

سطح آلودگی جیوه در گردوغبار خیابانی شهر اهواز و توزیع مکانی آن

حدیث بابایی^۱، نوید قنواتی^{۱*} و احد نظرپور^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۴)

چکیده

ریزگردها ترکیبات ذره‌ای معلق هستند که از منابع مختلف طبیعی و انسان‌ساز به وجود می‌آیند. ریزگردها حاوی فلزات سمی، نظیر جیوه هستند که می‌توانند اثرات مخربی بر سلامت انسان وارد کنند. در این مطالعه برای بررسی سطح آلودگی جیوه در گردوغبار خیابانی شهر اهواز، تعداد ۹۵ نمونه گردوغبار از پیاده‌رو خیابان‌های اصلی جمع‌آوری شد. غلظت جیوه در نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش جذب اتمی (AAS) تعیین شد. سطح آلودگی براساس شاخص‌هایی از جمله، فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی، فاکتور زمین‌انباشتگی و ریسک اکولوژیکی برآورد شد. مقدار غلظت جیوه از ۰/۰۲ تا ۸/۷۵ و مقدار میانگین ۲/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. نتایج شاخص‌های آلودگی نشان داد سطح آلودگی جیوه در گردوغبار خیابانی شهر اهواز بسیار زیاد بود، همچنین نتایج مربوط به ارزیابی ریسک اکولوژیکی، نشان داد ریسک اکولوژیکی جیوه در منطقه مورد مطالعه بسیار بالا بود. الگوی توزیع مکانی غلظت جیوه نشان داد که در مناطقی با تراکم جمعیت بالا، حجم ترافیک زیاد و فعالیت‌های صنعتی، آلودگی شدیدی از نظر جیوه دارد.

واژه‌های کلیدی: جیوه، 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

عضلانی و مغز وارد شود و در بدن انسان باقی بماند. عوارض جانبی ناشی از بخار جیوه معمولاً در سیستم عصبی مرکزی، کلیه‌ها، التهاب لثه و لرزش است (۱۷ و ۳۱). جیوه در جو وجود دارد و برخلاف دیگر آلاینده‌های فلزات سنگین، عمدتاً در فاز گازی است. خاک و گردوغبار از مکان‌های اصلی رسوب جیوه هستند. در مقایسه با خاک شهری، گردوغبار به‌راحتی به ساکنان شهری به‌ویژه کودکان تماس پیدا می‌کند. جیوه موجود در گردوغبار می‌تواند از طریق استنشاق، بلع و تماس پوستی وارد بدن انسان شود و منجر به تعدادی از مشکلات سلامتی شود (۹ و ۱۳). مطالعات انجام شده بر گردوغبار خیابانی باوجی چین نشان داد که دامنه غلظت جیوه $0/48$ تا $2/32$ با میانگین $1/11$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همچنین نتایج نشان داد که منشأ جیوه از منابع انسان‌زاد است و سطح آلودگی جیوه در گردوغبار خیابانی به‌شدت بالا است (۱۹). طی مطالعه‌ای که به بررسی توزیع مکانی و ریسک سلامت جیوه در گردوغبار خیابانی شهر وها چین صورت گرفت، نشان داد که بیشترین آلودگی ناشی از جیوه در منطقه شهری است. همچنین ارزیابی ریسک سلامت نشان داد که آلودگی ناشی از جیوه در گردوغبار خیابانی، اثر مضر بر سلامت کودکان در مناطق آموزشی داشته است (۲۷). 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 جیوه در این کلان‌شهر احساس می‌شود.

بدین ترتیب هدف از پژوهش حاضر (۱) تعیین غلظت جیوه در غبار خیابانی شهر اهواز، (۲) شناسایی منابع تولید و ارزیابی تعیین سطح آلودگی ناشی از این آلاینده با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی (فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشتگی و ریسک اکولوژیکی) و (۳) تعیین توزیع مکانی غلظت جیوه موجود در غبارهای خیابانی شهر اهواز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

