

ترکیب عنصری و شاخص‌های زمین‌زیست‌محیطی فلزات سنگین در طوفان‌های گرد و غبار در استان خوزستان

علیرضا زراسوندی^{۱*}، مجید حیدری^۲، احمدرضا لاهیجان زاده^۳، صدیقه جلالی^۴، محسن رضایی^۵، مدینه ساعد^۵ و زهرا فریدونی^۵

- ۱- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز پژوهشی منطقه ای ریزگردها، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
- ۲- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات اهواز و سازمان حفاظت محیط زیست استان خوزستان
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز پژوهشی منطقه ای ریزگردها، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۵- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸	افزایش گرد و غبارهای داخلی از یکسو و پیامدهای بهداشتی این طوفان‌ها از سوی دیگر، موجب شده است که بررسی زمین‌شیمی فلزات سنگین و شاخص‌های زیست‌محیطی طوفان‌های غبار در خوزستان، از اهمیت بالایی برخوردار باشد. در این راستا تعداد ۴۰ نمونه گرد و غبار از اندازه‌های TSP و PM ₁₀ با دستگاه نمونه‌گیر High Volume Air Sampler گردآوری شد و غلظت فلزات سنگین وانادیوم، کبالت، نیکل، آرسنیک، کادمیوم، سرب و روی با روش ICP-MS (multi-acid digestion- Perkin Elmer-SCIEX ELAN 6000) تعیین گردید. داده‌های حاصل نشان می‌دهند، در نمونه‌های TSP، میزان سرب از ۸/۱۱ تا ۱۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و میانگین و میانه داده‌ها نیز به ترتیب ۲۳/۶ و ۱۱/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میزان روی نیز در PM ₁₀ در این نمونه‌ها از ۴۷۰ تا بالغ بر ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر خواهد بود. در مورد نیکل نیز، غلظت این عنصر در نمونه‌های PM ₁₀ از ۵/۸ تا ۴۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد. کم‌ترین میزان کبالت نیز در نمونه‌های PM ₁₀ بوده و از ۰/۶ تا ۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. بیش‌ترین فراوانی وانادیم نیز در نمونه‌های شهر اهواز مشاهده شد. نمونه‌های PM ₁₀ نسبت به TSP بیش‌ترین میزان آرسنیک (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را دارا هستند که از نظر بهداشتی بسیار نگران‌کننده است. پایین‌ترین غلظت نیز، با میانگین ۰/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به عنصر کادمیوم است. براساس داده‌های حاصل از مطالعه فاکتور آلودگی، روند میزان فاکتور آلودگی عناصر بدین صورت است: سرب > روی > کادمیوم > آرسنیک > نیکل > کبالت > وانادیوم. میانگین درجه آلودگی نیز، در نمونه‌های PM ₁₀ با مقدار حدود ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به

*عهده دار مکاتبات

Email: Zarasvandi_a@scu.ac.ir

نمونه‌های TSP با میانگین ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بسیار بیش‌تر است. در مورد فاکتور غنی‌شدگی نیز، روند کادمیوم > روی > نیکل > سرب > آرسنیک > وانادیوم > کبالت صادق است. بالاترین غنی‌شدگی آرسنیک نیز در نمونه‌های PM₁₀ مشاهده می‌شود. از منظر شاخص آلودگی یکپارچه نیز، در نمونه‌های PM₁₀، سرب، نیکل، وانادیم و کبالت غیر آلوده، کادمیوم آلودگی کم، آرسنیک آلودگی متوسط و روی آلودگی شدید را نشان می‌دهند. در نمونه‌های TSP عناصر وانادیوم، کبالت، آرسنیک رده غیر آلوده، عناصر سرب، نیکل، روی آلودگی کم و کادمیوم آلودگی شدید دارند. بررسی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبارهای با منشأ مختلف تأیید می‌نماید که آرسنیک در نمونه‌های PM₁₀ با منشأ داخلی میزان بالاتری دارد. بررسی‌های فصلی نیز نشان می‌دهد که میزان عناصر وانادیم، کبالت و آرسنیک در فصل گرم و مقدار سرب در فصل سرد بالاتر می‌باشد. هم‌بستگی بالای کادمیوم (۰/۹) با کبالت، وانادیوم، نیکل نشان دهنده منشأ مشترک احتمالی این عناصر است.

گیاهی و ریخت‌شناسی اقلیم‌های غبارخیز و غبارپذیر دارد (۶). مناطقی از قبیل آفریقای شمالی، خاورمیانه، مناطق بیابانی عربستان سعودی، جنوب غرب آسیا، استرالیا و آمریکای شمالی از مهم‌ترین مراکز غبارزایی محسوب می‌شوند که شهرها و مناطق مجاور و دور دست را متأثر می‌سازند و سالانه حدود $10^8 \times 4/5$ تن گرد و غبار را به اقیانوس‌ها منتقل می‌کنند (۱۲). اما بروز و تداوم این طوفان‌ها، پیامدهای زیست‌محیطی بسیار ناگواری به‌ویژه در مورد سلامت جوامع انسانی در پی خواهند داشت (۳۱). براساس مطالعه وانگ و همکاران (۲۰۱۷) مشخص گردید که افزایش غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار می‌تواند پیامدهای بهداشتی ناگواری را در پی داشته باشد (۳۱). هم‌چنین بررسی انجام شده توسط کراسنو و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که افزایش رخدادهای غباری، سبب تغییر شرایط اقلیمی مناطق غبارپذیر می‌شود (۱۳). به علاوه، آسیب‌های زیست‌محیطی را می‌توان از مهم‌ترین پیامدهای بروز گرد و غبار در جوامع غبارپذیر برشمرد. عوارض اجتماعی، اقتصادی و سلامت عمومی، به‌ویژه از طریق کاهش کیفیت هوا، از مهم‌ترین عوارض طوفان‌های غباری محسوب می‌شوند.

مقدمه

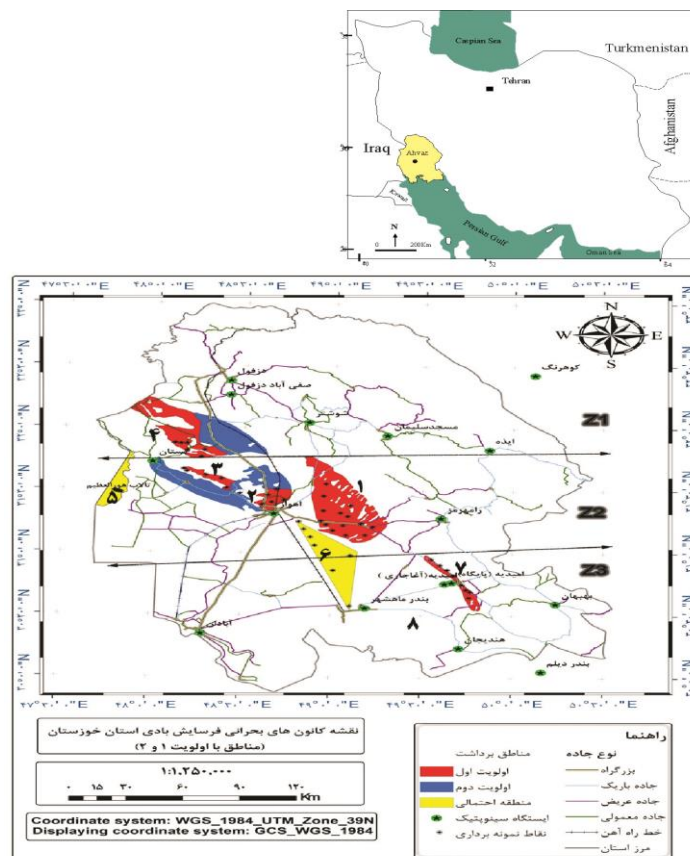
طوفان‌های گرد و غبار را می‌توان به عنوان پدیده جوی تعریف کرد که در نتیجه گذر جریان‌های بادی شدید از اقلیم‌های خشک و نیمه خشک ایجاد می‌شوند (۱۶). نتیجه نهایی این جریانات جوی، حرکت ماسه و غبار از سطوح سست و تولید رخدادهای غباری است (۳۴) که میزان دید افقی را معمولاً تا کم‌تر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهند. منبع اصلی تولید ذرات گرد و غبار در نواحی خشک و نیمه خشک واقع شده است که بنابر سرعت و جهت باد از مناطق قاره‌ای به سوی سایر نواحی انتقال می‌یابند (۵ و ۹). مناطق خشک که جمعیتی بالغ بر ۱ میلیارد نفر را در خود جای داده‌اند، منشأ حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد ذرات معلق ورودی به جو هستند (۲۵). پژوهشی که توسط ایندوت و همکاران (۲۰۱۲) انجام گرفت، تأیید کرد که تشکیل و تشدید گرد و غبار به وسیله ارتباط سه شاخص با یکدیگر کنترل می‌شود: ۱- بادهای شدید؛ ۲- مواد سطحی مستعد فرسایش بادی؛ ۳- شرایط نامساعد جوی (۱۱). عرض‌های معتدل، گرمسیری و فراگرم با میانگین بارش سالانه کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر، از توان غبارزایی بالایی برخوردارند. بررسی مدل چرخه جهانی گرد و غبار نشان از ارتباط وقوع این رخداد با پوشش

