ارزیابی آلودگی زیست‌محیطی و توزیع مکانی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز

فاطمه مرادیان[۱]، نوید قنواتی [۱*] و احد نظرپور[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۱)

چکیده

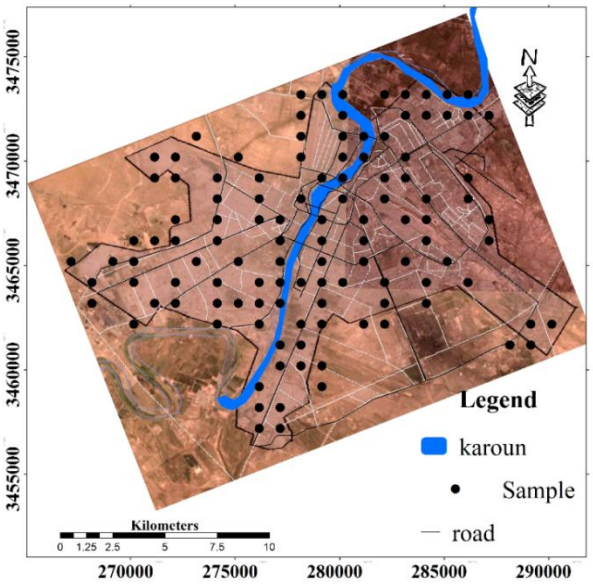
ریزگردها حاوی فلزات سنگین، نظیر سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و آرسنیک هستند، که می‌توانند اثرات مخربی بر سلامت انسان و محیط زیست وارد کنند. بررسی توزیع غلظت فلزات سنگین برای پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست امری لازم و ضروری است. برای ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر اهواز، تعداد ۱۱۵ نمونه گردوغبار از پیاده‌روهای خیابآنهای اصلی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین به‌روش جذب اتمی (AAS) آنالیز شدند. سطح آلودگی بر اساس فاکتور زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی برآورد شد. متوسط غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و آرسنیک به‌ترتیب : ۱۷۹/۶، ۱۵۰/۱، ۱۷۹/۷، ۱۰۱، ۵/۶ و ۱۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. ضریب همبستگی پیرسون نشان داد عناصر سرب، روی، مس و کروم دارای همبستگی معنی‌داری بوده که این ناشی از منابع انسان‌زاد در محیط است. از طرفی فلزات کادمیوم و آرسنیک همبستگی کمتری با دیگر فلزات از خود نشان دادند که ناشی از زمین‌زاد بودن این فلزات است. نتایج فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی و فاکتور زمین‌انباشتگی نشان داد سطح آلودگی فلزات سرب، روی، مس و کادمیوم در شهر اهواز بسیار بالا است و در مناطقی با تراکم جمعیت بالا، ترافیک سنگین و فعالیت‌های صنعتی، آلودگی شدیدی از نظر فلزات سنگین وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، غبارهای خیابانی، فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی، ریسک اکولوژیکی

۱. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ghanavati.navid2014@gmail.com

مقدمه

در چند دهۀ گذشته توجه بسیار زیادی به فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شده است. غلظت‌های بالای عناصر سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و غیره به‌عنوان یک خطر جدی برای سلامت انسان و حیات اکوسیستم زمین به‌شمار می‌آید (۲۵). بنابراین ارزیابی کیفیت غبارهای خیابانی به‌عنوان یکی از منابع آلودگی مورد توجه قرار گرفته است (۱). به ماده جامد مرکب از خاک، ترکیبات فلزی انسان‌زاد و مواد بیوژنیک طبیعی گردوغبار (dust) گفته می‌شود (۴). خاک ترکیبی از فلزات سنگین، ترکیبات مینرالی، مواد آلی، موجودات زنده، هوا و آب است. فلزات سنگین آزاد شده از منابع ثابت و متحرک می‌توانند وارد آب، هوا، خاک و بدن انسان شوند. تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست‌محیطی بسیار مهم است (۱۳). به‌خاطر منابع مختلف انسانی مانند انتشارات صنعتی، ترافیک، احتراق زغال سنگ و سوخت، دفع زباله و ساخت‌و سازها به‌وجود می‌آید (۲۰). یکی از اساسی‌ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیزه شدن آنها در بدن است. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌شوند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود (۶). حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست‌محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌شود. تأثیرات فلزات سنگین روی انسان مختلف بوده و عمده‌ترین آن مربوط به بروز اختلالات عصبی است (۱ و ۱۱). سرطان‌ها از مهم‌ترین امراض غیرواگیر هستند که بار بیماری عمده‌ای را به جامعه تحمیل می‌کنند (۷ و ۱۷). بهروش و همکاران (۵) در مطالعات خود روی گردوغبار خیابانی در شهر مشهد دریافتند که غلظت فلزات Pb، Cu، Zn و Ni بیشتر از غلظت این فلزات در بخش بالایی پوسته زمین است. ضریب همبستگی مثبت میان فلزات سنگین Zn و Cu و همچنین Pb و Zn، نشان‌دهنده آن است که منابع تولید کننده این فلزات در منطقه مورد مطالعه، سوخت خودروها و سایش لنت ترمز وسایل نقلیه است. مطالعات دهقانی و همکاران (۸) در گردوغبار خیابانی شهر تهران نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین Pb، Sb، Cu و Zn به‌وضوح مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر سائیدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت‌های فسیلی است. احمدی و همکاران (۲) در مطالعه خود روی گردوغبار اتمسفری در کرمانشاه به این نتیجه رسیدند که میزان شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی و شاخص آلودگی در گردوغبار خیابانی برای نیکل، روی و مس (به‌ویژه نیکل) و به میزان کمتری کروم، نشان از آلودگی این فلزات دارد که احتمالاً از ترافیک و فعالیت‌های صنعتی سرچشمه گرفته‌اند. قنواتی (۹) در مطالعات خود روی گردوغبار خیابانی در شهر آبادان نشان داد که بر اساس مقدار میانگین شاخص ریسک اکولوژیک (RI)، نمونه‌ها دارای ریسک متوسط هستند. همچنین خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) کلیه فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است که این امر نشان داد که کودکان بیشتر از بزرگسالان در معرض خطر فلزات سنگین قرار دارند. در هر دو گروه سنی فلز کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی (RI) و فلز سرب کمترین خطر را دارد. امروزه مطالعات زیادی در مورد غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده است که تعداد اندکی از این مطالعات مربوط به کشورهای توسعه یافته است (۱۰، ۱۸ و ۲۴). با توجه به افزایش شدت آلودگی هوا و ذرات معلق در سال‌های گذشته در شهر اهواز، همچنین ورود توده‌های بزرگ گردوغبار در سال‌های اخیر و آثار سوء غبارهای آلوده بر سلامت شهروندان، بهداشت و محیط زیست، لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در این کلان‌شهر احساس می‌شود. اهداف پژوهش حاضر شامل: ۱) تعیین غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و آرسنیک موجود در غبارهای خیابانی شهر اهواز، ۲) استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن (Spearman's correlation coefficients) برای