رشد جمعیت، صنایع و وسایل نقلیه میزان آلودگی در کلان‌شهرها، به‌ویژه شهرهای بزرگ را افزایش داده است. امروزه با انتشار انواع آلاینده‌های محیط زیست و نمایان شدن اثرات آن روی سلامت انسان و دیگر جانداران، توجه زیادی به شناخت مواد آلاینده، چگونگی انتقال، عملکرد و دسترس‌پذیری آن معطوف شده است. گردوغبار خیابانی موجود در خیابان‌ها و پیاده‌روها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای زیست‌محیطی فعالیت‌های انسان، در چند سال اخیر مورد توجه بسیاری از محققین علوم زیست‌محیطی قرار گرفته است (۲۵). 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. یکی از اساسی‌ترین مسئله‌ها در ارتباط با فلزات سنگین، عدم سوخت‌وساز آنها در بدن است (۳۰). از بین آلاینده‌های همراه با غبارهای خیابانی، فلزات سنگین به‌دلیل سمیت و پایداری آنها در محیط زیست و نگرانی از نظر سلامت عمومی دارای اهمیت است (۱۰). در سال‌های اخیر ارزیابی کیفیت غبارهای خیابانی به‌عنوان یکی از منابع آلودگی، به‌ویژه فلز جیوه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (۳، ۱۴ و ۱۶). انتشار جیوه در محیط زیست به دو صورت طبیعی و انسان‌زاد صورت می‌گیرد. انتشار طبیعی جیوه ممکن است از محل آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تبخیر آب و خاک باشد. منابع اصلی انتشار انسانی جیوه در محیط زیست می‌تواند از طریق معادن، صنایع شیمیایی، سوخت زغال سنگ، سوزاندن مواد زائد جامد توسط شهرداری، وسایل الکتریکی، کاغذسازی و صنایع داروسازی هستند (۴، ۸ و ۱۱). خاک به‌عنوان منبع و مخزن جیوه و به‌عنوان یک مخزن مهم در چرخه زیستی عمل می‌کند (۲۳). جیوه یک سم زیست‌محیطی است که می‌تواند طیف گسترده‌ای از اثرات سوء بر سلامت انسان به‌خصوص کودکان داشته باشد. به‌عنوان مثال بخار جیوه می‌تواند وارد جریان خون شود و به بعضی از بافت‌ها مانند کبد، بافت‌های

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اهواز یکی از شهرهای بزرگ ایران و مرکز استان خوزستان است. از نظر جغرافیایی در $31^{\circ}20'29''$ عرض شمالی و $48^{\circ}40'12''$ طول شرقی قرار گرفته است. جلگه خوزستان به ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع است. طبق آمار ایستگاه‌های هواشناسی میزان بارندگی سالیانه اهواز ۲۱۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه آن 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 بود که اهواز را در جایگاه هفتمین شهر پر جمعیت ایران قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر رشد چشمگیر ساکنان و در نتیجه صنایع و خودروهای موجود در این شهر به طرز چشمگیری افزایش یافته است، به طوری که امروزه اهواز یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور شناخته می‌شود.

نمونه‌برداری گردوغبار خیابانی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

جهت انجام نمونه‌برداری از گردوغبار خیابانی در سطح شهر اهواز یک شبکه تصادفی با پوشش کامل منطقه مورد مطالعه در افزونه X-Tools در محیط نرم‌افزار ArcGIS، روی لایه شهری تهیه شد. سپس موقعیت جغرافیایی مرکز هر کدام از شبکه‌ها تعیین و وارد دستگاه GPS شد. برای نمونه‌برداری در هر نقطه در پیاده‌روهای خیابان‌های اصلی شهر اهواز به وسیله یک پلات چوبی 1×1 متر و برس‌های مویی اقدام به جمع‌آوری گردوغبار صورت گرفت، این عمل در هر شبکه در پنج نقطه انجام شد و پس از مخلوط کردن آنها نهایتاً یک نمونه تهیه شد. در نهایت با توجه به هدف تحقیق تعداد ۹۵ نمونه برداشت شد (شکل ۱). در این مطالعه به منظور تعیین میزان آلودگی خاک به فلز جیوه بایستی میزان غلظت عنصر با یک استاندارد شناخته شده مقایسه می‌شد. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود در همان منطقه است. در این مطالعه به دلیل عدم وجود استاندارد (مقدار زمینه) خاص برای آلودگی خاک در کشورمان،

نمونه‌برداری برای دستیابی به میزان زمینه صورت گرفته است، بنابراین تعداد ۱۲ نمونه از مناطق دور از ترافیک و آلاینده‌های صنعتی برداشته شد و مقدار میانگین آنها به عنوان مقدار زمینه در نظر گرفته شد.