نقش شاخص‌های دیگری از قبیل مسیر نفوذ گرد و غبار، زمان وقوع، تداوم، شدت و مهم‌تر از همه، ترکیب عنصری جبهه‌های غباری در دامنه تأثیرات بهداشتی آن‌ها مطالعه گردد (۳۲). بر این اساس، تأیید غنی‌شدگی گرد و غبار از فلزات سمی نظیر آنتیموان، آرسنیک، کادمیوم و سرب و تأثیر مخرب آن‌ها بر سامانه زیستی جانداران و همچنین وجود کانی‌های سیلیکاته که یکی از دلایل اصلی بروز بیماری‌های ریوی می‌باشند، اهمیت بررسی شیمی و زمین‌شیمی وقایع گرد و غبار را دو چندان نموده است (۲۶). در این بین استان خوزستان نیز، به دلیل قرارگیری در یکی از مهمترین کانون‌های غبارخیز و غبارپذیر جهان، یعنی خاورمیانه به شکل جدی نیازمند انجام مطالعه پیامدهای زیست‌محیطی طوفان‌های گرد و غبار، به‌ویژه بررسی ترکیب عنصری آن‌هاست. البته آنچه که اهمیت پرداختن بدین موضوع را در خوزستان دوچندان می‌نماید، سهم ۱۰-۱۵ درصدی گرد و غبارهای با منشأ داخلی است که تا کنون بدان پرداخته نشده است. از این رو با اذعان به گستره قابل توجه اقلیم‌های خشک و نیمه خشک و همچنین پهنه‌های رسوبی جوان (۳۶) در استان خوزستان (شکل ۱)، در این مطالعه سعی بر آن بوده است که به عنوان نخستین پژوهش جامع، شیمی و زمین‌شیمی گرد و غبارهای داخلی در خوزستان بررسی و الگوی عنصری زیست‌محیطی این طوفان‌ها تبیین گردد. در نهایت، با عنایت به عدم انجام مطالعه جامعی در مورد ترکیب عنصری و توان آلاینده‌گی در طوفان‌های گرد و غبار با منشأ درون‌استانی، از این رو هدف از مطالعه حاضر، بررسی زمین‌شیمی و شاخص‌های زمین‌زیست‌محیطی در طوفان‌های غباری با خاستگاه داخلی بوده است. همچنین به منظور درک تفاوت‌های احتمالی بین طوفان‌های داخلی و خارجی، شاخص‌های عنصری رخداد‌های گرد و غبار با منشأ داخلی و خارجی نیز با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

مطالعات صورت پذیرفته توسط کراسنو و همکاران (۲۰۱۶) و کومار و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که افزایش گستره اقلیم‌های خشک از طریق گرم شدن شرایط اقلیمی و کاهش متوسط بارش جهانی، از پیامدهای بروز طوفان‌های گرد و غبار است (۱۳ و ۱۴). همچنین نتایج ارائه شده تأیید کرد که این طوفان‌ها، چرخه بارندگی موسمی و هیدرولوژی جهانی را با اختلال جدی مواجه می‌سازند. این تأثیرات به نوبه خود موجبات افزایش ظهور طوفان‌های غباری را فراهم می‌آورند (۱۵). این طوفان‌ها همچنین موجب وارد آمدن خسارات جدی به محصولات کشاورزی و حاصل‌خیزی خاک می‌گردند. افزون بر این، تغییر موازنه اتمسفری و شیمیایی و به تبع آن، تغییر تعادل بیوشیمیایی زیست‌بوم‌ها، از دیگر پیامدهای این چالش می‌باشد. غبار با دخالت در تشکیل ابرها، سبب تغییرات جدی در شاخص‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها می‌شود. در همین راستا مغربی و الدوساری (۲۰۱۵) نشان دادند که بروز گرد و غبار با تغییر در ترکیب فیزیکوشیمیایی توده‌های ابر، سبب تغییر در الگوی بارش می‌گردد (۱۹). مطالعات اخیر، تأثیرات منفی طوفان‌های گرد و غبار بر سلامت جوامع زیستی تحت نفوذ جبهه‌های غباری را به وضوح نشان داده‌اند. بررسی مدل‌های سلامت جانوری نیز تأثیرات این ذرات بر سلامت سامانه زیستی را تأیید می‌نماید. مشخصاً، پژوهش‌های صورت پذیرفته، ارتباط معناداری میان بروز گرد و غبار با افزایش آمار مبتلایان به بیماری‌های قلبی و تنفسی نشان می‌دهند (۱۵). در مورد عوارض بهداشتی رخداد‌های گرد و غبار نیز بر اساس لی و همکاران (۲۰۱۲)، بیماری‌های تنفسی، آسم و عوارض ریوی از شایع‌ترین پیامدهای گرد و غبار هستند (۱۶).

وقوع طوفان‌های گرد و غبار با غلظت ذرات بیش از 90 ug/m^3 سبب افزایش آمار مرگ و میر در کشورهای تحت نفوذ این طوفان‌ها می‌شود. پیامدهای زیستی رخداد‌های غباری، موجب شده است که در سال‌های اخیر

زراسوندی و همکاران: ترکیب عنصری و شاخص های زمین زیست محیطی...



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی استان خوزستان و پهنه های ۸ گانه رسوبی-فرسایشی تولید کننده گرد و غبار
Figure (1) Location of Khuzestan Province and 8 Dust Producing Sedimentary-Erosional Zones

با. ارتفاع مناسب به منظور استقرار دستگاه نمونه گیر، با هماهنگی با سازمان حفاظت محیط زیست بین ۹ تا ۱۱ متر تشخیص داده شد. نمونه گیری از ذرات گرد و غبار در طی بازه زمانی ۱۳۹۳/۱۱/۱۹ تا ۱۳۹۴/۶/۱۸ در ۳۱ روز گرد و غباری که توسط سازمان هواشناسی مشخص می گردید، به عمل آمد. با هماهنگی های به عمل آمده با اداره کل هواشناسی خوزستان، تشکیل هسته اولیه طوفان های گرد و غبار و هرگونه احتمال وقوع گرد و غبار در استان خوزستان به تیم پژوهشی اطلاع داده و هماهنگی های لازم برای نمونه برداری از ذرات غبار انجام می گرفت. باید بدین مهم نیز اشاره گردد که تعیین منشأ طوفان های گرد و غبار با استفاده از داده های اخذ شده از اداره کل هواشناسی استان خوزستان مبنی بر داخلی یا خارجی بودن طوفان، انجام پذیرفت. بدین صورت که در بازه زمانی شروع تا ۲۴ ساعت پس از اتمام طوفان گرد و غبار، داخلی یا خارجی بودن منشأ گرد و غبار

مواد و روش ها

نمونه برداری

با استفاده از داده ها و اطلاعات اداره کل هواشناسی استان خوزستان مبنی بر پیش بینی زمان وقوع طوفان های گرد و غبار با منشأ مختلف و به منظور پوشش مناطق مختلف استان خوزستان، مکان های مناسب، شامل شهرهای اهواز، هندیجان و بهبهان در دوره زمانی زمستان ۱۳۹۳ تا تابستان ۱۳۹۴ برای انجام نمونه برداری از طوفان های گرد و غبار انتخاب شدند. افزون بر این، در انتخاب مکان های نمونه برداری، وجود مکان مناسب برای استقرار دستگاه نمونه گیر غبار نیز مدنظر قرار گرفت. برای تعیین این نقاط، موارد زیر مد نظر قرار گرفت: ارتفاع مناسب از سطح زمین به برای دوری از آلودگی های سطحی؛ دوری از مکان های شهری برای پرهیز از آلودگی های صنعتی در حد امکان؛ قرارگیری در مکان مناسب برای وزش باد و سرعت مناسب

تعیین پراکنش و فراوانی فلزات سنگین وانادیوم، کبالت، نیکل، آرسنیک، کادمیوم، سرب و روی توسط دستگاه طیف سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی^۱ (multi-acid digestion- Perkin Elmer-SCIEX ELAN 6000) در آزمایشگاه Actlabs در کشور کانادا مورد آنالیز قرار گرفتند. البته باید خاطر نشان کرد که وجود فیلترهای مورد استفاده در نمونه برداری PM₁₀ با توجه به بودن آنها هیچ گونه تاثیری بر روی نتایج حاصل از انحلال و آنالیز نمونه ها نخواهد داشت. یکی از محاسن اصلی روش ICP-MS، امکان آنالیز نمونه های با وزن کم تر از ۰/۲ گرم خواهد بود. لازم به ذکر است حد تشخیص برای عناصر اصلی از ۰/۰۰۱ تا ۱ درصد، عناصر کمیاب از ۰/۰۰۱ تا ۱ میلی گرم بر کیلوگرم و عناصر نادر خاکی ۰/۱ تا ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم متغیر است.

مطالعات و بررسی شاخص های آلودگی

به منظور درک صحیح پیامدها و ابعاد زیست محیطی رخدادهای گرد و غبار، شاخص هایی از قبیل فاکتور آلودگی^۲، درجه آلودگی^۳، فاکتور غنی شدگی^۴ و شاخص آلودگی یکپارچه^۵ محاسبه گردید.

فاکتور آلودگی

فاکتور آلودگی طبق فرمول زیر محاسبه گردید (۳۰):

رابطه (۱)

$$CF = \frac{C_m}{C_{ref}}$$

C_m : غلظت عنصر اندازه گیری شده در نمونه گردوغبار

C_{ref} : غلظت عنصر مبنا (از آلومینیوم با میزان ۱۵/۷ Wt.% در پوسته بالایی به عنوان عنصر مبنا استفاده گردید).

