

ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی آرسنیک و برخی فلزات سنگین گردوغبار خیابانی مناطق صنعتی، تجاری و مسکونی شهر همدان در سال ۱۳۹۸ با استفاده از معیارهای سمیت‌شناسی محیطی

حسین حبیبی، سهیل سبحان اردکانی^{*}، مهرداد چراغی، بهاره لرستانی، مریم کیانی صدر

گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۸/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۵

چکیده

زمینه و هدف: عناصر کمیاب از شایع‌ترین آلاینده‌های خاک، ر سوب و گردوغبار در محیط‌های شهری هستند که از قابلیت ایجاد خطر برای سلامت انسان برخوردارند. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی مخاطره بوم‌شناختی و معیارهای سمیت‌شناسی محیطی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل گردوغبار خیابانی شهر همدان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه توصیفی، پس از جمع‌آوری ۳۷۸ نمونه گردوغبار از ۱۸ ایستگاه منتخب واقع در مناطق صنعتی، تجاری و مسکونی شهر همدان و سپس آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها در آزمایشگاه، محتوی عناصر به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry: ICP-OES) خوانده شد. همچنین، نسبت به محاسبه شاخص‌های خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی (Er) و خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی تجمعی (RI) و معیارهای سمیت‌شناسی محیطی عناصر در نمونه‌ها نیز اقدام شد. پردازش آماری نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام یافت. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های گردوغبار شهر همدان برابر با ۲/۳۱ برای آرسنیک، ۲۱۱ برای روی، ۶۵/۲ برای سرب، ۰/۲۲۵ برای کادمیم، ۴۱/۳ برای کروم، ۴۸/۸ برای مس و ۷۹/۲ برای نیکل بوده است. نتایج محاسبه شاخص Er نشان داد که خطر بوم‌شناختی همه عناصر "کم" و میانگین نزولی مقادیر شاخص برای عناصر به‌صورت کادمیم < آرسنیک < سرب < نیکل < مس < روی < کروم بوده است. از طرفی، با توجه به این‌که میانگین مقدار شاخص RI برابر با ۷۷/۰ بود، لذا، شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی تجمعی عناصر در نمونه‌های گردوغبار مورد مطالعه در دسته "مخاطره بوم‌شناختی کم" قرار داشت. بعلاوه، نتایج محاسبه معیارهای سمیت‌شناسی محیطی بر عدم قابلیت آلودگی محیطی عناصر گردوغبار شهر همدان دلالت داشت.

نتیجه‌گیری: هرچند میانگین مقادیر شاخص RI عناصر گردوغبار شهر همدان در محدوده کم خطر قرار داشت، ولی از آن‌جا که عنصر کادمیم با ۳۸/۲٪ و بدنبال آن عناصر آرسنیک و سرب بیش‌ترین سهم را در ایجاد مخاطره بوم‌شناختی داشته‌اند، از این‌رو، توجه به شناسایی و کنترل منابع انتشار این عناصر در محیط شهری باید بیش از پیش مدتوجه قرار گیرد. از طرفی، نسبت به پایش دوره‌ای خاک، رسوب و گردوغبار آلوده با قابلیت بروز خطر برای سلامت شهروندان توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: عناصر کمیاب، ارزیابی خطر، گردوغبار، سم‌شناسی محیطی

مقدمه

گردوغبار و بویژه ذرات ریز حاوی فلزات سنگین در آن‌ها، بعنوان منبع آلودگی بالقوه عناصر سمی در محیط شهری و از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سلامت انسان محسوب می‌شوند.^۱ بنابراین، محتوی ترکیبات و کمیت گردوغبار خیابانی را می‌توان بعنوان شاخص (Indicator) برای ارزیابی آلودگی محیط و بویژه در شهرهای بزرگ مورد مطالعه قرار داد.^{۲-۴}

باید توجه داشت که فلزات سنگین بدلیل برخورداری از نیم‌عمر طولانی، قابلیت تجمع‌زیستی، غیر قابل تجزیه بودن و پایداری زیاد در محیط و باقی گذاشتن اثرات فیزیولوژیکی حتی در مقادیر کم از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در این بین، عناصر ضروری (Essential Elements) مانند آهن، روی، مس و نیکل نقش مهمی در سیستم‌های زیستی دارند، ولی، آرسنیک، جیوه، سرب، کادمیم و کروم در زمره عناصر غیر ضروری بوده و حتی در مقادیر اندک نیز سمی هستند.^۵