نمونه‌ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل و طی ۱۰ روز در دمای اتاق خشک شد و پس از جداسازی مواد زائد و عبور از الک با مش ۲۰۰ غربال شد. در نهایت نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری مقدار جیوه به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت اندازه‌گیری جیوه از روش جذب اتمی استفاده شد. مقدار 0.35 گرم از هر نمونه در 10 میلی لیتر تیزاب سلطانی در ظروف تفلونی در دمای 160 درجه به مدت شش ساعت هضم شد و سپس با آب دیونیزه به حجم 50 میلی لیتر رسانده شد. خاک استاندارد SRM ۲۷۱۱ Montana برای کنترل کیفیت و بررسی صحت اندازه‌گیری مقدار جیوه کل در نمونه‌ها استفاده شد. در هنگام هضم به همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه شد و همراه سایر نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

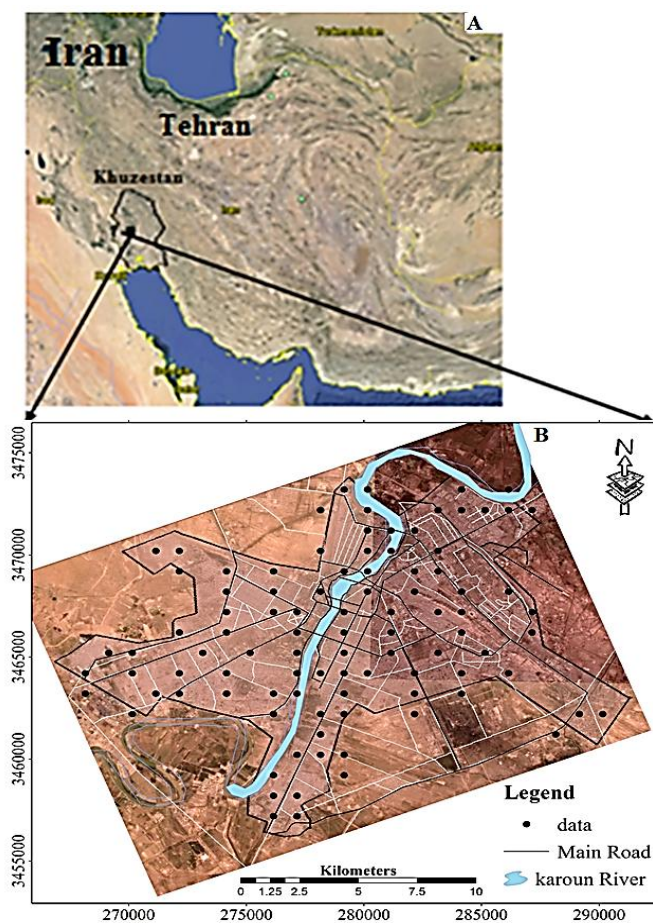
آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel و محاسبات شاخص‌ها و تهیه نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین به روش عکس فاصله (IDW) نیز به ترتیب توسط نرم‌افزارهای Excel و ArcGIS v10.3 انجام شد.

ارزیابی تعیین سطح آلودگی جیوه

فاکتور آلودگی: جهت تعیین آلودگی گردوغبار به جیوه از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شده است. 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):

$$CF = \frac{C \text{ metal}}{C \text{ background}} \quad [1]$$

در این معادله CF عبارت است از نسبت غلظت هر فلز (CF metal) به مقدار غلظت زمینه طبیعی آن فلز (C background). در این مطالعه از طبقه‌بندی هاکانسون برای فاکتور آلودگی (جدول ۱)، جهت ارزیابی آلودگی فلزات سنگین استفاده شد (۱۲).



شکل ۱. نقشه پراکندگی نقاط نمونه برداری در سطح شهر اهواز

جدول ۱. ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین براساس فاکتور آلودگی

شدت آلودگی	دامنه تغییرات CF
آلودگی کم	$CF < 1$
آلودگی متوسط	$1 \leq CF < 3$
آلودگی زیاد	$3 \leq CF < 6$
شدیداً آلوده	$CF \geq 6$

فاکتور غنی شدگی

تمایز فلزات با منشأ انسان زاد از فلزاتی که از هواپدگی طبیعی سنگ ها حاصل شده اند، بخش ضروری هر مطالعه زیست محیطی است. فاکتور غنی شدگی نشان دهنده مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به عبارت دیگر این فاکتور بیانگر

شدت تأثیر عوامل انسان زاد (آنتروپوژنیک) است. فاکتور غنی شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. این فاکتور در تحلیل های زیست محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان زاد و طبیعی است

جدول ۲. ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور غنی‌شدگی

شدت آلودگی	دامنه تغییرات EF
آلودگی کم	$EF < 2$
آلودگی متوسط	$2 \leq EF < 5$
آلودگی زیاد	$5 \leq EF < 20$
آلودگی بسیار زیاد	$20 \leq EF < 40$
آلودگی به شدت زیاد	$EF \geq 40$

که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۱۹).