رخ داده، از اداره کل هواشناسی استان خوزستان استعلام می گردید. بنابراین با توجه بدین مهم که وقایع غباری ورودی به استان خوزستان دارای سه منشأ خارجی، داخلی و مشترک (تلفیقی از طوفان های داخلی و خارجی) بود، از این رو نمونه برداری از هر سه نوع گرد و غبار و به تفکیک انجام گرفت که این امر، مقایسه انواع مختلف طوفان ها را با یکدیگر ممکن ساخت. در این مطالعه سعی گردید به دلیل محدودیت استفاده از دستگاه های نمونه گیر فعال High Volume Air Sampler (دستگاه مخصوص جمع آوری نمونه های غبار) حتی الامکان نمونه هایی با قطرهای آیرودینامیکی مختلف (PM₁₀, TSP) جمع آوری شوند. در باب گرد آوری نمونه های PM₁₀ و TSP (Total Suspended Particles) (particulate matter 10 micrometers)، باید عنوان نمود که نمونه های جمع آوری شده پس از تعیین وزن در محفظه های نمونه برداری قرار داده شدند. در مورد نمونه های PM₁₀ از دستگاه های نمونه گیر فعال High Volume Air Sampler استفاده شد (شکل ۲) و در استقرار توجه گردید که دستگاه در ارتفاع ۹ تا ۱۱ متری از زمین قرار گیرد و تا حد امکان از هرگونه فعالیت های انسان زادی به دور باشند. مدت زمان هر نوبت نمونه برداری، بین ۲۴-۸ ساعت متغیر بود. مدت زمان نمونه برداری به بازه زمانی استقرار و پایداری جبهه گرد و غبار در مناطق نمونه گیری بستگی داشت و در صورت ادامه یافتن طوفان غبار، نمونه برداری حداکثر تا ۲۴ ساعت ادامه می یافت. در ادامه نمونه های غبار موجود بر روی فیلتر دستگاه نمونه گیر، جمع آوری گردید. علاوه بر این، از فیلترهای بدون خاکستر نیز در نمونه برداری بهره گرفته شد. نمونه های جمع آوری شده همراه با فیلترهای نمونه برداری در ظروف مخصوص شیشه ای قرار داده شدند. در نهایت به منظور پرهیز از هرگونه اشتباه، هر نمونه توسط یک کد منحصر بفرد مشخص شد. در نهایت نیز تعداد ۴۰ نمونه گرد غبار شهرهای اهواز (۲۸ نمونه)، هندیجان (۱۱ نمونه) و بهبهان (۱ نمونه)، گرد آوری شد و به منظور

1- Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy

2- Contamination Factor

3- Degree of Contamination

4- Enrichment Factor

5- Integrated Nemerow Pollution Index



شکل (۲) دستگاه نمونه گیر فعال High Volume Air Sampler مدل RFPS
Figure(2) High Volume Air Sampler, RFPS Model

این روش بر محاسبه غلظت عنصر به غلظت همان عنصر در ناحیه غیر آلوده به صورت نرمال شده می باشد. در واقع با استفاده از این روش میزان غنی شدگی عناصر در محیط های خاکی که ممکن است آلوده باشند نسبت به ناحیه غیر آلوده بررسی شده و غنی شدگی بیش تر از یک عنصر نشان می دهد که منابع انسانی در انتشارش نقش بیش تری داشته باشند. شاخص غنی سازی می تواند به منظور تشخیص تفاوت ها بین عناصری باشد که ناشی از فعالیت های انسانی و ناشی از عوامل طبیعی هستند (۳۵). از این شاخص برای تفریق بین عناصر نشأت گرفته از فعالیت های انسانی و آن هایی که منشأ طبیعی دارند یا منشأ مختلط عناصر و ارزیابی درجه اثرات انسانی استفاده شود (۳۳): رابطه (۳)

$$EF = \frac{(C_x/C_{ref})_{sample}}{(C_x/C_{ref})_{background}}$$

(EF) : فاکتور غنی شدگی عناصر،
 $(C_x/C_{ref})_{sample}$: غلظت عنصر مورد نظر به غلظت عنصر مبنا در نمونه مورد مطالعه و
 $(C_x/C_{ref})_{background}$: نسبت غلظت عنصر مورد نظر به غلظت عنصر مبنا به عنوان مقادیر زمینه است.

برای تعیین میزان آلاینده های عناصر در یک منطقه باید میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد

لازم به ذکر این نکته است که می توان از عناصر با تأثیر پذیری کم از فعالیت های انسان زاد نظیر آهن، آلومینیوم و حتی لیتیم به عنوان عنصر مبنا بهره گرفت (۱۷) که در این مطالعه از غلظت آلومینیوم در پوسته بالایی استفاده شده است.

درجه آلودگی

افزون بر فاکتور آلودگی، درجه آلودگی (DC) نیز شاخصی است که برای توصیف سطح آلودگی یک منطقه مورد استفاده قرار می گیرد. درجه آلودگی مناطق نمونه برداری با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید. درجه آلودگی در یک منطقه، نشان دهنده میزان آلودگی های کلی برای عناصر مورد مطالعه در آن ناحیه است و از طریق شاخصی با نام فاکتور آلودگی (CF) تعریف می شود؛ بدین صورت که درجه آلودگی یک منطقه از مجموع فاکتورهای آلودگی محاسبه شده طبق رابطه ۲ به دست می آید (۸):

رابطه (۲)

$$DC = \sum CF$$

فاکتور غنی شدگی

یکی دیگر از روش های ارزیابی خطرات ناشی از ناهنجاری عنصری، محاسبه فاکتور غنی شدگی (EF) یک عنصر در رسوب، خاک و یا گردوغبار است. اساس

این بین، ضریب همبستگی پیرسون که با r نمایش داده می‌شود، ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه‌ی یک متغیر با متغیر دیگر است. این ضریب میزان قدرت رابطه داخلی بین دو آلاینده را اندازه‌گیری می‌کند و مقدار آن بین ۱ تا -۱ است (۱۸). نرمال بودن داده‌های عنصری نمونه‌های گرد و غبار آنالیز شده نیز، با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ تأیید شد. اما در ادامه به منظور تعیین نقش تشابهات عنصری در غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی عناصر مختلف در گرد و غبار و هم‌چنین بررسی احتمال منشأ مشترک عناصر، با استفاده از نرم افزار SPSS 19.0 ضریب پیرسون عناصر به منظور شناسایی شباهت رفتاری و ارتباط عناصر با یکدیگر و شناسایی منابع انتشار احتمالی، محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه شامل نمونه‌های گرد و غبار در اندازه‌های TSP و نمونه‌های با قطر ۱۰ میکرون (PM_{10}) آنالیز شده در (جدول ۱) و (شکل ۲) نمایش داده شده است. از میان فلزات سنگین بررسی شده در نمونه‌های TSP، میزان سرب از ۸/۱۱ تا ۱۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. در این میان کم‌ترین و بیش‌ترین میزان غلظت سرب در نمونه‌های TSP مربوط به اهواز می‌باشند. اکثر نمونه‌ها از میزان بسیار پایین‌تر سرب برخوردارند، به نحوی که میانگین و میانه داده‌ها برای غلظت این عنصر در نمونه‌های TSP به ترتیب ۲۳/۶ و ۱۱/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با توجه به مشاهده بیش‌ترین فراوانی عنصر سرب در نمونه‌های گرد و غبار شهر اهواز، فراوانی بالای سرب در گرد و غبار این شهر را می‌توان ناشی از بار ترافیکی بالا و احتراق سوخت‌های فسیلی در این کلان‌شهر دانست. هم‌چنین غلظت بالای سرب در اهواز، احتمال بروز پیامدهای بهداشتی برای ساکنین این شهر را افزایش می‌دهد و نگرانی‌ها در مورد

شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است؛ زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در کشور ما به دلیل عدم وجود استاندارد خاص برای درجه آلودگی، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. عدد EF نزدیک به ۱، منشأ زمین‌زاد را نشان می‌دهد و هم‌چنین عناصر با مقادیر ضریب غنی‌سازی بزرگ‌تر از ۱۰ دارای غنی‌شدگی قابل توجه بوده و عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و منابع غیرزمینی می‌باشند. هم‌چنین باید توجه داشت که عنصر مرجع، اغلب با مشخصه تغییرپذیری و تحرک‌پذیری کم انتخاب می‌شود؛ به عنوان مثال عناصر پتاسیم، استرانسیم، سیلیسیم، آهن، آلومینیوم، تیتانیم بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۷). در این مطالعه آلومینیوم به عنوان عنصر مبنا استفاده شد.

فاکتور آلودگی یکپارچه

شاخص آلودگی یکپارچه (IPI) نیز، از رابطه زیر محاسبه شد (۲۳):

رابطه (۴)

$$IPI = [(PI_{max}^2 + PI_{ave}^2)/2]^{1/2}$$

در این رابطه فاکتور آلودگی یکپارچه (IPI) با محاسبه مجموع دو مؤلفه بیش‌ترین و میانگین آلودگی برای عناصر در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام می‌پذیرد. بر طبق مقدار IPI کیفیت خاک، رسوب و یا گرد و غبار در ۴ رده غیرآلوده ($IPI \geq 1$)، آلودگی کم ($1 < IPI \leq 2$)، متوسط ($2 < IPI \leq 3$) و شدید ($IPI > 3$) طبقه بندی می‌شود.

