی می‌شود (۱۰). همچنین نتایج نوروزی و خادمی (۲۰۱۵) نشان داد که عناصر روی، کبالت و مس در ریزگردهای شهر اصفهان از لحاظ فاکتور آلودگی در کلاس آلودگی بسیار زیاد و قابل‌توجه و عناصر آهن، سرب، کروم، منگنز و نیکل در کلاس آلودگی متوسط قرار دارند (۲۰). وانگ و همکاران (۲۰۰۳) غلظت بالای فلزات سنگین در فرونشست اتمسفری را نشان‌دهنده ورود انسان‌ساخت این فلزات در نتیجه رشد سریع صنعتی‌شدن و گسترش شهری بیان کردند (۳۱).

منابع ورود فلزات سنگین در ریزگرد: روش تجزیه مؤلفه اصلی با استفاده از چرخش واریماکس برای مشخص کردن منابع ورود فلزات سنگین در ریزگرد به‌کار برده شد. جدول ۳ نتیجه اعمال روش تجزیه فاکتوری روی داده‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول نتایج برای مؤلفه‌های اصلی اول تا پنجم آورده شده است. همچنین بار عامل هر متغیر قبل و بعد چرخش در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقدار واریانس کل دو تا از مقادیر ویژه بیش‌تر از یک است و این دو فاکتور ۸۳/۰۶ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کند (جدول ۳). فاکتور اول ۴۴/۲۶ درصد از واریانس کل را توجیه نموده و شامل عناصر روی، سرب و مس است که بار عامل آن برای این عناصر به‌ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۷ و ۰/۷۹ است (جدول ۴). فاکتور دوم شامل آهن و نیکل ریزگرد و ۳۸/۸ درصد از کل واریانس را توجیه می‌کند (جدول ۳). بقیه فاکتورها در افزایش واریانس کل اهمیت زیادی ندارند. ارتباط بین فلزات سنگین بر اساس دو فاکتور اصلی در شکل ۴ در دو بعد نمایش داده شده است.

نتایج تجزیه خوشه‌ای برای فلزات سنگین ریزگرد در شکل ۵ به‌صورت دندروگرام نمایش داده شده است. نتایج دندروگرام نشان می‌دهد که دو گروه مختلف قابل تفکیک است: ۱) روی، سرب و مس ریزگرد، ۲) آهن و نیکل ریزگرد. اولین گروه شامل روی، سرب و مساست که این عناصر در ریزگرد همبستگی قوی با هم داشته و یک خوشه مستقل تشکیل داده‌اند. در گروه دوم نیز آهن و نیکل ریزگرد در یک خوشه قرار دارند. این نتایج منطبق با نتایج روش تجزیه مؤلفه اصلی و ضرایب همبستگی است.

جدول ۳- مقادیر تجزیه مؤلفه اصلی برای فلزات سنگین در ریزگرد منطقه مطالعاتی.

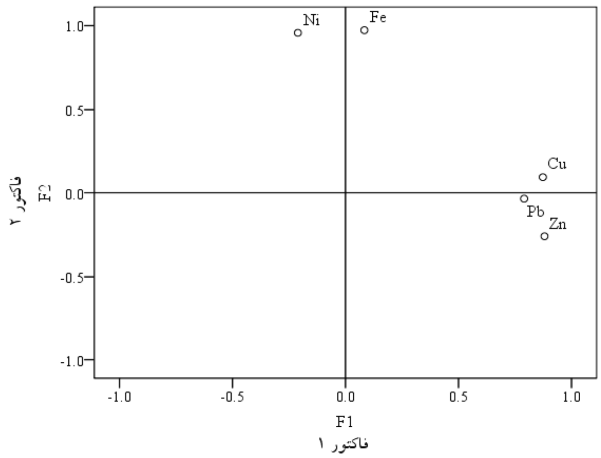
Table 3. PCA values for the heavy metals in dust of the study area.

واریانس فاکتورها بعد از چرخش Factors variance after rotation			واریانس فاکتورها بدون چرخش Factors variance without rotation			مقادیر ویژه اولیه Initial Eigenvalues			فاکتورها Factors
واریانس تجمعی (٪) Cumulative Variance %	درصد واریانس % of Variance	واریانس کل Total Variance	واریانس تجمعی (٪) Cumulative Variance %	درصد واریانس % of Variance	واریانس کل Total Variance	واریانس تجمعی (٪) Cumulative Variance %	درصد واریانس % of Variance	واریانس کل Total Variance	
44.26	44.26	2.21	48.02	48.02	2.40	48.02	48.02	2.40	1
83.06	38.80	1.94	83.06	35.03	1.75	83.06	35.03	1.75	2
						93.90	10.84	0.54	3
						98.52	4.63	0.23	4
						100.00	1.48	0.07	5

جدول ٤- بارهای عامل فلزات سنگین در ریزگرد منطقه مطالعاتی برای دو فاکتور با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک.