ثابت شده است که عناصر کمیاب (Trace Elements) بعنوان شاخص‌های ارزیابی آلودگی محیط‌های خاک و رسوب تمایل دارند که در خاک سطحی تجمع یافته و اگر مقادیر آن‌ها در حد قابل توجه باشد، ممکن است بر سلامت افراد تأثیر سوء بگذارند.^۱ از آنجا که گردوغبار خیابان توسط عابران و یا ساکنان مجاور خیابان‌ها آزادانه استنشاق می‌شود، لذا، آلودگی گردوغبار خیابانی به فلزات سنگین و اثرات سلامتی ناشی از آن نگرانی‌های گسترده‌ای را در چند دهه گذشته در سطح جهان ایجاد کرده است.^۶

قرار گرفتن در معرض مقادیر زیاد آرسنیک می‌تواند به آسیب کبدی و کلیوی و از طرفی بروز سرطان ریه، مثانه و پوست منجر شود.^۷ روی نیز در حالت مازاد بر نیاز بدن به افزایش سلول‌های پیشرو مغز استخوان و کاهش تکثیر لنفوسیت‌های B و همچنین کاهش پاسخ آنتی‌بادی‌های سلول‌های T منجر می‌شود.^۸ سرب بعنوان یک عنصر بسیار

سمی و سرطانزا می‌تواند به بروز اختلال در عملکرد دستگاه گوارش، دستگاه عصبی مرکزی، اعصاب محیطی و سیستم خونساز و همچنین ناتوانی در یادگیری و تأخیر در رشد شناختی کودکان، اغماء و حتی مرگ منجر شود.^۹ قرار گرفتن در معرض کادمیم نیز به پوکی استخوان، صدمات کلیوی و کبدی، آسیب به ریه، کم‌خونی، فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و بویژه سرطان منجر می‌شود.^{۱۰،۱۱} نکرورز کبدی، التهاب کلیوی، خونریزی داخلی، مشکلات تنفسی، سرطان دستگاه گوارش و در نهایت مرگ نیز از عوارض قرار گرفتن در معرض کروم و بویژه شکل ۶ ظرفیتی آن است.^{۱۲} تجمع بیش‌تر از حد مجاز مس در بدن می‌تواند سبب بروز ناراحتی‌های شدید مخاطی، بروز حساسیت، سکت‌های مغزی، بی‌اشتهایی، بیش‌فعالی آدرنال، ریزش مو، افسردگی، صدمات وسیع مویرگی، اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، افزایش کلسترول، کم‌خونی، بروز صدمات کبدی، کلیوی و گوارشی، ابتلا به سرطان و حتی گاهی مرگ شود.^{۱۳،۱۴} قرار گرفتن در معرض مقادیر بیش‌تر از حد مجاز نیکل نیز می‌تواند باعث آسیب به سیستم عصبی، احساس در ماندگی و کم شدن تحرک، التهاب، ناهنجاری‌زایی، جهش‌زایی، اختلالات قلبی و سرطان ریه شود.^{۱۵،۱۶،۱۷}

هرچند تاکنون در خصوص بررسی محتوی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی چندین مطالعه در سرتاسر جهان انجام شده است.^{۱۶-۶،۲۴} ولی در خصوص ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی و بویژه در ایران مطالعات اندکی انجام یافته است. در این خصوص می‌توان به مطالعه سعیدی و همکاران (۲۰۱۲) که طی آن نسبت به ارزیابی آلودگی و خطر بوم‌شناختی عناصر آهن، روی، سرب، کادمیم، کروم، لیتیم، مس، منگنز و نیکل در گردوغبار خیابانی تهران اقدام شد.^{۲۵} مطالعات کمانی و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) که طی آن‌ها نسبت به ارزیابی آلودگی و خطر بوم‌شناختی عناصر

محتوی عناصر در آن‌ها

در این پژوهش توصیفی-مقطعی، با استفاده از فرمول تعیین حجم نمونه کوکران، در مجموع تعداد ۳۷۸ نمونه گردوغبار خیابانی از ۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری واقع در ۶ منطقه صنعتی، ۶ منطقه تجاری و ۶ منطقه مسکونی شهر همدان که از بیش‌ترین حجم تردد روزانه و یا سکونت شهروندان برخوردار بودند، طی ۷ دوره زمانی در سال ۱۳۹۸ (از اواسط فروردین‌ماه تا اواسط مهرماه) از طریق تراشیدن پیاده‌رو با کفگیر و بیلچه چوبی جمع‌آوری شد. نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است. سپس نمونه‌های گردوغبار بمدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و پس از آن توسط هاون خرد و با الک ۰/۹ میلی‌متری غربال شدند. برای هضم نمونه‌ها، به یک گرم از هر نمونه گردوغبار، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ افزوده و محلول حاصل تا رسیدن به دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هیتر حرارت داده شد. پس از سرد شدن محلول باقی‌مانده تا دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت به رفلاکس محلول بمدت ۱۵ دقیقه اقدام شد. در مرحله بعد، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ به هر محلول اضافه شد و فرآیند رفلاکس بمدت ۳۰ دقیقه تکرار شد. این فرآیند با افزودن ۲ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر و ۳ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید به هر محلول تا زمان فروکش کردن جوش و خروش و خنک شدن محلول‌ها ادامه یافت.^{۳۱،۵}