مطالعات آماری

به منظور نشان دادن همبستگی و شباهت رفتاری موجود بین عوامل مختلف از ضریب همبستگی استفاده شد. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین هم‌بستگی دو متغیر است. ضریب هم‌بستگی شدت رابطه و هم‌چنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. در

علاوه، نمونه‌های آنالیز شده در این پژوهش، غلظت‌های به نسبت پایین کبالت را نمایش می‌دهند. کم‌ترین میزان در نمونه‌های PM_{10} دیده می‌شود، در اینجا غلظت کبالت از $0/6$ تا $4/7$ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. میانگین و میانه غلظت این عنصر در نمونه‌های PM_{10} به ترتیب $2/55$ و $2/6$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. شایان ذکر است بیش‌ترین میزان اندازه‌گیری شده کبالت در نمونه‌های TSP در نمونه مربوط به اهواز می‌باشد. در نمونه‌های PM_{10} کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر وانادیوم $5-25$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین و میانه غلظت وانادیوم در این نمونه‌ها $14/37$ و $14/5$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. غلظت وانادیم در نمونه‌های TSP بین 34 و 126 میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین این عنصر نیز، $56/25$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (شکل ۲). بالا بودن فراوانی وانادیم در نمونه‌های TSP برداشت شده از شهر اهواز، نسبت به هندیجان و بهبهان، می‌تواند نشان دهنده تاثیر فعالیت‌های انسان‌زاد بر پراکنش عنصر وانادیوم در نمونه‌های گرد و غبار باشد. در مورد پراکنش آرسنیک نیز در نمونه‌های PM_{10} غلظت آرسنیک از $10/2$ تا $14/2$ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. میانگین عنصر آرسنیک در این نمونه‌ها برابر 12 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. شایان توجه است که حداکثر غلظت آرسنیک در نمونه‌های گرد و غبار TSP از 5 میلی‌گرم بر کیلوگرم تجاوز نمی‌کند. مقایسه غلظت این عنصر در نمونه‌های غباری تأیید می‌نماید که PM_{10} بیش‌ترین میزان آرسنیک را داراست (شکل ۲). این موضوع می‌تواند نشان‌های بر جذب بالای این فلز توسط ذرات با قطر 10 میکرون باشد. مهم‌ترین نگرانی بهداشتی در مورد توان بیماری‌زایی طوفان‌های گرد و غبار را بدون تردید می‌توان به میزان بالای آرسنیک در ذرات غباری دانست. مهم‌تر این‌که بالا بودن غلظت آرسنیک در نمونه‌های PM_{10} و افزایش پتانسیل نفوذ این عنصر به بدن انسان از طریق تنفس، بر این نگرانی افزوده است.

عوارض بهداشتی طوفان‌های غباری در خوزستان را دوچندان می‌نماید.

هم‌چنین در نمونه‌های مورد مطالعه، فلز روی به نسبت سرب از فراوانی بیش‌تری برخوردار است. بیش‌ترین مقادیر این فلز در نمونه‌های آنالیز شده از فیلتر دستگاه PM_{10} مشاهده می‌شود؛ به صورتی که میزان روی در این نمونه‌ها از 4670 تا 5000 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد (جدول ۱).

غلظت بالای عنصر روی در ذرات گرد و غبار با قطر کم‌تر از 10 میکرومتر نشان‌دهنده افزایش احتمال و تسهیل ورود روی به بخش‌های عمیق سامانه‌زیستی انسان، به‌ویژه مجاری ریوی می‌باشد. نکته قابل توجه، غلظت بالا و یکنواخت این عنصر در کلیه نمونه‌های آنالیز شده از فیلتر دستگاه PM_{10} است. میزان میانگین و میانه غلظت این عنصر به‌شدت بالا و به ترتیب $4878/75$ و 4950 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نمونه‌های آنالیز شده TSP نسبت به نمونه‌های PM_{10} غلظت بسیار پایین‌تری نشان می‌دهند.

در این نمونه‌ها مقادیر روی از $48/4$ تا 609 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان این عنصر در نمونه‌های برداشت شده از جنوب هندیجان و اهواز گزارش شده است. در رابطه با نیکل نیز غلظت این عنصر در نمونه‌های PM_{10} از $5/8$ تا $43/2$ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر می‌باشد. میانگین و میانه غلظت نیکل در نمونه‌های PM_{10} ، به ترتیب $23/63$ و $24/8$ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان نیکل در نمونه‌های TSP به ترتیب متعلق به اهواز و هندیجان است (جدول ۱). میانگین و میانه غلظت این فلز برابر $70/61$ و 71 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. مقادیر به نسبت پایین‌تر نیکل در نمونه‌های آنالیز شده از فیلتر دستگاه PM_{10} می‌تواند نشان دهنده جذب کم‌تر این فلز توسط ذرات غبار با قطر 10 میکرون باشد که این امر نگرانی‌ها در رابطه با افزایش عوارض بهداشتی و بیماری‌زایی عنصر نیکل در جوامع غبارپذیر از جمله خوزستان را کاهش می‌دهد؛ زیرا نمونه‌های TSP قدرت نفوذ کم‌تری به مجاری ریوی و سامانه زیستی انسان دارد. به

جدول (۱) غلظت فلزات سنگین نمونه‌های گرد و غبار PM₁₀ و TSP
 Table (1) Concentration of heavy metals in PM₁₀ and TSP dust samples

Zn Zinc	Pb Lead	Cd Cadmium	As Arsenic	Ni Nickel	Co Cobalt	V Vanadium	مکان نمونه برداری Sample location	کد نمونه Sample No.
ppm (mg/Kg)								PM ₁₀₋₄₋₁
4710	7.71	0.16	14.2	20.5	1.9	13		
4670	5.68	0.1	11.6	12.5	1.4	11		PM ₁₀₋₄
4750	7.8	0.18	10.3	42.3	4.7	25		PM ₁₀₋₁₋₁
> 5000	5.93	0.06	13.3	5.8	0.6	5	اداره حفاظت محیط زیست* (Departement Of Environment)	PM ₁₀₋₅
> 5000	5.56	0.09	13.1	13.7	1.2	7		PM ₁₀₋₂
4900	9.35	0.14	11.5	29.1	3.3	16		PM ₁₀₋₃
> 5000	9.23	0.13	11.8	29.7	3.3	17		PM ₁₀₋₃₋₁
> 5000	8.7	0.16	10.2	35.5	4	21		PM ₁₀₋₁
78	197	0.25	3.8	71.8	8.6	47	کوی ملت (فاز ۳)* (Coy) Mellat	T ₁
78.5	11.1	0.34	3.5	70.8	8.9	54	کوی انقلاب* (Coy) Enghelab)	T ₂
59	9.22	0.33	4.3	71.4	8.6	50	کیان آباد* (Kian - Abad)	T ₃
69.1	9.32	0.32	3.7	74.1	9	47	زیتون کارمندی* (Zeytun Karmandi)	T ₄
57.7	8.55	0.35	3.5	76.8	9.4	56	کیانپارس* (KianPars)	T ₅
56.9	8.11	0.32	3.4	74.6	9.1	47	کوی استادان* (Coy) Ostadan)	T ₆
76.7	12.7	0.34	3.7	61.5	7.2	41	کوی فرهنگیان** (Coy) Farhangian)	T ₇
78.6	30.5	0.36	4.6	57	6.5	36	کعباد** (Kahbad)	T ₈
48.9	8.29	0.39	3.6	59.4	6.7	35	جنوب شهر** (South City)	T ₉
48.4	8.5	0.36	3.1	59.2	6.8	35	جنوب شهر** (South City)	T ₉₋₁
52.2	8.99	0.4	3.3	59.4	6.8	34	جنوب شهر** (South City)	T ₉₋₂
65.9	10.8	0.28	4.3	71.3	8.9	42	فرهنگیان*** Farhangian)	T ₁₀
70.7	11.2	0.44	3.9	82.9	10.4	52	کوی انقلاب* (Coy) Enghelab)	T ₁₁
70.1	10.5	0.4	3.8	81.9	10.5	50	کوی انقلاب* (Coy) Enghelab)	T ₁₁₋₁
67.7	10.5	0.4	2.7	78	9.8	49	کوی انقلاب* (Coy) Enghelab)	T ₁₁₋₂
429	23.8	0.33	4.9	70.6	11.4	76	کوی ملت (فاز ۳)* (Coy) Mellat	T ₁₂
609	31.2	0.35	4.8	69.7	11.3	76	کوی ملت (فاز ۳)* (Coy) Mellat	T ₁₂₋₁
107	19	0.38	5.7	75	9.9	92	کیان آباد* (Kian - Abad)	T ₁₃
174	27.8	0.46	4.7	76.2	10.9	93	کوی انقلاب* (Coy) Enghelab)	T ₁₄
158	26.5	0.59	4.4	68.1	9.8	82	کوی انقلاب* (Coy) Enghelab)	T ₁₄₋₁

زراسوندی و همکاران: ترکیب عنصری و شاخص‌های زمین‌زیست‌محیطی...

219	40.3	0.77	4.7	78.5	10.9	126	کوی انقلاب* (Coy Enghelab)	T ₁₅
201	36.7	0.6	4.6	68.1	9.4	84	کوی انقلاب* (Coy Enghelab)	T ₁₆
66.1	19.8	0.3	3.4	63.7	7.4	38	هندیجان** (Hendijan)	T ₁₇
72.8	28.7	0.33	4.3	68.6	8	41	هندیجان** (Hendijan)	T ₁₇₋₁
93.3	31.2	0.35	3.8	64	7.4	38	هندیجان** (Hendijan)	T ₁₇₋₂
62.7	9.27	0.33	3.9	74.4	8.8	46	هندیجان** (Hendijan)	T ₁₈
60.1	10.5	0.4	3.3	67.4	7.9	40	هندیجان** (Hendijan)	T ₁₈₋₁
66.6	10.8	0.35	3.8	71.2	8.4	43	هندیجان** (Hendijan)	T ₁₈₋₂
55.3	8.16	0.32	3.5	68.4	8.4	45	گلستان* (Golestan)	T ₁₉
87.7	9.94	0.34	3.9	80.8	9.7	50	گلستان* (Golestan)	T ₂₀
339	39.4	0.51	5.1	85.7	10.4	61	گلستان* (Golestan)	T ₂₁
134	19.2	0.3	3.6	59.3	8.1	94	باهنر* (Bahonar)	T ₂₂

T: TSP (Total Suspended Particles)

*اهواز (Ahvaz)، **هندیجان (Hendijan)، ***بهبهان (Behbahan)

PM₁₀: (Particulate Matter 10 Micrometers)