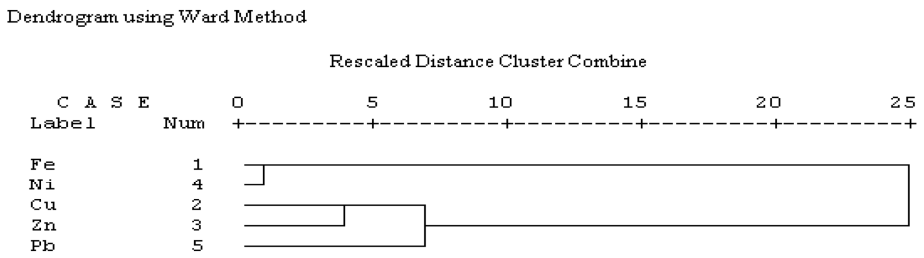
Table 4. Factor loadings of heavy metals in dust the study area for the first two factors with an eigenvalue>1.

بعد از چرخش After rotation		قبل از چرخش Before rotation		عناصر Metals
فاکتور ۲ Factor 2	فاکتور ۱ Factor 1	فاکتور ۲ Factor 2	فاکتور ۱ Factor 1	
-0.26	0.88	0.23	0.88	روی Zn
0.09	0.87	0.55	0.69	مس Cu
-0.04	0.79	0.40	0.69	سرب Pb
0.96	-0.21	0.69	-0.69	نیکل Ni
0.97	0.08	0.86	-0.45	آهن Fe



شکل ٤- پراکنش فاکتورها (F_1 و F_2) در دو بعد برای فلزات سنگین در ریزگرد منطقه مورد مطالعه.

Figure 4. Two dimensional plot of PCA loading factors (F_1 and F_2) for heavy metals in dust of the study area.



شکل ۵- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای عناصر سنگین در ریزگرد منطقه مورد مطالعه.

Figure 5. Hierarchical dendrogram for heavy metals in dust of the study area.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ریزگردهای فرونشسته روی برگ‌های نخل اطلاعات ارزشمندی از غلظت کل عناصر سنگین در ریزگرد منطقه شهری بوشهر، منطقه صنعتی عسلویه و ترانسکت بین آن‌ها ارائه می‌دهد. ضریب همبستگی، روش‌های تجزیه مؤلفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که منابع ورود عناصر روی، سرب و مس یکسان است و تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند ترافیک و صنعت هستند. اما عناصر آهن و نیکل در ریزگردهای منطقه، منشأ طبیعی دارند. نتایج فاکتور آلودگی نشان می‌دهد که ریزگردهای منطقه صنعتی عسلویه و منطقه شهری بوشهر به‌طور قابل‌توجهی آلوده به عناصر روی و مس است که سطح بالای این فلزات در هوای مورد استنشاق ساکنان این دو منطقه و کارکنان شاغل در منطقه پارس جنوبی، می‌تواند خطرات جدی برای سلامتی آن‌ها داشته باشد. همچنین با توجه به این‌که استان بوشهر بیش‌ترین مرز آبی با خلیج‌فارس دارد، به‌طور قطع خلیج‌فارس هم متأثر از آلودگی فلزات سنگین ناشی از ریزگرد است و این می‌تواند خطر جدی برای سلامتی مردم منطقه داشته باشد، زیرا آبزیان نقش مهمی در سبد غذایی مردم استان بوشهر دارند و آلودگی‌های ناشی از ریزگرد می‌تواند از طریق زنجیره غذایی، سلامتی مردم را به خطر اندازد. با توجه به این نتایج، کنترل کیفی و کمی آلایندگی‌های اتمسفری ناشی از فعالیت‌های صنعتی مانند پالایشگاه‌ها در منطقه صنعتی عسلویه و گسترش ناوگان عمومی در شهر بوشهر جهت کاهش آلودگی و ورود فلزات سنگین به محیط زیست منطقه مورد مطالعه، ضروری است.