شکل ۱. نقشه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در سطح شهر اهواز

تعیین روابط بین فلزات سنگین مختلف که درک این روابط می تواند در تشخیص منشأ طبیعی یا انسان‌زاد بودن عناصر و چگونگی انتقال آن در محیط مفید باشد، ۳) ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی با استفاده از فاکتور آلودگی (CF)، فاکتور غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین انباشتگی (Igeo) و توزیع مکانی آنها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اهواز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان خوزستان است. این شهر از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. اهواز در بخش جلگه‌ای خوزستان با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است. طبق آمار ایستگاه‌های هواشناسی میزان بارندگی سالیانه ۲۱۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. شهر اهواز با ۳۱۸ کیلومتر مربع مساحت، سومین شهر وسیع ایران پس از تهران و مشهد است. جمعیت آن نیز در سرشماری سال ۱۳۸۵، ۱۱۱۲۰۲۱ نفر بوده که اهواز را در جایگاه هفتمین شهر پرجمعیت ایران قرار می دهد. در سال‌های اخیر ساکنان و درنتیجه صنایع و خودروهای موجود در این شهر به‌طرز چشمگیری افزایش یافته است، به‌طوری که امروزه اهواز یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور شناخته شده است.

نمونه‌برداری گردوغبار خیابانی

آب‌وهوای شهر اهواز گرم‌ومرطوب است به‌همین علت نمونه برداری در اواسط فروردین و اوایل اردیبهشت‌ماه صورت گرفت. نقشه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نمایش داده شده است. تعداد ۱۱۵ نمونه گردوغبار خیابانی از پیاده روهای خیابان‌های اصلی شهر به‌وسیله یک پلات چوبی ۱×۱ متر و برس‌های مویی جمع‌آوری شد. پس از نمونه‌برداری، تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند.

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین

برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از روش جذب اتمی (AAS) استفاده شد. مقدار ۰/۳۵گرم از هر نمونه در ۱۰ml

تیزاب سلطانی (ترکیب سه اسید ($HClO_4$, HF, HNO_3) به نسبت ۳:۲:۵ هضم) و در ظروف تفلونی (PTFE) در دمای ۱۶۰ درجه به مدت ۶ ساعت هضم شد و سپس با آب دیونیزه به حجم ۵۰ml رسانده شد (۲۶). سپس عناصر As، Co، Cr، Cd، Zn، Cu، Pb، Ni و V با دستگاه جذب اتمی مدل Xplora و GBC مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. خاک استاندارد SRM 2711 Montana II برای کنترل کیفیت و بررسی صحت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در نمونه‌ها استفاده شده است. حد تشخیص دستگاه برای عناصر As, Co, Cr, Cd, Zn, Cu, Pb, Ni و V به‌ترتیب ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۹، ۰/۰۵، ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۶ mg/kg بود. در هنگام هضم به‌همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه شده و همراه سایر نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. بازیابی قابل قبولی برای فلزات مورد بررسی به‌دست آمد (۹۸/۵-۸۱/۶ درصد).

ارزیابی و تعیین سطح آلودگی فلزات سنگین

فاکتور آلودگی (Contamination Factor):

برای تعین آلایندگی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شد. براساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. فاکتور آلودگی طبق رابطه (۱) برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه شد (۱۲):

$$CF = \frac{C\ metal}{C\ background} \qquad (۱)$$

در معادله (۱) CF عبارت است از نسبت غلظت هر فلز (Cmetal) به مقدار غلظت زمینه طبیعی آن فلز (C background) است. درجه آلودگی فلزات سنگین، بر اساس فاکتور آلودگی در چهار سطح تعریف می‌شود. سطح آلودگی کم ($CF < ۱$)، سطح آلودگی متوسط ($۱ \leq CF < ۳$)، سطح آلودگی زیاد ($۳ \leq CF < ۶$) و سطح آلودگی به‌شدت زیاد ($CF \geq ۶$) (۱۲).

فاکتورغنی شدگی (Enrichment Factor)

تمایز فلزات با منشأ انسان‌زاد از فلزاتی که از هوازدگی طبیعی سنگ‌ها حاصل شده‌اند، بخش ضروری هر مطالعه زیست‌محیطی است. فاکتور غنی‌شدگی (EF) نشان‌دهندهٔ مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به‌عبارت دیگر این فاکتور بیانگر شدت تأثیر عوامل انسان‌زاد (آنتروپوژنیک) است (۲۱). فاکتور غنی‌شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. در مطالعات مختلف، مقادیر محاسبه شده فلزات سنگین از مطالعات پیشین را به‌عنوان مقدار زمینه انتخاب می‌کنند و در بعضی از مطالعات نیز از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به‌عنوان مقدار زمینه استفاده شده است (۱۹). بنابراین با توجه به اینکه اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابانی شهر اهواز برای نخستین بار در این مطالعه انجام می گیرد به‌دلیل موجود نبودن اطلاعات قبلی و همچنین عدم تدوین و ارائه مقادیر غلظت‌های زمینه‌ای فلزات برای نواحی مختلف کشور (درحالی که این مقادیر به‌وسیلهٔ بسیاری از کشورها تهیه و ارائه شده است، از مقادیر میانگین موجود در پوسته زمین به‌عنوان غلظت زمینه فلزات استفاده شد (۱۵ و ۳۰). این فاکتور در تحلیل‌های زیست‌محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۱۹):

$$EF = \frac{(\frac{CX}{Cref})\ Sample}{(\frac{Cx}{Cref})\ Background} \qquad (۲)$$

EF= فاکتور غنی‌شدگی

C_x= غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گردوغبار

C_{ref}= غلظت عنصر مرجع است.

عنصر مرجع در تعین فاکتور غنی‌شدگی، عنصری است که منشأ کاملاً زمین شناسی داشته باشد. در تحقیقات زیست‌محیطی

معمولاً از Zr، Ti، Fe، Al، Sr به‌عنوان عناصر مرجع استفاده می‌شود (۳۱). در تحقیق حاضر از عنصر Al به‌عنوان فلز مرجع استفاده شده است. درجه آلودگی فلزات سنگین، بر اساس فاکتور غنی‌شدگی در پنج سطح تعریف می‌شود (۳). سطح آلودگی کم (EF < ۲)، سطح آلودگی متوسط (۵ >EF ≥ ۲)، سطح آلودگی زیاد (۲۰ < EF ≤ ۵)، سطح آلودگی بسیار زیاد (۴۰ < EF≤ ۲۰) و سطح آلودگی به‌شدت زیاد (EF ≥ ۴۰).

شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo):

در تحلیل‌های زیست‌محیطی، از شاخص زمین‌انباشتگی (Index of Geoaccumulation) به‌منظور مشخص کردن سطوح آلوده استفاده می‌شود. این شاخص می‌تواند درجه آلایندگی خاک را تعیین کند. شاخص زمین‌انباشت برای اولین‌بار توسط مولر (۲۳) ارائه شد. این شاخص طبق رابطه (۳) برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه شد:

$$Igeo = Log_2 (C_n/1.5*B_n) \quad (۳)$$

در رابطه (۳) Igeo شاخص زمین‌انباشتگی، Cn غلظت فلز سنگین موجود در گردوغبار خیابانی، Bn غلظت زمینه (متوسط شیل) است. مقدار غلظت زمینه، مقدار مشخص از یک عنصر در خاک بوده که به‌عنوان آلودگی در منطقه مورد مطالعه درنظر گرفته نمی‌شود (۲۸). در رابطه (۳) برای اینکه اثرات مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی محتوای ماده داده شده در محیط زیست و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت‌های انسانی تصحیح شود از ضریب ۱/۵ استفاده می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی مولر (۲۳) هفت کلاس آلودگی را می‌توان درنظر گرفت. غیرآلوده (۰ > Igeo)، غیرآلوده تا کمی آلوده (۱ > Igeo ≤ ۰)، کمی آلوده (۲ > Igeo ≤ ۱)، کمی آلوده تا خیلی آلوده (۳ > Igeo ≤ ۲) خیلی آلوده (۴ > Igeo ≤ ۳)، خیلی آلوده تا به‌شدت آلوده (۵ > Igeo ≤ ۴)، به‌شدت آلوده (Igeo ≥ ۵) .

نتایج و بحث

بررسی غلظت فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی منطقه مورد مطالعه

خلاصه‌ای از پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه های گردوغبار خیابانی شهر اهواز در جدول (۱) گزارش شد. غلظت تمام عناصر مورد مطالعه در غبار خیابانی شهر اهواز چندین برابر بیشتر از مقدار عنصر مرجع بود. در واقع این مطلب نشان می‌دهد که غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسانی مثل ترافیک، تأسیسات صنعتی، تأسیسات تولید برق، سوختن روغن در مناطق مسکونی، بدسوزی، فعالیت‌های ساخت‌وساز و تعلیق دوبارهٔ خاک‌های آلوده است. بررسی سایر منابع نیز مشخص می‌کند که نتایجی که در این مطالعه به‌دست آمده با سایر مطالعات مشابه همخوانی دارد. مطالعات انجام شده روی گردوغبار خیابانی شهر تهران نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین Pb، Sb، Cu و Zn به‌وضوح مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر سائیدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت های فسیلی است (۸). مطالعات انجام شده در شهر تایپه روی فلزات سنگین در گردوغبار شهری نشان داد که غلظت بالای فلز Cd در کنار جاده‌ها و مناطق شهری ناشی از وسایل نقلیه موتوری است (۳۲). مطالعات انجام شده در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران نشان داد که غلظت فلزات مس، کادمیوم ، سرب و روی به‌طور قابل توجهی بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در پوسته زمین است که نشان از منشأ احتمالی انسانی این فلزات دارد. این درحالی است که پایین و نزدیک بودن میانگین غلظت فلزات کروم، کبالت و وانادیوم نسبت به غلظت زمینه نشان از منشأ طبیعی (لیتوژنیک) این فلزات دارد (۲۷). فلزات سنگین موجود در گردوغبار خیابانی می تواند به‌آسانی از طریق بلع غبار، استنشاق و تماس پوستی تحت شرایط متحرک مانند باد، رفت‌وآمد و دیگر فعالیت‌های انسانی وارد بدن انسان‌ها شوند و سلامت ساکنین شهر را تهدید کنند. ریزگردها و غبارها به‌دلیل ماهیت فوق العاده کوچکشان از نظر اندازه،

جدول ۱. خلاصه‌ای از پارمترهای آماری غلظت فلزات سنگین میلی‌گرم بر کیلوگرم

فلزات سنگین	حداکثر	حداقل	میانگین	چولگی	مقدار زمینه
سرب	۷۹۳	۱۱	۱۷۹/۶۰	۱/۲۹	۱۴
روی	۳۵۶	۷۲	۱۵۰/۱۵	۰/۹۹	۲۸
مس	۶۴۱	۸/۳۶	۱۷۹/۷۵	۱/۰۳	۳۳
کادمیوم	۵۶	۰/۰۱	۵/۶۰	۳/۵۴	۰/۰۹
کروم	۳۰۶	۶	۱۰۱	۰/۷۲	۹۸
آرسنیک	۱۲۴	۱/۵	۱۴/۲	۶/۲۱	۳/۱

می‌تواند اثرات منفی بر سلامت انسان داشته باشند. این ذرات از طریق دستگاه تنفس جذب شده و وارد ریه‌ها شده و موجب مشکلات تنفسی می‌شوند، همچنین قارچ‌ها و میکروب‌های منتقل شده به‌وسیله ریزگردها موجب بیماری‌های پوستی و چشمی می‌شوند و تهدیدی جدی برای جوامع به‌حساب می‌آید (۲۹).

تحلیل همبستگی بین فلزات سنگین

ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی کمک کند. در این تحقیق از ضریب همبستگی اسپیرمن (Spearman's correlation coefficients) برای تعیین روابط بین عناصر مختلف استفاده شده است (جدول ۲). درک این روابط می‌تواند در تشخیص منبع عنصر و چگونگی انتقال آن در محیط مفید باشد. همبستگی بالای عناصر موجود در گردوغبار خیابانی را می‌توان ناشی از چند عامل دانست که عبارتند از: جذب سطحی در کانی‌های رسی و مواد آلی، حضور عناصر در ساختار کانی‌ها به‌ویژه رس‌ها، جذب عناصر توسط اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن و منگنز. ضریب همبستگی به‌دست آمده بین عناصر آلاینده نشان می‌دهد که عنصر سرب دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد با مس (۰/۸۵)، روی (۰/۸۳) و کروم (۰/۵۸) است که در واقع ناشی از منشأ یکسان آزادسازی فلزات سنگین در محیط زیست است. اما با سایر عناصر، همبستگی معنی‌داری ندارد. همچنین عنصر مس دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد با روی (۰/۹۰) و کروم (۰/۶۳) است. عناصری مانند آرسنیک و کادمیوم در واقع دارای همبستگی کمتری با دیگر عناصر است، که حاکی از وجود منشأ دیگری برای عناصر گفته شده باشد.