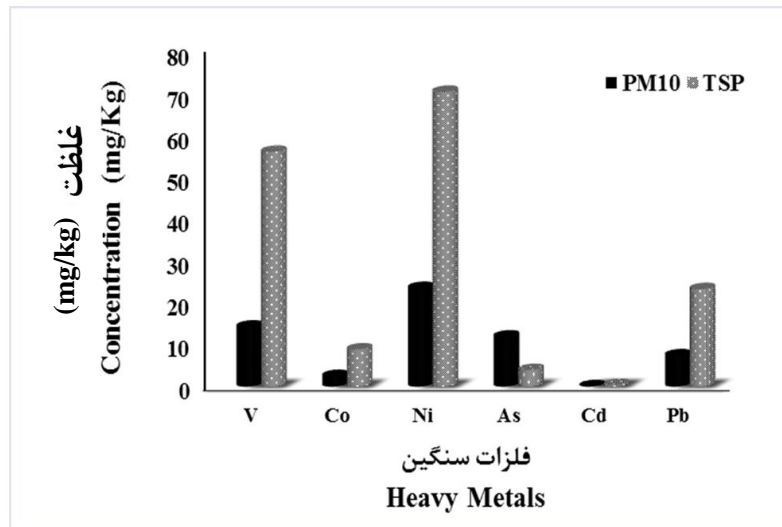
غباری را دو چندان می‌نماید. براساس اهمیت بررسی اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین در این مطالعه با توجه به داده‌های به‌دست آمده، شاخص‌های زیست‌محیطی این فلزات نیز بررسی شد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که فاکتور آلودگی وانادیوم در نمونه گرد و غبار مربوط به نمونه (T₁₅) و تمام نمونه‌های رسوب آلودگی متوسط را نشان می‌دهد؛ سایر نمونه‌ها نیز آلودگی کمی دارند. آلودگی فلز روی در تمام نمونه‌های PM₁₀ و برخی نمونه‌های TSP بسیار بالا است؛ در حالی که ۶ نمونه دیگر TSP آلودگی بالا را شامل می‌شوند و ۱۲ نمونه گرد و غبار آلودگی متوسط و سایر نمونه‌ها آلودگی کمی را نشان می‌دهند. آلودگی نیکل در تمام نمونه‌های TSP متوسط و در نمونه‌های PM₁₀ کم است. آرسنیک نیز در میان تمام نمونه‌های PM₁₀ همراه با آلودگی متوسط می‌باشد؛ ضمن این که تمام نمونه‌های گرد و غبار به‌جز ۴ نمونه (T₁₂، T₁₂₋₁، T₁₃، T₂₁) نیز دارای آلودگی کمی هستند. برای کادمیوم نمونه‌های گرد و غبار T₁₅، T₁₆ و T₁₄₋₁ آلودگی بسیار بالا و سایر نمونه‌ها آلودگی متوسط را نشان می‌دهند.

آلودگی تمام نمونه‌های PM₁₀ و گرد و غبار برای کبالت کم است (شکل ۴). روند کاهش میزان فاکتور آلودگی عناصر مورد مطالعه از چپ به راست به شرح زیر است: سرب > روی > کادمیوم > آرسنیک > نیکل > کبالت > وانادیوم. براساس مقادیر به‌دست آمده

در نهایت، پایین‌ترین سطوح غلظت مربوط به عنصر کادمیوم است. در تمامی نمونه‌ها شامل TSP و PM₁₀ میزان این فلز کم‌تر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. میانگین غلظت این عنصر در نمونه‌های PM₁₀ ۰/۱۲ و در نمونه‌های TSP برابر ۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. به‌طور کلی می‌توان گفت که از میان فلزات سنگین بررسی شده در نمونه‌های PM₁₀ بیش‌ترین مقدار به فلز روی اختصاص دارد؛ پس از آن نیکل و وانادیوم در غلظت‌های کم‌تری در این نمونه‌ها وجود دارند. شایان ذکر است این عناصر دارای بیش‌ترین میزان تغییرات در نمونه‌های PM₁₀ نیز می‌باشند. در نمونه‌های PM₁₀ آرسنیک، سرب، کبالت و کادمیوم به ترتیب کم‌ترین میزان غلظت را نشان می‌دهند (شکل ۳). هم‌چنین نتایج آنالیز نمونه‌های TSP نشان می‌دهد عناصر، وانادیوم، نیکل و روی دارای بیش‌ترین فراوانی می‌باشند. علاوه بر این، سرب در تعدادی از نمونه‌های TSP متعلق به اهواز، دارای روند غنی‌شدگی هستند. نمونه‌های PM₁₀، نسبت به نمونه‌های TSP گرد و غبار، دارای میانگین عناصر کم‌تری هستند؛ برای نمونه، فراوانی عناصری نظیر وانادیم، کبالت و نیکل در ذرات TSP با نمونه‌های PM₁₀ متفاوتند. در مقابل، میانگین پراکنش فلزات سنگینی مانند آرسنیک در نمونه‌های PM₁₀ نسبت به TSP دارای مقادیر بالاتری بوده که این موضوع نگرانی زیست‌محیطی در مورد نقش این ذرات

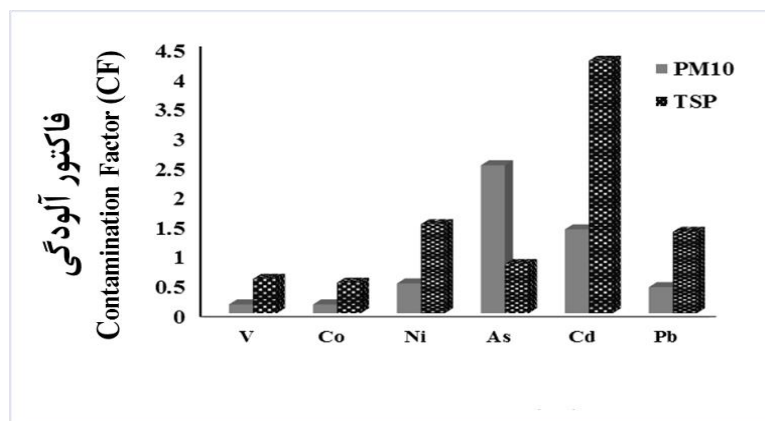
نمونه‌های مورد مطالعه از روند زیر تبعیت می‌کند:
 $PM_{10} > TSP$

در محاسبات مربوط به درجه آلودگی در مورد نمونه‌های گرد و غبار با اندازه‌های مختلف، مشخص گردید که تمامی نمونه‌های مورد مطالعه دارای آلودگی بسیار بالا می‌باشند. نمونه‌های PM_{10} نسبت به گرد و غبار با اندازه TSP، درجه آلودگی بالاتری را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵). در نهایت، میانگین درجه آلودگی در



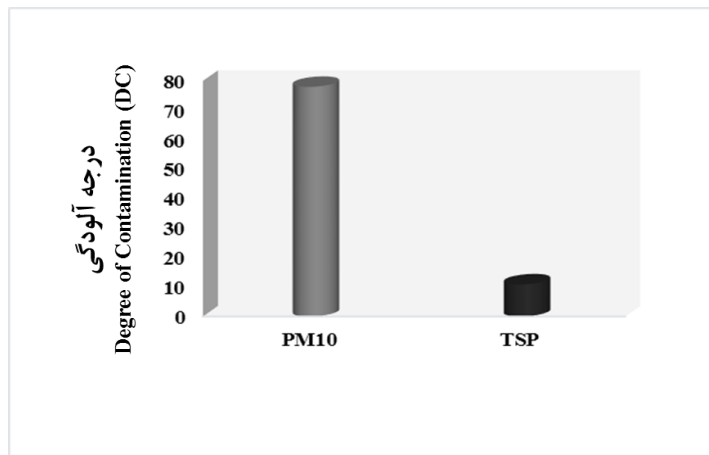
شکل (۳) مقایسه میانگین فراوانی فلزات سنگین در اندازه‌های مختلف گرد و غبار (PM_{10} و TSP)

Figure (3) Comparison of the average concentration of heavy metals in dusts with different sizes (PM_{10} and TSP)



شکل (۴) نمودارهای مقایسه ای میانگین فاکتور آلودگی عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه

Figure (4) Comparison charts of the pollution factor (in average) in the studied samples



شکل (۵) نمودارهای مقایسه‌ای میانگین درجه آلودگی عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه
Figure (5) Comparison charts of the pollution degree (in average) in the studied samples

دارای غنی‌شدگی کمی هستند. دیگر نمونه‌های غنی-شدگی کمی را شامل می‌شوند.

برای نیکل بالاترین غنی‌شدگی در کل نمونه‌های گرد و غبار و کم‌ترین غنی‌شدگی در تمام نمونه‌های رسوب و نمونه‌های PM_{10-5} ، PM_{10-2} ، PM_{10-4} مشاهده می‌شود. نیکل عمدتاً منشأ صنعتی دارد (۳).

فاکتور غنی‌شدگی کبالت در PM_{10} کم و در کل نمونه‌های گرد و غبار متوسط ارزیابی می‌شود. بالاترین غنی‌شدگی آرسنیک در نمونه‌های PM_{10} مشاهده می‌شود. میزان بالای آرسنیک ممکن است ناشی از صنایع متالورژی در منطقه باشد که بوسیله باد منتقل شده‌اند. توزیع آرسنیک در محیط شهری به علت احتراق سوخت‌های فسیلی، فعالیت‌های صنعتی، استفاده گسترده از رنگدانه‌ها، آفت‌کش‌ها و دیگر فعالیت‌های انسانی گزارش شده است. علاوه بر این، گزارش شده است که بنزین حاوی ng/g^{-1} ۳۰ تا ۱۲۰ آرسنیک می‌باشد (۴).