در خاتمه، پس از ساخت محلول مادر و استاندارد عناصر مورد مطالعه و کالیبراسیون دستگاه ICP-OES مدل 710-ES ساخت شرکت واریان (Varian) استرالیا، غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل به ترتیب در طول موج‌های ۱۸۸/۹۸۰، ۲۰۶/۲۰۰، ۲۲۰/۳۵۳، ۲۲۶/۵۰۲، ۲۶۷/۷۱۶، ۳۲۴/۷۵۴ و ۲۳۱/۶۰۴ نانومتر خوانده شد. همچنین کنترل کیفیت (Quality Control) و تضمین کیفیت (Quality Assurance) هر دو با استفاده از مرجع استاندارد (SRM)

روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل در گردوغبار خیابانی شهرهای تهران و اسلام‌شهر اقدام شد^{۲۶،۲۷}.

مطالعه قنواتی (۲۰۱۸) که طی آن نسبت به ارزیابی آلودگی و خطر بوم‌شناختی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کبالت، کروم، مس، نیکل و وانادیم در گردوغبار خیابانی شهر آبادان اقدام شد^{۲۸} و یا مطالعه صادق‌دوست و همکاران (۲۰۲۰) که طی آن نسبت به ارزیابی آلودگی و خطر بوم‌شناختی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کبالت، کروم، مس، نیکل و وانادیم در گردوغبار خیابانی شهر دزفول اقدام شد^{۲۹}، اشاره کرد.

نظر به اهمیت و ضرورت پایش فلزات سنگین در محیط‌های شهری و کمبود اطلاعات در این خصوص بویژه در شهر همدان، در این تحقیق برای اولین بار نسبت به تعیین محتوی، ارزیابی خطر بوم‌شناختی و معیارهای سمیت شناسی محیطی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل در گردوغبار خیابانی مناطق صنعتی، تجاری و مسکونی شهر همدان در سال ۱۳۹۸ اقدام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کلانشهر همدان با مساحت ۵۶ کیلومتر مربع و جمعیت ساکن بیش‌تر از ۵۵۰۰۰۰ نفر، در غرب ایران در ارتفاع حدود ۱۸۵۰ متر از سطح دریا و بین ۴۸ درجه ۳۱ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۴ درجه ۴۸ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است. میانگین بارندگی و همچنین میانگین دمای سالانه این ناحیه به ترتیب ۳۱۷/۷ میلی‌متر و ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است^{۳۰،۵}.

نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و قرائت

ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی آرسنیک و برخی فلزات سنگین گردوغبار خیابانی مناطق صنعتی، تجاری و مسکونی شهر همدان

$$C_f^i = \frac{C_s^i}{C_n^i} \quad (1)$$

$$E_r^i = T_i \cdot C_f^i \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (3)$$

در روابط ۱ و ۲:

C_n^i ، C_f^i و T_i به ترتیب بیانگر غلظت عنصر در نمونه گردوغبار بر حسب میلی گرم در کیلوگرم، غلظت زمینه عنصر بر اساس میانگین غلظت در کانی شیل (Shale) یا پوسته بر حسب میلی گرم در کیلوگرم، ضریب آلودگی هر عنصر و فاکتور پاسخ سمیت (Toxic Response Factor of Element) هر عنصر (برابر با ۱، ۵، ۳۰، ۲، ۵ و ۵ به ترتیب برای عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل) است.^{۴،۲۵،۳۵}

مطابق الگوی Hakanson، طبقه‌بندی آرایه شده برای Er و RI به شرح مندرج در جدول ۱ است.^{۳۲،۳۶}

جدول ۱. طبقه‌بندی مقادیر ضریب خطر بوم‌شناختی بالقوه و شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی تجمعی عناصر

RI		E_r^i	
دسته	محدوده	دسته	محدوده
مخاطره بوم‌شناختی کم	< ۱۵۰	خطر کم	< ۴۰
مخاطره بوم‌شناختی متوسط	۱۵۰ < < ۳۰۰	خطر متوسط	۴۰ < ≤ ۸۰
مخاطره بوم‌شناختی قابل توجه	۳۰۰ < < ۶۰۰	خطر قابل توجه	۸۰ < ≤ ۱۶۰
مخاطره بوم‌شناختی زیاد	> ۶۰۰	خطر زیاد	۱۶۰ < ≤ ۳۲۰
		خطر خیلی زیاد	> ۳۲۰

که غلظت زمینه عنصر از غلظت اثر احتمالی (PEC) بزرگ‌تر باشد، بیانگر آلودگی محیطی خواهد بود.