فاکتور آلودگی (CF)

مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور آلودگی (CF) عناصر مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شد. مقادیر فاکتور آلودگی در بین فلزات متغیر است. این مقادیر برای سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و آرسنیک به‌ترتیب از ۰/۷۸ تا ۵۶/۴۶، ۰/۴۲ تا ۱۰/۵۷، ۰/۲۵ تا ۱۹/۴۲، ۰/۰۶ تا ۳/۱۲، ۰/۱۱ تا ۶۲۲/۲۲ و ۱ تا ۹۲/۷۷ هستند. با توجه به نتایج این فاکتور ۶۳ درصد نمونه‌های سرب، ۷۹ درصد از نمونه‌های کادمیوم، ۸۱ درصد از نمونه‌های آرسنیک، ۸ درصد از نمونه‌های روی و ۳۶ درصد از نمونه‌های مس در سطح آلودگی بسیار زیاد (CF ≥۶) قرار داشتند. با توجه به این شاخص عنصر کروم در سطح آلودگی شدید قرار نداشت. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این فاکتور به‌شرح زیر است: کروم در سطح آلودگی متوسط (۳>CF≥۱)، روی و مس در سطح آلودگی زیاد (۶>CF≥۳)، سرب، کادمیوم و آرسنیک در سطح به‌شدت آلوده (CF ≥۶) قرار داشت. این مطلب در واقع نشان‌دهنده این است که غبار خیابانی در سطح شهر اهواز دارای آلودگی متوسط تا بسیار بالا هستند. این نتایج نشان می‌دهد که مهم‌ترین منابع تولید کننده این فلزات ترافیک سنگین، سوخت ناشی از خودروها، فرسایش قطعات مکانیکی و عملیات ساخت‌وساز هستند.

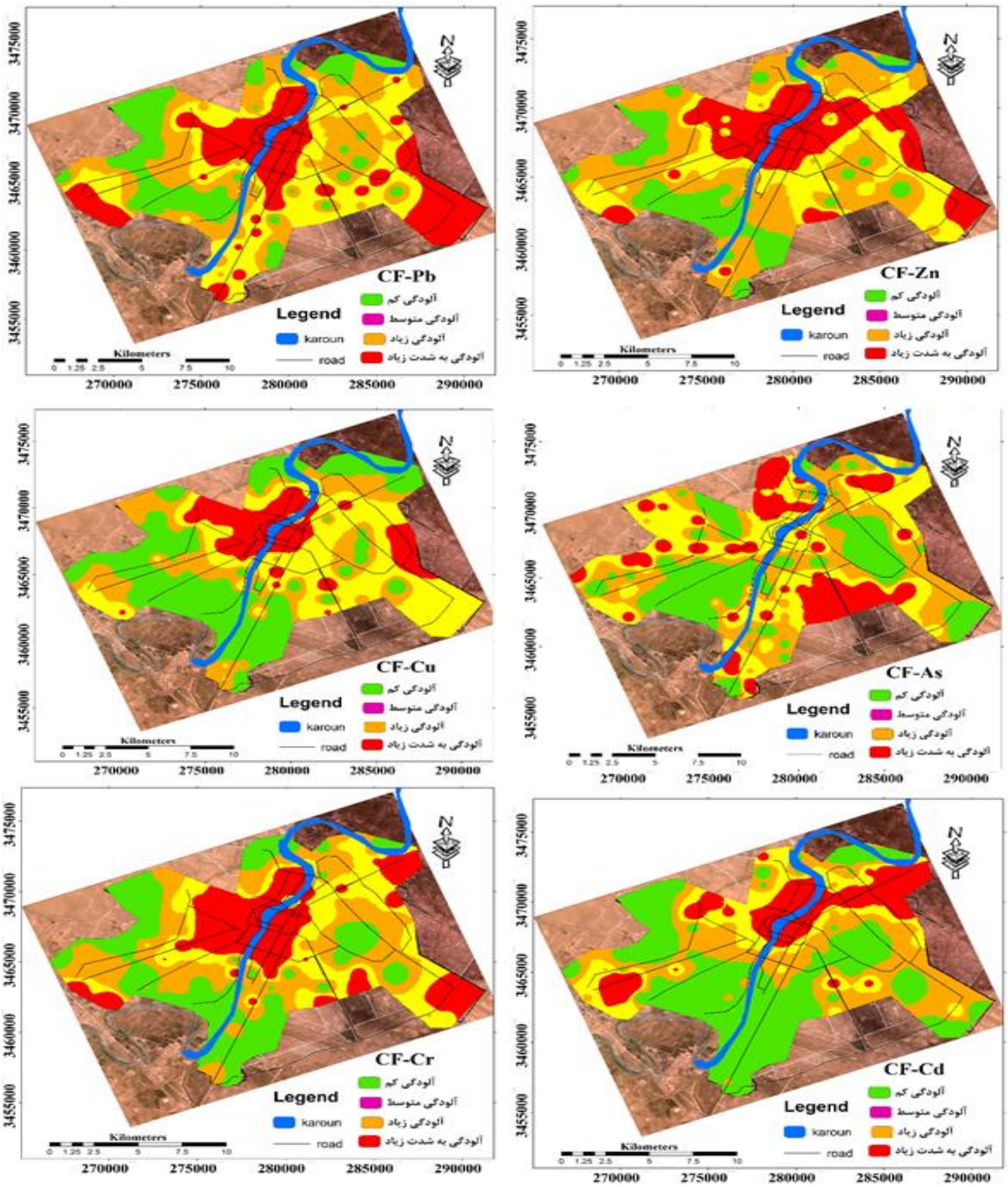
جدول ۲. همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر اهواز

	سرب	روی	مس	کروم	کادمیوم	آرسنیک
سرب	۱					
روی	۰/۸۳**	۱				
مس	۰/۸۵**	۰/۹۰**	۱			
کروم	۰/۵۸**	۰/۴۲	۰/۶۳**	۱		
کادمیوم	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۳۵	۱	
آرسنیک	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۶۳**	۰/۶۶**	۱

جدول ۳. نتایج آماری فاکتور آلودگی CF فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر اهواز