شاخص از رابطه

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{\text{background}}} \quad [2]$$

در این رابطه: $EF =$ فاکتور غنی‌شدگی، $C_x =$ غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های گردوغبار و $C_{ref} =$ غلظت عنصر مرجع است.

عنصر مرجع در تعیین فاکتور غنی‌شدگی، عنصری است که منشأ کاملاً زمین‌شناسی داشته باشد. در تحقیقات زیست‌محیطی معمولاً از Sr, Al, Fe, Ti, Zr به‌عنوان عناصر مرجع استفاده می‌شود (۷). اگر میزان فاکتور غنی‌شدگی کم باشد، آلودگی چندان اهمیتی ندارد، زیرا معمولاً غنی‌شدگی‌های کوچک مقدار مربوط به اختلاف در ترکیب خاک‌های محلی و یا نوع عنصر مرجع مورد استفاده در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی است (۵). در منطقه مورد مطالعه، عنصر Sr به‌دلیل ماهیت ژئوشیمیایی، تغییرات بسیار ناچیز و تحرک کمی که در محیط از خود نشان می‌دهد، به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شد (۳۳). پنج گروه مختلف از مقادیر EF برای تحلیل مقادیر به‌دست آمده تعریف می‌شود که در (جدول ۲) نشان داده شد (۲۰).

شاخص زمین انباشتگی

در تحلیل‌های زیست‌محیطی، از شاخص زمین انباشتگی به‌منظور مشخص کردن سطوح آلوده استفاده می‌شود. این شاخص می‌تواند درجه آلاینده‌گی خاک را تعیین کند. شاخص زمین انباشتگی برای اولین بار توسط مولر (۲۰) ارائه شد. این

$$I_{geo} = \log_0 (C_n / 1.5 \times B_n) \quad [3]$$

به‌دست می‌آید. در این رابطه I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، C_n غلظت فلز سنگین موجود در گردوغبار خیابانی، B_n غلظت زمینه است. مقدار غلظت زمینه، مقدار مشخص از یک عنصر در خاک بوده که به‌عنوان آلودگی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته نمی‌شود (۶ و ۲۶). در این رابطه برای این که 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. براساس طبقه‌بندی مولر، هفت کلاس آلودگی را می‌توان در نظر گرفت (جدول ۳).

ریسک اکولوژیکی

در مطالعه حاضر برای به‌دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین از رابطه (۴) استفاده شد (۱۲)

$$CF = \frac{C_{\text{metal}}}{C_{\text{background}}} \quad Er = Tr \times CF \quad [4]$$

در این رابطه: $CF =$ فاکتور آلودگی، $Er =$ ریسک اکولوژیکی عنصر مورد بررسی، هاکانسون (۱۲) مقدار Tr را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین نام دارد برای جیوه عدد ۲۰ ارائه داد است. برای تحلیل مقادیر به‌دست آمده چهار گروه متفاوت تعریف می‌شود که در (جدول ۴) مشاهده می‌شوند.

نتایج و بحث

خلاصه‌ای از پارمترهای آماری غلظت جیوه در جدول (۵) ارائه

جدول ۳. ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین براساس شاخص زمین‌انباشتگی (۲۰)

شاخص زمین‌انباشتگی	درجه آلودگی
< ۰	غیر آلوده
۰-۱	غیر آلوده تا کمی آلوده
۱-۲	کمی آلوده
۲-۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۳-۴	خیلی آلوده
۴-۵	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
> ۵	شدیداً آلوده

جدول ۴. محدوده تغییرات E_r و میزان ریسک اکولوژیکی

ریسک اکولوژیکی (E_r)	طبقه بندی ریسک اکولوژیکی فلزات
$E_r < 40$	ریسک کم
$40 \leq E_r < 80$	ریسک متوسط
$80 \leq E_r < 160$	ریسک قابل توجه
$160 \leq E_r < 320$	ریسک زیاد
$E_r \geq 320$	ریسک خیلی زیاد

جدول ۵. خلاصه‌ای از پارمترهای آماری غلظت جیوه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در گردوغبار اهواز

نوع نمونه	حداقل - حداکثر	انحراف معیار \pm میانگین	چولگی	ضریب تغییرات
نمونه‌های اصلی	۸/۷۵-۰/۰۲	$2/53 \pm 1/97$	۰/۷۴	۷۸/۱۳
نمونه‌های زمینه	۰/۳۱-۰/۰۲	$0/04 \pm 0/65$	۰/۴۵	۱۶/۲۵