پردازش آماری نتایج

برای پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov Test) برای بررسی

SQC-001 ساخت شرکت سیگما-آلدريج اسپانیا تعیین شدند.^{۲۰} نتایج نشان داد که دقت خوب با نرخ بازیابی (Recovery Rate) ۹۶/۱۰۰-۴/۸٪ برای آرسنیک، ۱۰۳/۵-۹۷/۴٪ برای روی، ۹۵/۸-۱۰۱/۷٪ برای سرب، ۹۷/۱-۱۰۲/۶٪ برای کروم، ۹۵/۹-۱۰۰/۳٪ برای کادمیم، ۹۴/۸-۱۰۰/۳٪ برای نیکل حاصل شده است.

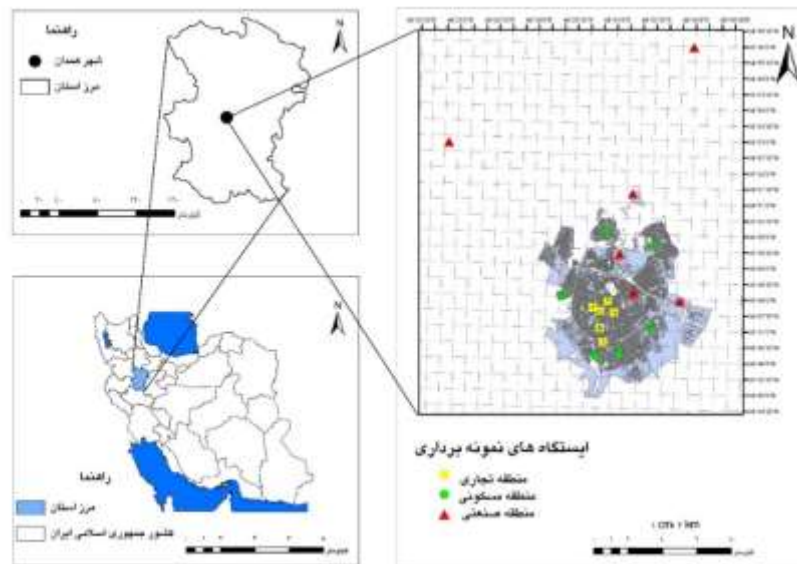
ارزیابی خطر بوم‌شناختی و معیارهای سمیت‌شناسی محیطی عناصر

برای محاسبه ضریب خطر بالقوه بوم‌شناختی (E_r^i) هر عنصر و از طرفی شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی تجمعی عناصر در گردوغبار (RI) از روابط ۱ تا ۳ استفاده شد.^{۳۲-۲۵،۳۴}

در این مطالعه، معیارهای سمیت‌شناسی محیطی (Ecotoxicological Criteria) نیز مطابق الگوی آرایه شده توسط مک دونالد و همکاران (۲۰۰۰) ارزیابی شد.^{۳۷} بدین صورت که، اگر غلظت زمینه عنصر از غلظت اثر آستانه (TEC) کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده عدم آلودگی محیطی و در مواقعی

میانگین غلظت عناصر نمونه‌های گردوغبار بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و همچنین مقایسه بین مناطق تجاری، مسکونی و صنعتی از حیث میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های گردوغبار استفاده شد.

نرمال بودن توزیع داده‌ها و از آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) و بدنبال آن آزمون تعقیبی دانکن (Duncan Multiple Range Test) و همچنین تی مستقل (Independent t-test) نیز به‌ترتیب برای مقایسه



شکل ۱. نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری از گردوغبار شهر همدان.

یافته‌ها

آمار توصیفی مربوط به محتوی عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های گردوغبار شهر همدان به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. آمار توصیفی محتوی عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های گردوغبار شهر همدان.