	فاکتور آلودگی			تعداد نمونه‌ها			
	حداقل	حداکثر	میانگین	آلودگی کم	متوسط	بالا	بسیار بالا
سرب	۰/۷۸	۵۶/۴۶	۱۲/۸۲	۳	۲۲	۱۷	۷۳
روی	۰/۴۲	۱۰/۵۷	۳/۲۳	۱۸	۳۸	۴۹	۱۰
مس	۰/۲۵	۱۹/۴۲	۵/۴۴	۱۲	۳۳	۲۹	۴۱
کروم	۰/۰۶	۳/۱۲	۱/۰۳	۶۳	۵۱	۱	۰
کادمیوم	۰/۱۱	۶۲۲/۲۲	۶۲/۲۴	۶	۷	۱۱	۹۱
آرسنیک	۱	۹۲/۷۷	۲۱/۷	۰	۷	۱۴	۹۴

مطالعات کریمیان و همکاران (۱۶) روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گردوغبار شهر اهواز نشان داد که غلظت فلزات سنگین در ذرات گردوغبار مورد مطالعه در مناطق صنعتی و پرترافیک بالا است. همچنین با مقایسه غلظت فلزات سنگین در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری، بیشترین غلظت فلزات سنگین در آذرماه مشاهده شده است. جاویدانه و همکاران (۱۴) در مطالعات خود روی گردوغبار خیابانی در مسجدسلیمان دریافتند که منطقه بیشتر تحت تأثیر آلودگی‌های نفتی و فعالیت‌های صنعتی قرار دارد. شاخص آلودگی بیانگر سطح بالای آلودگی برخی نمونه‌ها به فلزات سنگین Pb، Cd، Cu و Zn و سطح متوسط آلودگی فلزات Ni، As و V است. مرادی و میرزایی (۲۲) به بررسی سطح آلودگی و تغییرات مکانی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر کاشان پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات Pb، Cu، Zn و Fe در گردوغبار خیابانی بیشتر از غلظت زمینه است. طبق تحلیل الگوی مکانی بیشترین غلظت فلزات در گردوغبار، در مرکز شهر و کمترین غلظت در مناطق مسکونی مشاهده شده است. همچنین منشأ فلزات Pb، Cu و Zn انسان‌زاد و فلزات Fe و Cd نیز تا حدودی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است درحالی که فلزات Ni و Cr منشأ کاملاً طبیعی دارند. ترافیک و فعالیت‌های صنعتی احتمالاً عامل اصلی افزایش غلظت فلزات سنگین در کاشان است. نقشه‌های توزیع فاکتور آلودگی هر کدام از فلزات بر اساس طبقه بندی ارائه شده در فاکتور آلودگی در شکل (۲) نشان داده شده است. نقطه توزیع عناصر سرب، روی، کروم و مس تا حدی مشابه بوده و می‌توان تا حدودی به هم منشأ بودن و یا تشابه منشأ پی برد. همچنین توزیع عناصر کادمیوم و آرسنیک هم تا حدی مشابه بود. توزیع این فلزات در واقع دارای تطابق بسیار مناسبی با مناطق صنعتی و مناطق با تراکم جمعیتی و ترافیکی است. نقشه‌های توزیع فاکتور آلودگی نشان دهنده این است که بیشترین آلودگی در



شکل ۲. نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه

مناطقی از جمله، مرکز شهر که شامل مراکز خرید و مناطق نزدیک به جاده‌های ساحلی رودخانه کارون که به‌عنوان عمده‌ترین شریان‌های ترافیکی شهر اهواز هستند، ورودی‌های شهر اهواز که در واقع مسیر کامیون‌های سنگین و تردد بالا در بنادر جنوبی هستند، مناطق صنعتی از جمله صنایع فولاد و صنایع ملی حفاری با توجه به وجود میدان نفتی در نزدیک شهر که بیشتر حفاری‌ها همراه با گل حفاری هستند.

جدول ۴. نتایج آماری فاکتور غنی‌شدگی EF فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر اهواز

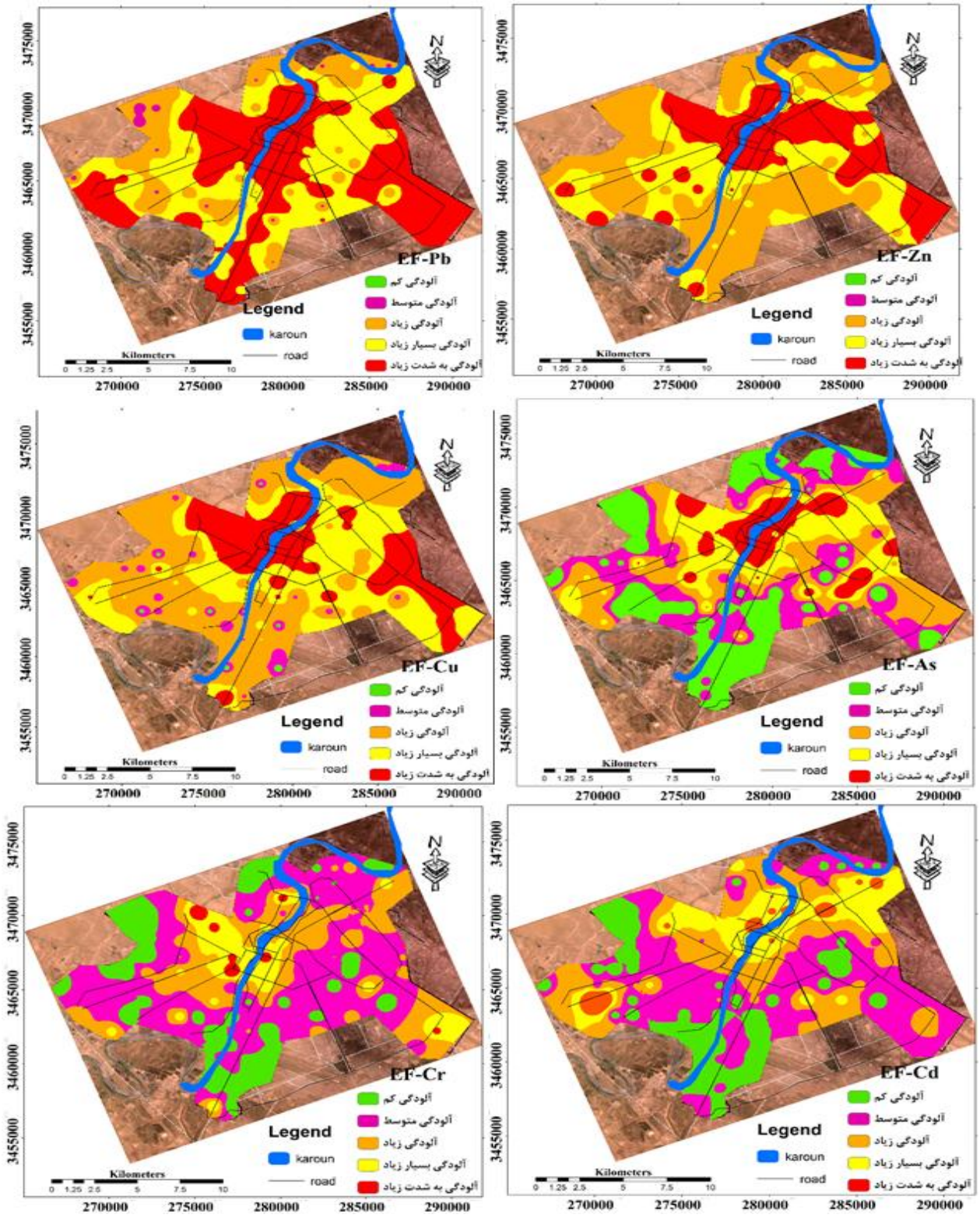
	فاکتور غنی‌شدگی			تعداد نمونه‌ها				
	حداقل	حداکثر	میانگین	آلودگی کم	متوسط	بالا	بسیار بالا	به‌شدت بالا
سرب	۲/۲۳	۱۷۵/۰۷	۴۱/۲۵	۰	۱۶	۲۷	۳۰	۴۲
روی	۵/۹۱	۴۸/۳۸	۱۷/۲۷	۰	۰	۸۱	۳۲	۲
مس	۰/۷۲	۸۹/۷۴	۱۷/۴۲	۹	۱۵	۴۸	۳۶	۷
کروم	۰/۲۴	۸/۹۶	۳/۳۳	۴۱	۴۲	۳۲	۰	۰
کادمیوم	۰/۲۴	۱۶۸۷/۳۸	۱۹۲/۵۴	۶	۱	۱۸	۷	۸۳
آرسنیک	۳/۴۸	۲۶۹/۸۸	۶۸/۰۵	۰	۳	۱۸	۲۰	۷۴