منابع

1.Ahmed, F., and Ishiga, H. 2006. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. Atmos. Environ. 40: 3835-3844.
2.Al-Khashman, O.A. 2004. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. Atmos. Environ. 38: 6803-6812.
3.Al-Khashman, O.A. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman Jordan. Environ. Geochem. Health. 29: 1-10.
4.Al-Khashman, O.A., Al-Muhtaseb, A.H., and Ibrahim, K.A. 2011. Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves as biomonitors of atmospheric metal pollution in arid and semi-arid environments. Environ. Pollut. 159: 1635-1640.
5.Al-Khlaifata, A.L., and Al-Khashman, O.A. 2007. Atmospheric heavy metal pollution in Aqaba city, Jordan, using *Phoenix dactylifera* L. leaves. Atmos. Environ. 41: 8891-8897.

6.Birmili, W., Allen, A., Bary, F., and Harrison, R. 2006. Trace metal concentrations and water solubility in size-fractionated atmospheric particles and influence of road traffic. Environ. Sci. Tech. 14: 1144-1153.
7.Bushehr Meteorological Organization. 2012. Climatic data for Bushehr Province. Retrieved from http://www.bushehrmet.ir. (In Persian)
8.Catinon, M., Ayrault, S., Clocchiatti, R., Boudouma, O., Asta, J., Tissut, M., and Ravanel, P. 2009. The anthropogenic atmospheric elements fraction: A new interpretation of elemental deposits on tree barks. Atmos. Environ. 43: 1124-1130.
9.Chen, X., Lu, X., and Yang, G. 2012. Sources identification of heavy metals in urban topsoil from inside the Xi'an Second Ringroad, NW China using multivariate statistical methods. Catena. 98: 73-78.
10.Duong, T.T.T., and Lee, B.K. 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. J. Environ. Manag. 92: 554-562.
11.Facchinelli, A., Sacchi, E., and Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environ. Pollut. 114: 313-324.
12.Fattahi, A., and Ghannad, H. 2010. Analysis of synoptic patterns of dust storms in the southwest of Iran. J. Geograph. 4: 49-62. (In Persian)
13.Fayadh, J.M., and Al-Showiman, S.S. 1990. Chemical composition of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). J. Chem. Soc. Pak. 12: 84-103.
14.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.
15.Lu, X., Wang, L., Li, L.Y., Lei, K., Huang, L., and Kang, D. 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 173: 744-749.
16.Mahmoudi, Z. 2011. Geochemical and mineralogical properties of atmospheric dust in Isfahan City. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian)
17.Maisto, G., Alfani, A., Baldantoni, D., De Marco, A., and De Santo, A.V. 2004. Trace metals in the soil and in *Quercus ilex* L. leaves at anthropic and remote sites of the Campania Region of Italy. Geoderma. 122: 269-279.
18.Modaihsh, A.S. 1997. Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. J. Arid Environ. 36: 2. 211-223.
19.Nan, Z., Zhao, C., Jijun, L., Chen, F., and Sun, W. 2002. Relations between soil properties and selected heavy metal concentration in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in contaminated soil. Water Air Soil Poll. 133: 205-213.
20.Norouzi. S., and Khademi, H. 2014. Spatial and temporal distribution and pollution monitoring of heavy metals in atmospheric dust of Isfahan city. National Conference on Environment & Green Industry, Isfahan University. (In Persian)
21.Onder, S., and Dursun, S. 2006. Air borne heavy metal pollution of *Cedrus libani* (*A. Rich*.) in the city centre of Konya (Turkey). Atmos. Environ. 40: 1122-1133.
22.Preciado, H.F., and Li, L.Y. 2006. Evaluation of metal loadings and bioavailability in air, water and soil along two highways of British Columbia, Canada. Water Air Soil Pollut. 172: 81-108.
23.Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., and Gill, T.E. 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 total ozone mapping spectrometer absorbing aerosol product. Rev. Geophys. 40: 2-31.
24.Rodrıguez Martın, J.A., Lopez Arias, M., and GrauCorbı, J.M. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geoestatistical methods to study spatial variations. Environ. Pollut. 144: 101-1012.
25.Salt, D.E., Prince, R.C., Pickering, I.J., and Raskin, I. 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. Plant Physiol. 109: 1427-1433.
26.Shrestha, S., and Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environ. Modell. Softw. 22: 464-475.