در مقایسه با بعضی از شهرهای جهان که در جدول (۶) ارائه شده‌اند، نشان‌دهنده بالا بودن مقدار میانگین این فلز نسبت به برخی از شهرهای پرجمعیت جهان مانند پکن (۰/۳۴) (۳۲)، شانگهای (۰/۱۴) (۲۴)، نانجینگ (۰/۱۲) (۱۳)، پائوچی (۱/۰۱) (۲۸)، تایپه (۱/۵۹) (۳۴)، هنگ‌کنگ (۰/۶۰) (۲۹)، اتاوا (۰/۰۲) (۲۲)، کوالا (۰/۱۰) (۷)، لوآندا (۰/۱۳) (۱۹) و شیراز (۱/۰۵) (۱۵) بیشتر بوده و همچنین این مقدار از شهر آبیلس کشور اسپانیا (۲/۵۶) (۲۱) کمتر است.

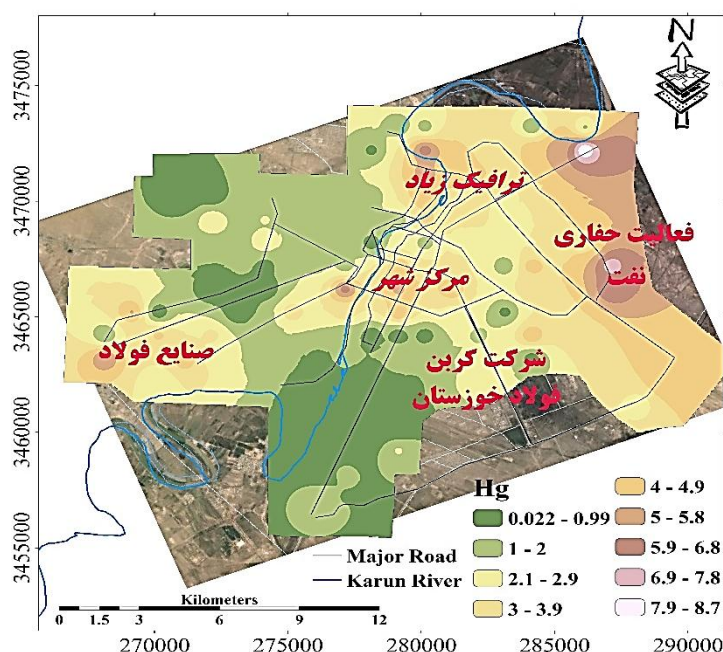
نقشه الگوی توزیع مکانی غلظت فلز جیوه در شکل (۲) ارائه شده است. الگوی توزیع مکانی غلظت جیوه به شناسایی مناطق با

شد. غلظت فلز جیوه در گردوغبار خیابانی منطقه مورد مطالعه از ۰/۰۲ تا ۸/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم با مقدار میانگین غلظت ۲/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده چندین برابر بودن مقدار میانگین غلظت این فلز نسبت به مقدار زمینه (۰/۰۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در واقع این مطلب این احتمال که غلظت بالای این فلز مربوط به منابع انسان‌زاد مثل ترافیک، تأسیسات صنعتی، تأسیسات تولید برق، بدسوزی، فعالیت‌های ساخت‌وساز و تعلیق دوباره خاک‌های آلوده باشد، را تقویت می‌بخشد.

مقدار میانگین غلظت جیوه در گردوغبار خیابانی شهر اهواز

جدول ۶. مقایسه میانگین غلظت جیوه (میلی گرم بر کیلوگرم) در گردوغبار اهواز و دیگر شهرها

منابع	جیوه	شهر
Xinmin et al., 2006	۰/۳۴	پکن (چین)
Shi et al., 2011	۰/۱۴	شانگهای (چین)
Hu et al., 2012	۰/۱۲	نانجینگ (چین)
Tang et al., 2013	۱/۱۰	پائوچی (چین)
Zhang et al., 2014 b	۱/۵۹	تایپه (تایوان)
Tanner et al., 2008	۰/۶۰	هنگ کنگ
Rasmussen et al., 2001	۰/۰۲	اتاوا (کانادا)
Christoforidis and Stamatis, 2009	۰/۱۰	کا والا (یونان)
Lu et al., 2009	۰/۱۳	لوآندا (آنگولا)
Ordonez et al., 2003	۲/۵۶	آیلس (اسپانیا)
Keshavarzi et al., 2015	۱/۰۵	شیراز (ایران)
This Study	۲/۵۳	اهواز (ایران)