فاکتور غنی‌شدگی (EF)

مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور غنی‌شدگی عناصر مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شد. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در بین فلزات متغیر است. با توجه به نتایج این فاکتور ۳۶ درصد نمونه‌های سرب، ۷۲ درصد از نمونه‌های کادمیوم، ۶۴ درصد از نمونه‌های آرسنیک، ۱/۷ درصد از نمونه‌های روی و ۶ درصد از نمونه‌های مس در سطح آلودگی بسیار زیاد (EF ≥۴۰) قرار داشتند. با توجه به نتایج این شاخص عنصر کروم در سطح آلودگی شدید قرار نداشت. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این فاکتور به‌شرح زیر است: کروم در سطح آلودگی متوسط (۲≤EF< ۵)، روی و مس در سطح آلودگی زیاد (۵≤ EF<۲۰)، سرب، کادمیوم و آرسنیک در سطح به‌شدت آلوده (EF ≥۴۰) قرار داشت (جدول ۴). نقشه‌های توزیع فاکتور غنی‌شدگی هر کدام از فلزات بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده در فاکتور غنی‌شدگی در شکل (۳) نشان داده شده است. در این مطالعه نمونه‌های خاک با سطح آلودگی متوسط تا به شدت زیاد در نزدیکی مناطقی از جمله مرکز شهر با تراکم جمعیتی و حجم ترافیک بالا، مناطق نزدیک به ساخت شهرک-های صنعتی، صنایع شیمیایی، فعالیت‌های حفاری در شرکت ملی حفاری ایران، صنایع بزرگی از جمله، فولاد خوزستان و مقاطع ورودی شهر اهواز هستند. مناطق با آلودگی کم در واقع مربوط به مناطق توسعه یافته در چند دهه اخیر هستند که دارای ترافیک پایین و تراکم جمعیتی پایین هستند. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده از فاکتور آلودگی و غنی‌شدگی خیابان‌های شهر اهواز از نظر عنصر سرب، کادمیوم و آرسنیک به‌شدت آلوده است.

فاکتور زمین‌انباشتگی (Igoe)

مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور زمین‌انباشتگی عناصر مورد بررسی در جدول (۵) ارائه شد. با توجه به نتایج این فاکتور ۳۵ درصد نمونه‌های سرب، ۷۴ درصد از نمونه‌های کادمیوم، ۶۳ درصد از نمونه‌های آرسنیک، ۱ درصد از نمونه های روی و ۱۴ درصد از نمونه‌های مس در سطح خیلی آلوده تا به‌شدت آلوده قرار داشتند (جدول ۶). با توجه به نتایج این شاخص عنصر کروم در سطح آلودگی شدید قرار نداشت. سطح آلودگی هر یک از عناصر در منطقه مورد مطالعه بر اساس میانگین این فاکتور به‌شرح زیر است: کروم در سطح غیرآلوده روی و مس در سطح کمی آلوده، سرب در سطح کمی آلوده تا خیلی آلوده، کادمیوم و آرسنیک در سطح به‌شدت آلوده قرار



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی فاکتور آلودگی در شهر اهواز