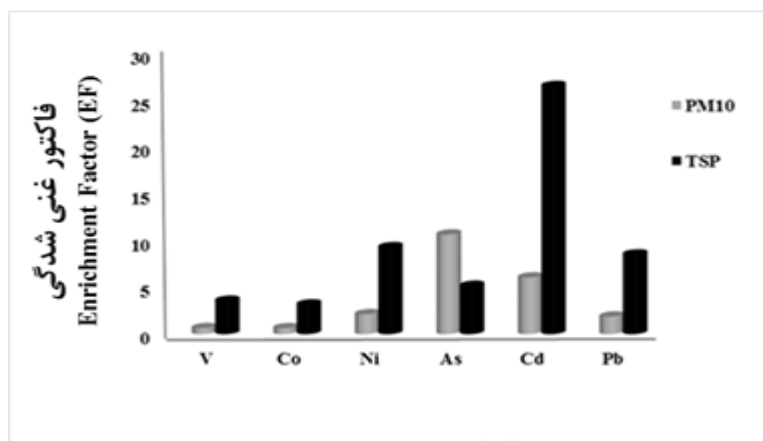
میانگین فاکتور غنی‌شدگی کادمیوم نیز در نمونه‌های گرد و غبار بالاتر از نمونه‌های PM_{10} است. نمونه‌های گرد و غبار T_{16} ، T_{15} دارای غنی‌شدگی به‌شدت زیاد این عنصر می‌باشند. نمونه‌های PM_{10} در دو نمونه (PM_{10-2} ، PM_{10-5}) غنی‌شدگی کادمیوم متوسط و سایر نمونه آن‌ها میزان غنی‌شدگی زیاد را به خود اختصاص داده است. روی نیز در نمونه‌های PM_{10} غنی‌شدگی به

افزون بر این موارد، یکی دیگر از روش‌های ارزیابی خطرات ناشی از ناهنجاری عنصری، محاسبه فاکتور غنی‌شدگی (EF) یک عنصر در رسوب، خاک و یا گرد و غبار است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت که سرب، روی و وانادیم احتمالاً ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده و یا حداقل ضریب خطر بالایی برای سلامتی انسان‌های در تماس با این غبارها خواهند بود. منشأ اصلی سرب نیز، ممکن است به طور مستقیم مرتبط با انتشار از تردد وسایل نقلیه باشد. صنایع نمی‌توانند سهم عمده‌ای در سطح سرب در گرد و غبار داشته باشند ولی اتومبیل‌ها سهم عمده را دارند (۲۸). با توجه به داده‌های به‌دست آمده، سرب در نمونه گرد و غبار (TSP) T_1 به‌شدت زیاد و نمونه‌های T_7 ، T_{16} ، T_8 ، T_{15} ، T_{17-2} ، T_{15} ، T_{17-1} ، T_{21} ، T_{14-1} ، T_{22} ، T_{17} ، T_{12-1} ، T_{14} ، T_{12} ، T_{13} نیز غنی‌شدگی زیادی را نشان دادند؛ سایر نمونه‌های (TSP) و نمونه‌های PM_{10-4-1} ، PM_{10-1} ، PM_{10-3-1} ، PM_{10-1} دارای غنی‌شدگی متوسط می‌باشند. دیگر نمونه‌های PM_{10} دارای غنی‌شدگی کمی هستند.

فاکتور غنی‌شدگی وانادیم در نمونه‌های گرد و غبار T_{22} ، T_{15} ، T_{16} ، T_{13} ، T_{14} ، T_{14-1} زیاد و سایر نمونه‌های گرد و غبار نیز همراه با غنی‌شدگی متوسط می‌باشند؛ ضمن آن‌که تمام نمونه‌های رسوب و PM_{10}

آلودگی کم، آرسنیک در رده ۳، آلودگی متوسط و عنصر روی در رده ۴، آلودگی شدید قرار دارد. در نمونه‌های گرد و غبار (TSP) نیز، شاخص آلودگی یکپارچه محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد که عناصر وانادیوم، کبالت، آرسنیک در رده ۱ یعنی غیر آلوده، عناصر سرب، نیکل، روی آلودگی کم و تنها عنصر کادمیوم آلودگی شدید نشان می‌دهد. از طرفی پراکنش شاخص‌های زیست محیطی بر اساس منشأ در نمونه‌های گرد و غبار (PM₁₀, TSP) نیز مورد بررسی قرار گرفت. میزان فاکتور آلودگی در نمونه‌های TSP با منشأ مشترک در ۴ عنصر وانادیوم، کبالت، سرب، کادمیوم مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. همچنین در نمونه‌های PM₁₀ با منشأ خارجی در رابطه با عنصر نیکل، نمودارها مقادیر بالایی از آلودگی را نشان می‌دهد (شکل ۷).

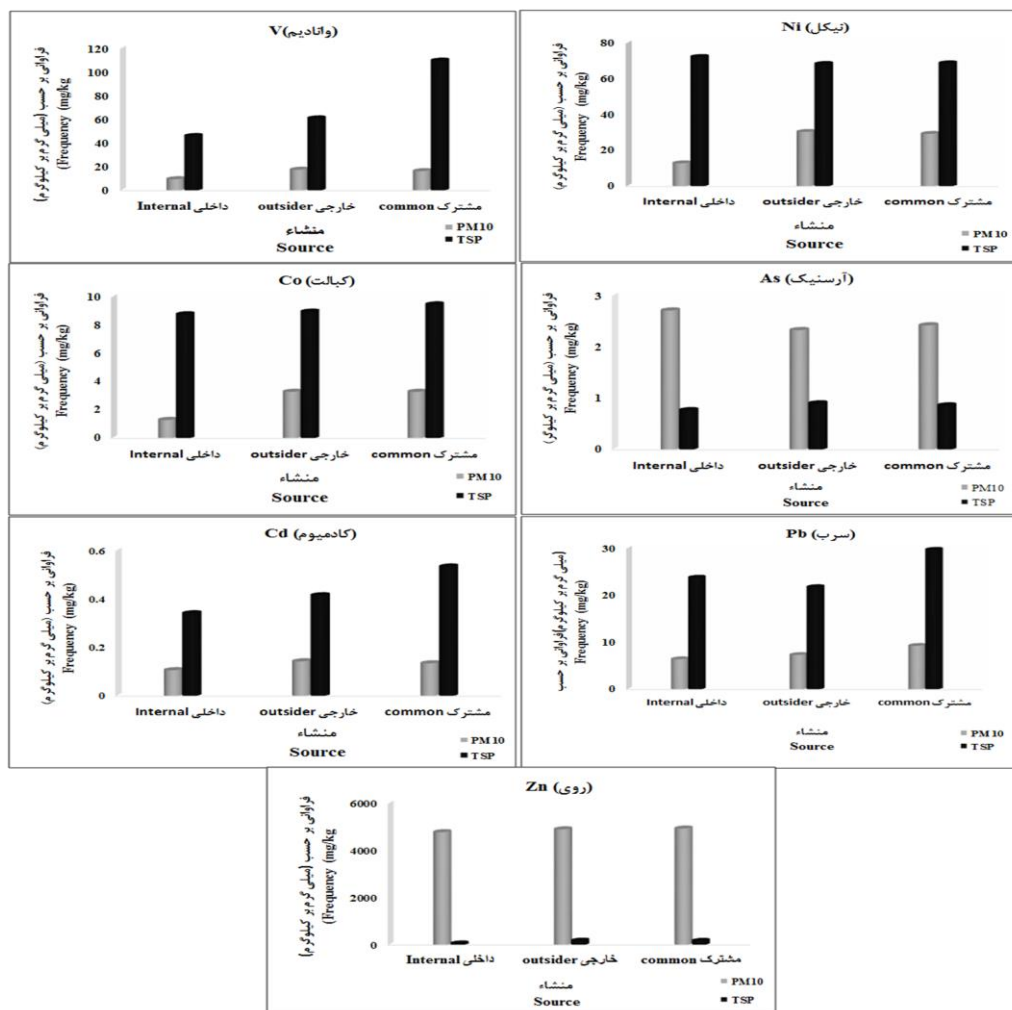
شدت زیاد را نشان می‌دهد. فاکتور غنی‌شدگی روی در نمونه گرد و غبار T₁₂₋₁ به شدت زیاد و در نمونه‌های T₁₂، T₂₁، T₁₆ این میزان خیلی زیاد می‌باشد. روی به طور عمده از اتومبیل‌ها مانند روغن‌های روان کننده و لاستیک منشا می‌گیرد. هم‌چنین روی به عنوان یک عامل جوش دهنده برقی در لاستیک خودرو استفاده می‌شود (۷). در بین فلزات بررسی شده بیش‌ترین مقدار غنی‌شدگی به ترتیب به فلز سرب (۱۸/۶۰۲)، روی (۹/۰۳۸) با آلودگی قابل توجه تعلق دارد که هر دو مربوط به نمونه گرد و غبار شهر اهواز می‌باشند. در کل روند غنی‌شدگی فلزات به صورت زیر از چپ به راست کاهش می‌یابد (شکل ۶): کادمیوم > روی > نیکل > سرب > آرسنیک > وانادیوم > کبالت هم‌چنین براساس مطالعات انجام شده، شاخص آلودگی یکپارچه، در نمونه‌های PM₁₀ برای عناصر سرب، نیکل، وانادیم و کبالت در رده غیرآلوده، برای کادمیوم در رده ۲ یعنی



شکل (۶) نمودارهای میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه

Figure (6) Comparison charts of the Enrichment Factors (EF) (in average) in the studied samples

زراسوندی و همکاران: ترکیب عنصری و شاخص های زمین زیست محیطی...