شکل ۲. توزیع مکانی غلظت جیوه در شهر اهواز

صنعتی است که در واقع به نوع دیگری نظریه احتمال انسانزاد بودن غلظت بالای جیوه در شهر اهواز را تقویت می‌بخشد. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور آلودگی عنصر مورد مطالعه در جدول (۷) ارائه شد. مقادیر فاکتور آلودگی

آلودگی بالا و منابع آلودگی کمک می‌کند. در این مطالعه مشخص شد، بیشترین غلظت‌ها مربوط به مراکز شهری، مناطق نزدیک به جاده ساحلی رودخانه کارون، مناطق نزدیک به فعالیت‌های شرکت ملی نفت، حفاری، صنایع فولاد و مناطق نزدیک به شهرک‌های

جدول ۷. نتایج آماری فاکتور آلودگی غلظت جیوه در غبار خیابانی شهر اهواز

فاکتور آلودگی			تعداد نمونه‌ها			
مینیمم	ماکزیمم	میانگین	آلودگی کم	متوسط	بالا	بسیار بالا
۰/۴۹	۲۱۳/۴۱	۶۱/۷۹	۵	۴	۳	۸۳

جدول ۸. نتایج آماری فاکتور غنی‌شدگی عنصر جیوه در غبار خیابانی شهر اهواز

فاکتور غنی‌شدگی			تعداد نمونه‌ها				
مینیمم	ماکزیمم	میانگین	آلودگی کم	متوسط	بالا	بسیار بالا	به‌شدت بالا
۱/۵۰	۱۴۵۳/۰۴	۲۱۱/۳۳	۱	۶	۴	۶	۷۸

جدول ۹. نتایج آماری فاکتور زمین‌انباشتگی جیوه در غبار خیابانی شهر اهواز

تعداد نمونه‌ها در سطح آلودگی						
شدیداً آلوده	خیلی تا شدیداً آلوده	خیلی آلوده	کمی تا خیلی آلوده	کمی آلوده	غیر آلوده تا کمی آلوده	غیر آلوده
۴۹	۲۰	۱۱	۴	۲	۴	۵

در سطح آلودگی خیلی آلوده تا شدیداً آلوده، ۱۱/۵۸ درصد در سطح آلودگی خیلی آلوده، ۴/۲۱ درصد در سطح آلودگی کمی تا خیلی آلوده، ۲/۱۱ درصد در سطح کمی آلوده، ۴/۲۱ درصد در سطح آلودگی غیر آلوده تا کمی آلوده و ۵/۲۶ درصد غیر آلوده هستند. به‌طور کلی این شاخص نشان‌دهنده آلودگی کم تا شدید غلظت جیوه در گردوغبار خیابانی شهر اهواز است (جدول ۹).

برای بررسی میزان ریسک اکولوژیکی جیوه منطقه مورد مطالعه، مقادیر ریسک اکولوژیک محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تعداد ۱۳ نمونه (۱۳/۶۸ درصد) دارای ریسک اکولوژیک کم، تعداد شش نمونه (۶/۳۱ درصد) دارای ریسک اکولوژیک متوسط، تعداد ۱۲ نمونه (۱۲/۶۳ درصد) دارای ریسک اکولوژیک قابل توجه و ۶۴ نمونه (۶۷/۳۸ درصد) از نمونه‌ها، دارای ریسک اکولوژیک خیلی زیاد هستند. نتایج به‌دست آمده حاکی از بالا بودن میزان ریسک اکولوژیکی و غلظت خیلی زیاد و نگران کننده آلاینده‌ها در شهر اهواز است. نتایج حاصل از شاخص‌های محاسبه شده حاکی از آلودگی

برای جیوه ۰/۴۹ تا ۲۱۳/۴۱ است. با توجه به نتایج این فاکتور، ۸۷/۳۶ درصد نمونه‌ها در سطح آلودگی بسیار زیاد، ۳/۱۶ درصد در سطح آلودگی زیاد، ۴/۲۱ درصد در سطح آلودگی متوسط و ۵/۲۷ درصد در سطح آلودگی کم قرار داشتند. این مطلب در واقع نشان‌دهنده بالا بودن سطح آلودگی در گردوغبار خیابانی شهر اهواز است.

مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین فاکتور غنی‌شدگی عنصر مورد مطالعه در جدول (۸) ارائه شد. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای جیوه از ۱/۵۰ تا ۱۴۵۳/۰۴ با مقدار میانگین ۶۱/۷۹ برای جیوه متغیر است. نتایج این فاکتور نشان می‌دهد ۸۲/۱۰ درصد از نمونه‌ها در سطح شدیداً آلوده، ۶/۳۲ درصد از نمونه‌ها در سطح آلودگی بسیار شدید، ۴/۲۱ درصد از نمونه‌ها در سطح آلودگی زیاد، ۶/۳۲ درصد از نمونه‌ها در سطح آلودگی متوسط و ۱/۰۵ درصد از نمونه‌ها در سطح آلودگی کم قرار دارند.

مقادیر فاکتور زمین‌انباشتگی برای جیوه از ۱/۰۵- تا ۷/۱۵ متغیر است. با توجه به نتایج این فاکتور ۵۱/۵۸ درصد نمونه‌های جیوه در سطح آلودگی شدیداً آلوده، ۲۱/۰۵ درصد

غلظت جیوه در گردوغبار سطحی شهر اهواز نسبت به دیگر شهرهای دنیا با وجود جمعیت بیشتر شده است. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت و آلودگی جیوه در مناطقی وجود دارند که عواملی غیر از عوامل طبیعی (آندروپوژنیک) نظیر ترافیک سنگین، فرسایش، سایش لاستیک خودروها، خوردگی فلزات، سوخت‌های مصرفی و ... باعث افزایش جیوه در گردوغبارهای خیابانی می‌شود. نتایج فاکتور آلودگی، غنی‌شدگی و زمین‌انباشتگی نشان داد، خیابان‌های شهر اهواز شدیداً آلوده به جیوه 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 سوخت‌های مایع به گازی و استفاده از حمل‌ونقل عمومی پیشنهاد می‌شود.

ریسک قابل توجه و خیلی زیاد در نزدیکی مناطقی از جمله مرکز شهر با تراکم جمعیتی و حجم ترافیک بالا، مناطق نزدیک به شهرک‌های صنعتی، صنایع شیمیایی، فعالیت‌های حفاری شرکت نفت، صنایع بزرگی از جمله فولاد خوزستان و مقاطع ورودی شهر اهواز هستند. مناطق با آلودگی ریسک کم و متوسط در واقع مناطق توسعه یافته در چند دهه اخیر هستند که دارای ترافیک کم و تراکم جمعیتی پایین و صنایع کمتر هستند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به اندازه‌گیری میزان غلظت و تعیین سطح آلودگی جیوه در ۹۵ نمونه غبار خیابانی شهر اهواز پرداخته شد. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های شهری و صنعتی در سطح شهر اهواز و محدوده شهر هستند که منجر به افزایش

منابع مورد استفاده

۱. سام، م. ۱۳۹۰. بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر آلاینده در رسوبات دریاچه ی مهارلو از دیدگاه زیست‌محیطی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز.
2. Abraham, G. and R. Parker. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* 136: 227-238.
3. Al-Khashman, O. A. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health* 29: 1-10.
4. Biester, H., G. Müller and H. Schöler. 2002. Estimating distribution and retention of mercury in three different soils contaminated by emissions from chlor-alkali plants: part I. *Science of the Total Environment* 284: 177-189.
5. Cevik, U., N. Celik, A. Celik, N. Damla and K. Coskuncelebi. 2009. Radioactivity and heavy metal levels in hazelnut growing in the Eastern Black Sea Region of Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 47: 2351-2355.
6. Chen, T. B., Y. M. Zheng, H. Chen and G. D. Zheng. 2004. Background concentrations of soil heavy metals in Beijing. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue* 25: 117-122..
7. Christoforidis, A. and N. Stamatis. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma* 151: 257-263.
8. Feng, X., S. Tang, L. Shang, H. Yan, J. Sommar and O. Lindqvist. 2003. Total gaseous mercury in the atmosphere of Guiyang, PR China. *Science of the Total Environment* 304: 61-72.
9. Fu, X., X. Feng, J. Sommar and S. Wang. 2012. A review of studies on atmospheric mercury in China. *Science of the Total Environment* 421: 73-81.
10. Gallego, J. L., A. Ordóñez and J. Loredó. 2002. Investigation of trace element sources from an industrialized area (Aviles, northern Spain) using multivariate statistical methods. *Environment International* 27: 589-596.
11. Gillis, A. A. and D. R. Miller. 2000. Some local environmental effects on mercury emission and absorption at a soil surface. *Science of the Total Environment* 260: 191-200.
12. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14: 975-1001.