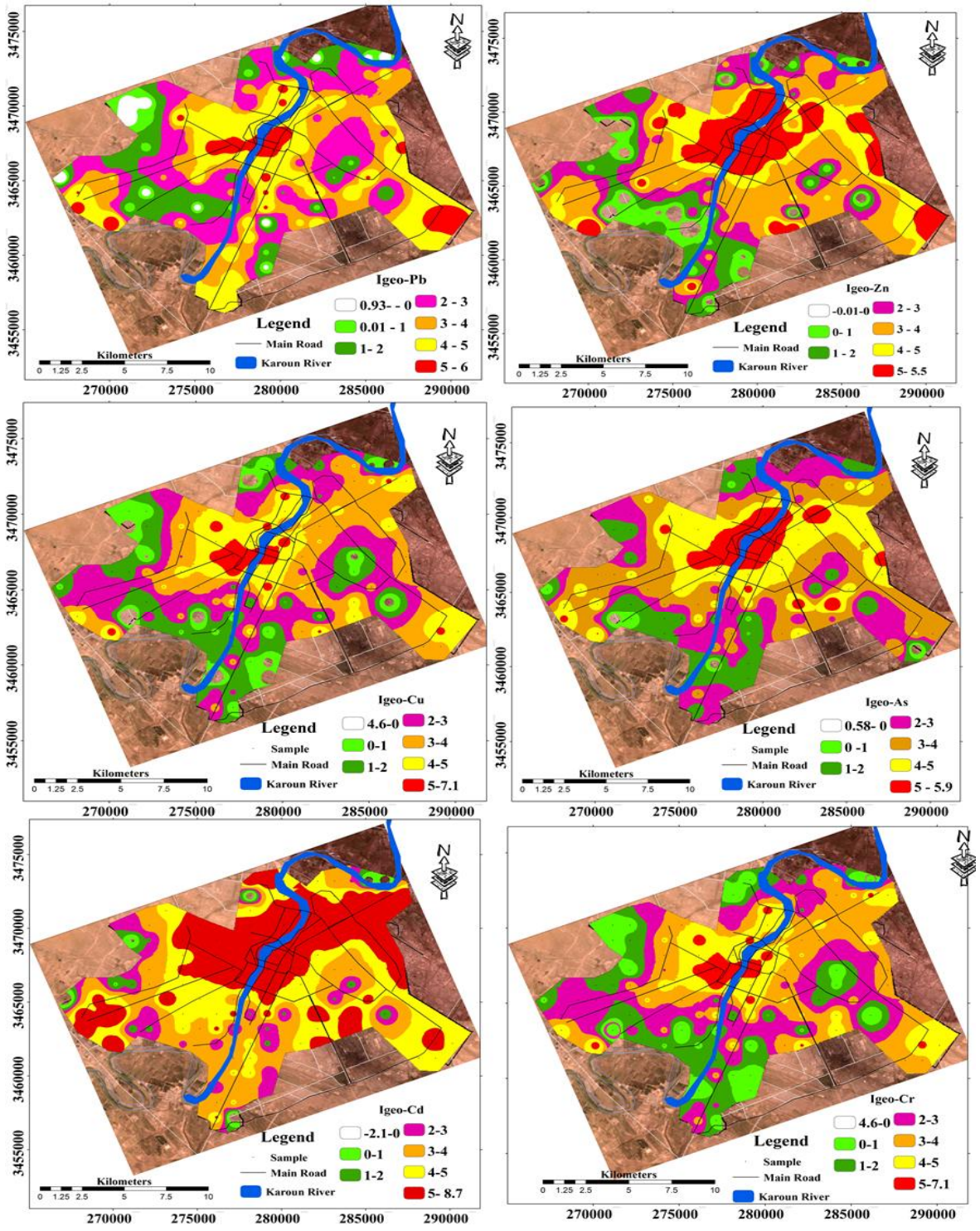
جدول ۵. نتایج آماری فاکتور زمین‌انباشتگی Igeo فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر اهواز

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین
سرب	۰/۰۹	۵/۲۳	۲/۳۸
روی	۰/۷۷	۳/۰۸	۱/۷۳
مس	-۲/۵۶	۳/۶۹	۱/۲۹
کروم	-۴/۶۱	۱/۰۵	-۰/۹۴
کادمیوم	-۳/۷۵	۸/۶۹	۴/۰۱
آرسنیک	-۰/۵۸	۵/۹۵	۳/۳۴

جدول ۶. ادامه نتایج آماری فاکتور زمین‌انباشتگی Igeo فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر اهواز

	تعداد نمونه‌ها در سطح آلودگی						
	غیر آلوده	غیر آلوده تا کمی آلوده	کمی آلوده	کمی تا خیلی آلوده	خیلی آلوده	خیلی تا شدیداً	شدیداً آلوده
سرب	۱۲	۱۳	۱۷	۲۸	۲۶	۱۸	۱
روی	۰	۱۳	۶۶	۳۵	۱	۰	۰
مس	۲۳	۲۳	۲۶	۲۷	۱۶	۰	۰
کروم	۸۸	۲۶	۱	۰	۰	۰	۰
کادمیوم	۸	۶	۱۱	۵	۱۳	۲۵	۴۷
آرسنیک	۴	۴	۱۴	۲۰	۳۳	۳۰	۱۰

داشتند. در واقع این مطلب نشان می‌دهد غبار خیابانی در شهر اهواز دارای آلودگی کم تا به‌شدت آلوده است. نقشه‌های توزیع فاکتور زمین‌انباشتگی هر کدام از فلزات بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده در فاکتور زمین‌انباشتگی در شکل ۴ نشان داده شده است. داده‌های ارائه شده نشان‌دهنده این موضوع هستند که فاکتور زمین‌انباشتگی در مناطق با تراکم جمعیت بالا، ترافیک سنگین، و فعالیت‌های صنعتی دارای آلودگی شدیدی از نظر فلزات سنگین هستند. تحلیل داده‌های به‌دست آمده از فلزات سنگین مورد بررسی نشان داد مهم‌ترین منبع این فلزات بیشتر از ترافیک، فرسودگی رینگ و لاستیک خودروها، سایش بدنه خودروها، سوختن زباله‌ها، فرسایش مواد خیابانی و استفاده از بنزین است. بررسی سایر منابع نیز مشخص می‌کند که نتایجی که در این مطالعه به‌دست آمده با سایر مطالعات مشابه همخوانی دارد. مطالعات **دهقانی** و همکاران (۸) در گردوغبار خیابانی شهر تهران نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین Pb، Sb، Cu و Zn به‌وضوح مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر سائیدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت‌های فسیلی است. مطالعه‌ای که جعفری و همکاران (۱۴) در کرمان روی ارزیابی فلزات سنگین در گردوغبار شهری انجام



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی شاخص جامع آلودگی

داده‌اند به این نتیجه رسیدند که منشأ اصلی فلزات سنگین Pb، Cu و Zn در گردوغبار شهری مربوط به وسایل نقلیه موتوری است. بنابراین می‌توان بیان کرد که منبع آلودگی این عنصر عوامل انسان‌زاد است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به ارزیابی میزان ریسک اکولوژیکی و تعیین سطح آلایندگی فلزات سنگین سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و آرسنیک پرداخته شد. نتایج نشان داد این عناصر به‌طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارند اما عواملی غیر از عوامل طبیعی نظیر ترافیک سنگین، فرسایش، سایش لاستیک خودروها، خوردگی فلزات و سوخت‌های مصرفی باعث افزایش این فلزات در غبارهای خیابانی می‌شود. نتایج فاکتور آلودگی، غنی شدگی و زمین‌انباشتگی نشان داد خیابان‌های شهر اهواز به‌شدت آلوده به سرب، کادمیوم و آرسنیک است. همچنین منطقه مورد مطالعه ریسک اکولوژیکی خیلی بالایی را نشان داد. این موضوع سلامت ساکنین شهر را تهدید می‌کند. بنابراین برخی اقدامات حفاظتی در شهر اهواز مانند افزایش فضای سبز، تبدیل سوخت های مایع به گازی و استفاده از حمل‌ونقل عمومی پیشنهاد می شود.