شکل (۷) نمودارهای مقایسه‌ای میانگین فراوانی عناصر در نمونه های گرد و غبار با منشأهای مختلف
 Figure (7) Comparative diagrams for average abundance of elements in samples of dust with various origins

نمونه‌های TSP بالاتر از PM₁₀ می باشد که این امر مبین این موضوع است که این میزان می تواند متأثر از دانه بندی باشد. میزان عناصر در نمونه های TSP با منشأ مشترک در ۴ عنصر (وانادیوم، کبالت، سرب، کادمیوم) مقادیر بالایی را آشکار می سازد. همچنین در نمونه های PM₁₀ با منشأ خارجی در عناصر نیکل، کبالت، کادمیوم نمودارها مقادیر بالایی را نشان می دهند. در میان عناصر بررسی شده، آرسنیک در نمونه های PM₁₀ با منشأ داخلی میزان بالایی دارد. افزون بر این، میانگین عناصر مورد بررسی در گرد و غبارهای با منشأ داخلی، خارجی و مشترک براساس فصول سرد و گرم نیز بررسی شدند. لازم به ذکر است که این نمودارها در نمونه های گرد و غبار (TSP) ترسیم شده

بررسی درجه آلودگی نیز در نمونه های گرد و غبار (PM₁₀, TSP) نشان داد که میزان این شاخص در نمونه های PM₁₀ بیش از نمونه های TSP است که در این بین میزان درجه آلودگی در نمونه های PM₁₀ در سه منشأ به یک نسبت دیده می شود. در نمونه های TSP درجه آلودگی در نمونه های با منشأ مشترک تا حدی از مقادیر در دو منشأ دیگر بالاتر است.

به همین صورت، میانگین فراوانی برخی از عناصر مهم در گرد و غبارهای مناطق مختلف استان خوزستان (PM₁₀, TSP) با منشأ داخلی، خارجی و مشترک در (شکل ۷) آورده شده است. بر اساس این داده ها، مقادیر عناصر وانادیوم، نیکل، کبالت، کادمیوم، سرب در

که در داخل و خارج کشور انجام گرفته، نشان می‌دهد که به‌طور کلی میزان غلظت این عنصر در گرد و غبار بالاست. با مقایسه میزان غلظت این عنصر در گرد و غبار استان خوزستان (مطالعه حاضر) و دیگر شهرهای ایران، مانند سنندج، کرمانشاه، خرم‌آباد و اندیمشک، مشخص می‌شود که میزان غلظت این عنصر در گرد و غبار خوزستان بسیار بیش‌تر از این شهرهاست. غلظت نیکل در گرد و غبارهای با منشأ داخلی در استان خوزستان کم‌تر از غلظت این عنصر در شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک است. با این حال، غلظت نیکل در گرد و غبار شهر کرمانشاه به‌مراتب کم‌تر از میزان آن در گرد و غبار خوزستان است. میزان غلظت آرسنیک در گرد و غبار خوزستان کم‌تر از شهرهای سنندج و خرم‌آباد می‌باشد؛ ولی غلظت این عنصر برای شهر کرمانشاه بسیار کم‌تر از مطالعه کنونی است.

است. میزان عناصر وانادیم، کبالت و آرسنیک در فصل گرم به نسبت فصل سرد بالاتر است. مقادیر این عناصر در فصل گرم در نمونه‌های با منشأ مشترک، به نسبت دو منشأ دیگر قابل توجه است. در بین عناصر بررسی شده مقدار سرب در فصل سرد سال بالاتر است. این عنصر در نمونه‌های با منشأ داخلی بالاتر از دو منشأ دیگر (خارجی و مشترک) دیده می‌شود که علت این امر را می‌توان متأثر از شرایط آب و هوایی این فصل (وارونگی دما) و تردد وسایل نقلیه دانست.

در ادامه نیز، به منظور دستیابی به درک و شناخت صحیح از ترکیب عنصری، به ویژه فراوانی فلزات سنگین در گرد و غبارهای خوزستان، فراوانی برخی از عناصر مهم در نمونه‌های مورد آنالیز با داده‌های گردآوری شده از سایر مناطق ایران و جهان مقایسه گردید (جدول ۲). میزان غلظت عنصر روی، در مقایسه بین مطالعه حاضر با دیگر مطالعه‌ها

جدول (۲) مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین گرد و غبار اهواز و سایر نواحی (نمونه‌گیری از ذرات PM_{10} انجام شده است)

Table (2) Comparison between average concentration of heavy metals in Ahvaz and other areas (sample taken from PM_{10} particulates)

Zn Zinc	Pb lead	Cd cadmium	As Arsenic	Ni Nickel	Co Cobalt	V Vanadium	
ppm (mg/kg)							
4480	7.5	0.13	12	23.6	2.55	14.4	مطالعه حاضر (this study)
210	-	-	15.15	43.42	-	-	سنندج(۲۵) Sanandaj (25)
160	-	-	12.61	34.57	-	-	خرم‌آباد(۲۵) Khorramababd(25)
170	-	-	11.68	33.81	-	-	اندیمشک(۲۵) Andimeshk (25)
-	42.32	1.88	3.51	-	-	-	کرمانشاه(۲۳) Kermanshah (23)
-	4.8	2.5	-	-	2.9	-	انبار عراق(۱) Alanbar of Iraq (1)
3.9	1.86	0.06	-	-	-	-	غرب هندوستان(۲۰) Western India (20)
235	22.33	4.53	3.30	-	-	-	اسیوط مصر(۲۱) Asbot of Egypt (21)
1015	469	9	-	-	17	-	تایپه تایوان(۱۰) Taiwan (10)
0.5	1.1	-	-	0.2	-	-	آگرا هندوستان(۲) Agra in India (2)
348	117	4.4	-	13	0.5	-	اصفهان(۲۷) Isfahan(27)
71	20	98	1.5	20	10	60	UCC*(۲۹)

*UCC: Upper Continental Crust

در گام آخر، به منظور نشان دادن همبستگی و شباهت رفتاری موجود بین عوامل مختلف از ضریب همبستگی استفاده شد. با توجه به جدول ۳، وانادیم همبستگی خیلی بالایی (۰/۹) با کبالت، نیکل، کادمیوم و سرب و همین‌طور کبالت همبستگی بالایی (۰/۹۹) با نیکل دارد. این نتایج نشان می‌دهد که فلزات کبالت، وانادیوم، نیکل، کادمیوم در نمونه‌های گرد و غبار (PM_{10}) دارای منشأ مشترک هستند. همین‌طور سرب و کادمیوم با یکدیگر همبستگی (۰/۷) قابل توجهی نشان می‌دهند. عنصر روی با اکثر عناصر همبستگی خیلی ضعیف و منفی دارد که نشان دهنده منشأ متفاوت آن با سایر عناصر موجود در نمونه‌های گرد و غبار (PM_{10}) است. همچنین با توجه به جدول ۴، در بین فلزات سنگین نمونه‌های TSP وانادیم همبستگی بالایی با کبالت، نیکل و کادمیوم دارد. این نتایج نشان می‌دهد که عناصر کبالت، وانادیم، نیکل، کادمیوم در نمونه‌های گرد و غبار دارای منشأ مشترک احتمالی هستند.

هم‌چنین مقدار غلظت آرسنیک برای شهرهای اندیمشک و خوزستان تقریباً برابر است. مقایسه‌ی غلظت روی در مطالعه حاضر، با مطالعات انجام گرفته در خارج از کشور نشان می‌دهد که غلظت عنصر روی در خوزستان بسیار بیش‌تر است. لازم به ذکر است که میزان غلظت عنصر روی در تمامی مطالعات زیاد بوده و در اکثر موارد غلظت آن در گرد و غبارهای آنالیز شده در این مطالعه نیز، بالاست. مقایسه غلظت عنصر کادمیم در گرد و غبار داخلی خوزستان با مطالعات انجام شده در خارج از کشور نشان می‌دهد که این عنصر در گرد و غبار شهرهای تایپه تایوان، اسیوط مصر و الانبار عراق بسیار بیش‌تر از مطالعه حاضر است. هم‌چنین غلظت سرب در مقایسه با غلظت آن در شهرتایپه تایوان بسیار بیش‌تر از خوزستان است. مقدار این عنصر برای شهرهای انبار عراق، اسیوط مصر و غرب هندوستان نزدیک به مقدار این عنصر در گرد و غبار محلی مورد مطالعه است.

جدول (۳) مقادیر ضریب همبستگی پیرسون عناصر با یکدیگر در نمونه‌های گرد و غبار (PM_{10})Table (3) Pearson's correlation coefficient of elements in dust samples (PM_{10})

Correlation

همبستگی

	Zn (Zinc)	Cd (Cadmium)	Pb (Lead)	As (Arsenic)	Ni (Nickel)	Co (Cobalt)	V (Vanadium)
V							1
Co						1	0.981
Ni					1	0.994	0.979
As				1	-0.744	-0.798	-0.785
Pb			1	-0.437	0.771	0.778	0.713
Cd		1	0.700	-0.490	0.896	0.861	0.904
Zn		-0.350	0.174	-0.023	-0.045	-0.026	-0.186

جدول (۴) مقادیر ضریب همبستگی پیرسون عناصر در نمونه های گرد و غبار (TSP)
Table (4) Pearson correlation coefficient of elements in the dust samples (TSP)

Correlation همبستگی							
	V(Vanadium)	Co(Cobalt)	Ni(Nickel)	As(Arsenic)	Pb(Lead)	Cd(Cadmium)	Zn(Zinc)
V	1						
Co	0.742	1					
Ni	0.372	0.789	1				
As	0.608	0.508	0.255	1			
Pb	0.390	0.216	0.019	0.496	1		
Cd	0.538	0.378	0.262	0.343	0.172	1	
Zn	0.724	0.672	0.223	0.692	0.564	0.406	1

در نمونه های PM_{10} برای آرسنیک در رده آلودگی متوسط و روی در آلودگی شدید قرار دارد. در نمونه های TSP نیز، تنها عنصر کادمیوم آلودگی شدید نشان می دهد.