27.Taghipour, M., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2011. Contribution of lithologic and anthropogenic factors to surface soil heavy metals in western Iran using multivariate geostatistical analyses. Soil Sediment. Contam. 20: 921-937.
28.Viard, B., Pihan, F., Promeyrat, S., and Pihan, J.C. 2004. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails. Chemosphere. 55: 1349-1359.
29.Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degetiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
30.Wedyan, M.A., Altaif, K.I., and Aladaileh, S. 2009. Heavy metals in wet deposition of south of Jordan. Europ. J. Sci. Res. 36: 554-560.
31.Wong, C.S.C., Li, X.D., and Zhang, G. 2003. Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China. Atmos. Environ. 37: 767-776.
32.Yao, Q., Wang, X., Jian, H., Chen, H., and Yu, Z. 2015. Characterization of the Particle Size Fraction associated with Heavy Metals in Suspended Sediments of the Yellow River. Int. J. Environ. Res. Public Health. 12: 6. 6725-6744.
33.Zhang, X.Y., Cao, J.J., Li, L.M., Arimoto, R., Cheng, Y., Huebert, B., and Wang, D. 2002. Characterization of atmospheric aerosol over Xi'an in the south margin of the Loess Plateau, China. Atmos. Environ. 36: 4189-4199.
34.Zhao, N., Lu, X., Chao, S., and Xu, X. 2015. Multivariate statistical analysis of heavy metals in less than 100 μm particles of street dust from Xining, China. Environ. Earth Sci. 73: 2319-2327.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(3), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Determining the concentration and contamination level of heavy metals in dust from selected areas of Bushehr Province

Z. Naderizadeh[1], *H. Khademi[2] and Sh. Ayoubi[2]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[2]Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology
Received: 05/15/2015; Accepted: 12/09/2015

Abstract

Background and Objectives: Increasing industrialization and human activities intensify the emission of various pollutants into the environment. Air pollution has been considered one of the most important environmental challenges because of its effect on ecosystems and human health. Heavy metals which enter the environment from many different sources such as industrial and agricultural activities cause serious environmental risks, To reduce the negative impact of heavy metals, it is necessary to identify contaminated areas. The aim of this study was to examine selected chemical properties and concentrations of heavy metals such as iron (Fe), zinc (Zn), lead (Pb), copper (Cu) and nickel (Ni) in dust from Bushehr and Assaluyeh cities as urban and industrial areas, respectively and also from the transect (about 300 km) between the two cities as a non-urban area.

Materials and Methods: Fifty dust samples (dry deposition) were taken from the leaves of the date palm trees at. The sampling was carried out in September 2012 at 50 sites including 15 samples from the urban area (Bushehr city), 12 from the industrial area (Assaluyeh city) and 23 from the non-urban area along the transect between the two cities. Also, fifty surface soil samples (0-10 cm) were taken from the sites adjacent to the same trees from which dust samples were collected. Then, the total concentrations of Fe, Zn, Pb, Cu and Ni of dust and soil samples were measured by an atomic absorption spectrometer after digestion with 6N nitric acid (11, 24, 27). The relationships between heavy metals in the dust samples and their origins were determined using correlation coefficients, PCA and CA.

Results: The mean concentrations of the heavy metals in the dust from the three areas were found to be higher than those of the nearby soils except for Pb in Bushehr. A significant increase in dust Zn, Cu and Pb concentrations was found in industrial and urban areas (Bushehr and Assaluyeh) as compared to the non-urban transect. The highest dust Cu and Pb concentrations were observed in Bushehr, but dust Zn concentration of Assaluyeh was higher than those in other areas. The two main sources of different heavy metals in atmospheric dust deposited on date palm leaves were identified based on the principal component analysis, cluster analysis and correlation coefficients. Zn, Cu and Pb seem to have anthropogenic sources, whereas Fe and Ni in the atmospheric dust presumably derive from non-anthropogenic sources. Values of contamination factor indicate that dust in Bushehr and also in industrial area of Assaluyeh falls in considerably contaminated level in terms of Zn and Cu.

Conclusion: Increasing industrialization and human activities intensified the entering of heavy metals into Bushehr Province atmospheric. In general, implementation of environmental standards in Assaluyeh industrial zone and improvement of public transportation in Bushehr city are necessary to reduce the level of pollutants entering the atmosphere.

Keywords: Anthropogenic sources, Contamination class, Multivariate analysis, Urban and industrial areas

* Corresponding Author; Email: hkhademi@cc.iut.ac.ir