13. Hu, X., Y. Zhang, J. Luo, T. Wang, H. Lian and Z. Ding. 2011. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China. *Environmental Pollution* 159: 1215-1221.
14. Jiries, A. 2003. Vehicular contamination of dust in Amman, Jordan. *Environmentalist* 23: 205-210.
15. Keshavarzi, B., Z. Tazarvi, M. A. Rajabzadeh and A. Najmeddin. 2015. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment* 119: 1-10.
16. Khelifi, R. and A. Hamza-Chaffai. 2010. Head and neck cancer due to heavy metal exposure via tobacco smoking and professional exposure: a review. *Toxicology and Applied Pharmacology* 248: 71-88.
17. Li, P., X. Feng, G. Qiu, L. Shang and S. Wang. 2008. Mercury exposure in the population from Wuchuan mercury mining area, Guizhou, China. *Science of the Total Environment* 395: 72-79.
18. Lin, C. J. and S. O. Pehkonen. 1999. The chemistry of atmospheric mercury: a review. *Atmospheric Environment* 33: 2067-2079.
19. Lu, X., L. Wang, K. Lei, J. Huang and Y. Zhai. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials* 161: 1058-1062.
20. Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2: 108-118.
21. Ordonez, A., J. Loreda, E. De Miguel and S. Charlesworth. 2003. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 44(2): 0160-0170.
22. Rasmussen, P., K. Subramanian and B. Jessiman. 2001. A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Science of the Total Environment* 267: 125-140.
23. Schuster, P. F., D. P. Krabbenhoft, D. L. Naftz, L. D. Cecil, M. L. Olson, J. F. Dewild, D. D. Susong, J. R. Green, and M. L. Abbott. 2002. Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: a glacial ice core record of natural and anthropogenic sources. *Environmental Science and Technology* 36: 2303-2310.
24. Shi, G., Z. Chen, C. Bi, L. Wang, J. Teng, Y. Li and S. Xu. 2011. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmospheric Environment* 45: 764-771.
25. Shi, X., Chen, L., & Wang, J. (2013). Multivariate analysis of heavy metal pollution in street dusts of Xianyang city, NW China. *Environmental Earth Sciences* 69(6): 1973-1979.
26. Siegel, E. (2002). "Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals," Springer.
27. Sun, G., Li, Z., Bi, X., Chen, Y., Lu, S., and Yuan, X. (2013). Distribution, sources and health risk assessment of mercury in kindergarten dust. *Atmospheric Environment* 73: 169-176.
28. Tang, R., K. Ma, Y. Zhang and Q. Mao. 2013. The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. *Applied Geochemistry* 35: 88-98.
29. Tanner, P. A., H. L. Ma and P. K. Yu. 2008. Fingerprinting metals in urban street dust of Beijing, Shanghai, and Hong Kong. *Environmental Science and Technology* 42: 7111-7117.
30. Tong, S. T. and K. C. Lam. 2000. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong. *Science of the Total Environment* 256: 115-123.
31. WHO, F. and I. Iodine. 1996. Trace elements in human nutrition and health. *World Health Organization* 14: 49-47.
32. Xinmin, Z., L. Kunli, S. Xinzhang, T. Jian'an and L. Yilun. 2006. Mercury in the topsoil and dust of Beijing City. *Science of the Total Environment* 368: 713-722.
33. Yongming, H., D. Peixuan, C. Junji and E. S. Posmentier. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355: 176-186.
34. 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.

Contamination Level of Mercury in the Street Dust of Ahvaz City and its Spatial Distribution

H. Babaei¹, N. Ghanavati^{1*} and A. Nazarpour²

(Received: January 17-2017 ; Accepted: November. 5-2017)

Abstract

Dust particles are suspended particles created from various natural and anthropogenic sources. Dust particles contain toxic metals, such as mercury (Hg), which can have harmful effects on the human health. In this study, to investigate the contamination level of Hg in the street dust in Ahvaz, 95 dust samples were collected from the pavements in the main streets. The concentration of Hg in the collected samples was determined by the atomic absorption method (ASS). The contamination level was estimated based on indicators such as contamination factor (Cf), enrichment factor (EF), geo-accumulation index (I_{geo}) and ecological risk index (Er). The concentration value of mercury ranged from 0.02 to 8.75 mg/kg with an average of 2.53 mg/kg. The results of pollution indicators showed that the level of Hg contamination in the street dust of Ahvaz was a high level of contamination. In addition, the results of ecological risk assessment indicated that the ecological risk of Hg in the study area was very high. Spatial distribution pattern of Hg concentration showed that in areas with high population density, high traffic volume and industrial activities, there was a high pollution level of Hg.

Keywords: Mercury, 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