بر اساس بررسی پراکنش و فراوانی عناصر مختلف در دانه بندی های مختلف گرد و غبار، می توان بیان نمود که عناصر V, Ni, Co, Cd, Pb همبستگی بالاتری با ذرات TSP و آرسنیک نیز، همبستگی بیش تری با ذرات PM_{10} دارد.

افزایش غلظت سرب در گرد و غبارهای رخ داده در فصول سرد به همراه پدیده وارونگی در زمستان، احتمال شیوع عوارض زیستی آلایندگی سرب، به ویژه سرطان را افزایش می دهد. میزان عناصر وانادیوم، کبالت و آرسنیک در فصل گرم به نسبت فصل سرد بالاتر می باشد.

بر اساس محاسبه ضریب همبستگی پیرسون، فلزات Co, V, Ni, Cd در نمونه های PM_{10} ، دارای منشأ مشترک احتمالی هستند. همین طور سرب و کادمیوم با یکدیگر همبستگی (۰/۷) قابل توجهی نشان می دهند که این موضوع نشانگر همبستگی بالای این دو عنصر با یکدیگر است. در نمونه های TSP نیز نتایج نشان

نتیجه گیری

در نمونه های PM_{10} بیشترین مقدار به فلز روی اختصاص دارد؛ پس از آن نیکل، وانادیوم و مس در غلظت های کمتری در این نمونه ها وجود دارند. همچنین در نمونه های TSP عناصر وانادیوم، نیکل و روی دارای بیشترین فراوانی می باشند. با عنایت به نفوذ آسان تر ذرات با قطر آبرودینامیکی کوچکتر به مجاری تنفسی و بدن انسان، فراوانی بالای عناصر آرسنیک و روی در نمونه های PM_{10} نسبت به TSP، موجبات نگرانی زیست محیطی در مورد نقش این ذرات غباری را دوچندان می نماید.

بررسی شاخص های زمین زیست محیطی نظیر درجه آلودگی (DC)، نشان دهنده بالاتر بودن میزان آلایندگی ذرات PM_{10} نسبت به TSP و افزایش عوارض بهداشتی احتمالی گرد و غبار در خوزستان است. همچنین با توجه به تعیین میزان فاکتور آلودگی (CF) و شاخص غنی شدگی (EF)، می توان عناصر سرب، روی، کادمیوم، نیکل و آرسنیک را در اولویت نگرانی های بهداشتی-زیست محیطی ناشی از بروز رخدادهای غباری در خوزستان قرار داد. شاخص آلودگی یکپارچه (IPI)

راستای انجام پژوهش مذکور قدردانی نمایند. همچنین از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز و اداره کل هواشناسی استان خوزستان، قدردانی به عمل می‌آید.

می‌دهد که عناصر Co, V, Ni, Cd در نمونه‌های گرد و غبار دارای منشأ مشترک هستند.

سیاس‌گذاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت مالی و معنوی سازمان حفاظت محیط‌زیست استان خوزستان در

منابع

1. AbdUIRahman, I.Q., Kusag, A.D., and Haseein, A.T. 2013. Measuring the concentrations of some heavy elements indoor and outdoor during dust storms in Anbar province in Iraq. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3: 578-582.
2. Aditi Kulshrestha, P., Satsangi, G., Masih, J., and Taneja, A. 2009. Metal concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particles and seasonal variations in urban and rural environment of Agra, India. *Science of the Total Environment*, 407: 6196-6204.
3. Ahmed, F., and Ishiga, H. 2006. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment*, 40: 3835-3844.
4. Balakrishna, G., Pervez, S., and Bisht, D.S. 2011. Source apportionment of arsenic in atmospheric dust fall out in an urban residential area, Raipur, Central India. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11: 5141-5151.
5. Crosbie, E., Sorooshian, A., Monfared, N.A., Shingler, T., and Esmaili, O. 2014. A multiyear aerosol characterization for the greater Tehran area using satellite, surface, and modeling data. *Atmosphere*, 5: 178-197.
6. Engelstaedter, S., Kohfeld, K.E., Tegen, I., and Harrisonand, S. P. 2003. Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions: an evaluation using dust storm frequency data. *Geophysical Research Letters*, 30: 1294.
7. Fazeli, M. S., Moosavi, M.H., Pournia, M., and Zergani, Z. J. 2009. Metals Distribution in Topsoils around Industrial Town of Ahwaz, Iran. *Journal of Applied Sciences*, 9: 1121-1127.
8. Fiori, C.D.S., Rodrigues A.P.D.C., Santelli, R.E., Cordeiro, R.C., Carvalheira, R. G., Araujo, P.C., Castilhos, Z.C., and Bidone, E.D. 2013. Ecological risk index for aquatic pollution control: a case study of coastal water bodies from the Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Geochemical Brasiliensis*, 27: 24-36.
9. Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T.E., Hsu, N.C., and Zhao, M. 2012. Global scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50:1-36
10. Hsu, S.C., Liu, S.C., Lin, C.Y., Hsu, R.T., Huang, Y.T., and Chen, Y.W. 2004. Metal Compositions of PM₁₀ and PM_{2.5} Aerosols in Taipei during spring, 2002. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15: 925-948.

11. Indoitu, R., Orlovsky, L., Orlovsky, N. 2012. Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations. *Journal of Arid Environments*, 85: 62-70.
12. Jickells, T.D., An, Z.S., Andersen, K.K., Baker, A.R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J.J., Boyd, P.W., Duce, R.A., Hunter, K.A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J., Liss, P. S., Mahowald, N., Prospero, J.M., Ridgwell, A.J., Tegen, I., and Torres, R. 2005. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science*, 308: 67–71.
13. Krasnov, H., Katra, I., Friger, M. 2016. Increase in dust storm related PM10 concentrations: A time series analysis of 2001-2015. *Environmental Pollution*, 213: 36-42.
14. Kumar, S., Kumar, S., Kaskaoutis, D.G., Singh, R.P., Singh, R.K., Mishra, A. K., Srivastava, M.K., and Singh, A.K. 2015. Meteorological, atmospheric and climatic perturbations during major dust storms over Indo-Gangetic Basin *Aeolian Research* 17: 15–31.
15. Lee, H., Honda, Y., Li, Y.H., Guo, Y.L., Hashizume, M., and Kim, H. 2014. Effect of Asian dust storms on mortality in three Asian cities. *Atmospheric Environment*, 89: 309-317.
16. Lee, J.J., and Kim, C.H. 2012. Roles of surface wind, NDVI and snow cover in the recent changes in Asian dust storm occurrence frequency. *Atmospheric Environment*, 59: 366-375.
17. Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J., and Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*, 161: 1058-1062.
18. 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. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 744-749.
19. Maghrabi, A.H., and Al-Dosari, A. F. 2015. Effects on surface meteorological parameters and radiation levels of a heavy dust storm occurred in Central Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 182: 30–35.
20. Meena, M., Singh, B., Chandrawat, U. and Rani, A. 2014. Seasonal Variations and Sources of Heavy Metals in Free Fall Dust in an Industrial City of Western India. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 5: 160-166.
21. Mohamed, T.A., Mohamed, A.K.M., Rabeiy, R., and Ghandour, M.A. 2013. A Study of Heavy Metals in the Dust Fall around Assiut Fertilizer Plant. *Journal of Environmental Protection*, 4: 1488-1494.
22. Morton-Bermea, O., Hernández-Álvarez, E., Lozano, R., Guzmán-Morales, J., and Martínez, G. 2008. Spatial distribution of heavy metals in top soils around the industrial facilities of Cromatos de México, Tultitlan Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85:520–524.

23. Pirshaheb, M., Zinatizadeh, A., Khosravi, T., Atafar, Z., and Dezfulinezhad, S. 2014. Natural Airborne Dust and Heavy Metals: A Case Study for Kermanshah, Western Iran (2005–2011). *Iranian Journal of Public Health*, 43: 460–470.
24. Prospero, J., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, Sh., and Gill, T. 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40: 1-31.
25. Rajabi, M., and Souri, B. 2015. Evaluation of heavy metals among dust fall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 8: 2-11(in Persian with English abstract)
26. Reheis, M.C., Budahn, J.R., and Lamothe, P.J., 2002. Geochemical evidence for diversity of dust sources in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66: 1569-1587.
27. Talebi, S.M., and Ghanani, T. 2008. Level of PM₁₀ and its chemical composition in the Atmosphere of the city of Isfahan. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 5: 62-65.
28. Tamrakar, C.S., and Shakya, P.R. 2011. Assessment of heavy metals in street dust in Kathmandu Metropolitan City and their possible impacts on the environment. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 12: 32-41.
29. Taylor, S.T., and McLennan, S.M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33: 611- 627.
30. Ubwa, S.T., Abah, J., Ada, C.A., and Alechenu, E. 2013. Levels of some heavy metals contamination of street dust in the industrial and high traffic density areas of Jos Metropoli. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 3: 13-21.
31. Wang, R., Liua, B., Li, H., Zou, X., Wang, J., Liu, W., Cheng, H., Kang, L., and Zhang, C. 2017. Variation of strong dust storm events in Northern China during 1978–2007. *Atmospheric Research*, 183: 166–172.
32. Wang, Y.C., and Lin, Y.K. 2015. Mortality associated with particulate concentration and Asian dust storms in Metropolitan Taipei. *Atmospheric Environment*, 117: 32-40.
33. Wei, B., Jiang, F., Li, X., and Mu, S. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160: 33–45.
34. WMO. 2007. WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS).
35. Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., and Posmentier, E.S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, 355: 176-186.

36. Zarasvandi, A.R, Carranza, E.J.M., Moore, F., and Rastmanesh, F. 2011. Spatio - temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 111: 138-151.