منابع مورد استفاده

1. Acosta, J., A. Faz, K. Kalbitz, B. Jansen and S. Martínez-Martínez. 2014. Partitioning of heavy metals over different chemical fraction in street dust of Murcia (Spain) as a basis for risk assessment. *Journal of Geochemical Exploration* 144: 298-305.
2. Doabi, S. A., and M. A. M. Karami. 2017. Assessment of Kermanshah province atmospheric dust contamination with selected heavy metals using pollution indexes during the summer 2013. *Journal of Water and Soil* 834: 822.
3. Atiemo, M. S., G. F. Ofosu, H. Kuranchie-Mensah, A. O. Tutu, N. Palm and S. A. Blankson. 2011. Contamination assessment of heavy metals in road dust from selected roads in Accra, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3: 473-480.
4. Babaei, H., N. Ghanavati and A. Nazarpour. 2018. Contamination level of mercury in the street dust of ahvaz city and its spatial distribution. *Journal of Water and Soil Science* 22: 249-259. (In Farsi).
5. Behravesh, F., G. M. Mahmudi, F. Ghassemzadeh and M. S. Avaz. 2015. Determination of heavy metals pollution in traffic dust of Mashhad city, and its origin by using selective sequential extraction procedure. *Journal of Environmental Geology* 24: 141-150. (In Farsi).
6. Benhaddya, M. L., A. Boukhelkhal, Y. Halis and M. Hadjel. 2016. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 70: 556-571.
7. Brown, R., K. Kerr, A. Haoudi and A. Darzi. 2012. Tackling cancer burden in the Middle East: Qatar as an example. *The Lancet Oncology* 13: e501-e508.
8. Dehghani, S., F. Moore, B. Keshavarzi and A. H. Beverley. 2017. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 136: 92-103.
9. Ghanavati, N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment* 11: 63-74. (In Farsi)
10. Ghanavati, N., A. Nazarpour and T. Babaenejad. 2019a. Assessing the ecological and health risks of some heavy metals in roadside soil of Ahvaz. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research* 16: 373-390. (In Farsi).
11. Ghanavati, N., A. Nazarpour and B. De Vivo. 2019b. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 41: 875-891.
12. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14: 975-1001.
13. Halil, M., N. Ghanavati and A. Nazarpour. 2019. Assessment of the environmental pollution of some heavy metals in Abadan city street dust using geographic information system (GIS). *Journal of Water and Soil Science* 23: 209-221.
14. Javidaneh, Z., A. Zarsevandi and F. Rast Manesh. 2016. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman city, Khouzestan province. *Iranian Journal of Health and Environment* 9(2): 155-170. (In Farsi)
15. Jian, S., C. -C. Tsai, Z. -Y. Hseu and Z. -S. Chen. 2011. Baseline concentrations of toxic elements in metropolitan park soils of Taiwan. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology* 5: 1-7.

16.Karimian, B., A. Landi, S. Hojati and J. Ahadian. 2016. Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles carried through dust storms in Ahvaz city. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 11(1): 159-173. (In Farsi).
17.Kaydan, Z., A. Nazarpour and N. Ghanavati. 2019. Evaluation of soil pollution with heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni and V) in Ahvaz parks (2016). *Journal of Health* 10: 228-239.
18.Keshavarzi, B., A. Najmeddin, F. Moore and P. A. Moghaddam. 2019. Risk-based assessment of soil pollution by potentially toxic elements in the industrialized urban and peri-urban areas of Ahvaz metropolis, southwest of Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 167: 365-375.
19.Lu, S., and S. Bai. 2010. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses. *Environmental Earth Sciences* 60: 1481-1490.
20.Lu, X., X. Wu, Y. Wang, H. Chen, P. Gao and Y. Fu. 2014a. Risk assessment of toxic metals in street dust from a medium-sized industrial city of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 106: 154-163.
21.Lu, X., X. Zhang, L. Y. Li and H. Chen. 2014b. Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi'an, China. *Environmental Research* 128: 27-34.
22.Moradi, Q. and R. Mirzaei. 2017. Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan city. *Iranian Journal of Health and Environment* 9(4): 443-456. (In Farsi).
23.Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2: 108-118.
24.Nazarpour, A., N. Ghanavati and T. Babaenejad. 2017. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. *Iranian Journal of Health and Environment* 10: 391-400. (In Farsi).
25.Nazarpour, A., N. Ghanavati and M. J. Watts. 2018. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 40: 693-704.
26. Rudnick, R. L. and S. Gao. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry* 3: 659.
27.Saeedi, M., L. Y. Li and M. Salmanzadeh. 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials* 227: 9-17.
28.Siegel, F. R. 2002. Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals, Springer.
29. Wei, X., B. Gao, P. Wang, H. Zhou and J. Lu. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 112: 186-192.
30. Wei, B., F. Jiang, X. Li and S. Mu. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment* 160(1-4): 33.
31.Yuen, J., P. H. Olin, H. Lim, S. G. Benner, R. Sutherland and A. Ziegler. 2012. Accumulation of potentially toxic elements in road deposited sediments in residential and light industrial neighborhoods of Singapore. *Journal of Environmental Management* 101: 151-163.
32.Zhang, D., X. Pan and D. -J. Lee. 2014. Potentially harmful metals and metalloids in the urban street dusts of Taipei City. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 45: 1727-1732.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 3, Fall 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Environmental Investigation and Spatial Distribution of Heavy Metals in the Street Dust of Ahvaz City

F. Moradian[1], N. Ghanavati[1*] and A. Nazarpour[2]

(Received: November 2-2019; Accepted: April 9-2020)

Abstract

Dusts contain heavy metals such as Pb, Zn, Cu, Cr, Cd and As that can threat human's health and environment. Therefore, the spatial distribution of heavy metals concentration and soil pollution monitoring and environmental quality protection seem to be essential. To assess heavy metals pollution level in Ahvaz street dust, 115 street dust samples were collected from main pedestrians. The samples were analyzed by Atomic Absorption (AAS). The pollution level was estimated based on the geo-accumulation index (I_{geo}), contamination factor (CF) and the enrichment factor (EF). The average concentration values of Pb, Zn, Cu, Cr, Cd and As were found to be 197.6, 150.1, 179.7, 101, 5.6 and 14.2 mg/kg, respectively. Pearson's correlation coefficient also indicated that Pb, Zn, Cu and Cr had a significant correlation showing similar possible anthropogenic sources. On the other hand, Cd and As showed a lower correlation with other metals, indicating that they belonged to the geogenic sources. The results of contamination factor, enrichment factor and geo-accumulation index also indicated that Pb, Zn, Cu and Cd had a high contamination level. Also, areas with high population density, heavy traffic volume, and industrial activities exhibited a high level of heavy metals contamination.

Keywords: Heavy metals, Street dust, Contamination factor, Enrichment factor, Ecological risk.

1- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
*: Corresponding author, Email: ghanavati.navid2014@gmail.com