عنصر (میلی‌گرم در کیلوگرم)*							ایستگاه
نیکل	مس	کروم	کادمیم	سرب	روی	آرسنیک	
۷۸/۳bcde	۳۷/۴bcd	۵۸/۰hij	۰/۱۸۶abc	۸۹/۰ij	۱۴۹ab	۲/۷۹Ef**	تجاری (۱)
۷۹/۷cdef	۴۸/۷defgh	۵۴/۴hi	۰/۱۶۰abc	۹۸/۰j	۱۹۹abcd	۲/۸۴ef	تجاری (۲)
۸۰/۶cdef	۴۱/۸cdef	۴۰/۸ef	۰/۲۰۴abcd	۶۹/۳efgh	۱۶۸abc	۲/۴۷de	تجاری (۳)
۸۸/۱fg	۶۳/۵hi	۶۳/۸ij	۰/۳۵۶de	۸۶/۷hij	۱۸۰abcd	۲/۱۹cde	تجاری (۴)
۸۱/۵cdef	۴۱/۳cde	۳۳/۴cde	۰/۲۰۶abcd	۵۸/۹cdefg	۲۲۹cde	۱/۵۹bcd	تجاری (۵)
۸۳/۴def	۲۵/۲ab	۸/۲۶a	۰/۰۷۹a	۳۹/۰abc	۱۷۰abc	۰/۷۰۱a	تجاری (۶)
۶۸/۱a	۲۹/۵abc	۲۲/۲b	۰/۱۴۳abc	۳۴/۸ab	۱۵۳ab	۱/۱۷ab	مسکونی (۷)
۷۳/۱abc	۲۱/۵a	۳۸/۹def	۰/۱۱۴ab	۶۰/۳defg	۱۳۱a	۰/۶۲۰a	مسکونی (۸)

۷۰/۹ab	۵۴/۰efghi	۵۷/۲hij	۰/۲۲۱abcd	۷۷/۴ghi	۲۱۳bcde	۲/۱۴cde	مسکونی (۹)
۷۴/۴abc	۵۵/۶efghi	۲۹/۵bc	۰/۲۸۴cde	۵۱/۲bcde	۲۱۵bcde	۲/۵۶e	مسکونی (۱۰)
۸۰/۶cdef	۴۷/۵defgh	۲۷/۷bc	۰/۱۹۰abc	۴۶/۹abcd	۱۵۳ab	۲/۳۴de	مسکونی (۱۱)
۷۵/۸abcd	۳۱/۳abc	۲۶/۳bc	۰/۱۴۳abc	۳۱/۱a	۲۰۴abcd	۱/۳۸abc	مسکونی (۱۲)
۹۵/۸g	۹۷/۷j	۴۵/۱fg	۰/۴۱۴e	۶۸/۷efgh	۳۴۴f	۴/۰۳g	صنعتی (۱۳)
۸۶/۰ef	۵۳/۵defghi	۲۷/۷bc	۰/۲۱۶abcd	۵۷/۰cdef	۲۵۲de	۳/۸۴g	صنعتی (۱۴)
۸۸/۱fg	۴۳/۷cdefg	۳۱/۱bcd	۰/۱۵۹abc	۴۴/۶abcd	۲۷۸ef	۳/۵۷fg	صنعتی (۱۵)
۷۸/۲bcde	۶۹/۲i	۵۰/۰gh	۰/۴۲۳e	۹۱/۱ij	۲۳۹cde	۲/۸۹ef	صنعتی (۱۶)
۶۹/۹ab	۵۸/۶ghi	۶۵/۵j	۰/۲۶۱bcd	۹۳/۴ij	۲۳۲cde	۲/۱۶cde	صنعتی (۱۷)
۷۳/۵abc	۵۷/۸fghi	۶۳/۲ij	۰/۲۹۹cde	۷۵/۲fghi	۲۸۳ef	۲/۲۱cde	صنعتی (۱۸)
۵۵/۰	۱۰/۴	۶/۰۰	۰/۰۳۰	۲۲/۰	۸۵/۲	۰/۱۵	کمینه
۱۰۷	۱۶۴	۸۷/۴	۰/۹۴۰	۱۵۹	۴۲۶	۶/۲۰	بیشینه
۲۰۲	۷۹/۳	۶۴/۳	۴۶/۰	۳۹/۵	۰/۱۹۰	۲/۳۰	میانه
۷۹/۲	۴۸/۸	۴۱/۳	۰/۲۲۵	۶۵/۲	۲۱۱	۲/۳۱	میانگین
۹/۶۵	۲۱/۵	۱۷/۹	۰/۱۵۲	۲۵/۹	۷۷/۱	۱/۱۷	انحراف معیار
۱۲/۰	۴۴/۰	۴۳/۰	۶۸/۰	۴۰/۰	۳۷/۰	۵۱/۰	ضریب تغییرات (%)
۰/۷۸۴	۰/۹۹۶	۰/۹۲۵	۱/۸۸۶	۰/۸۰۰	۱/۵۲۴	۰/۶۲۹	آزمون K-Sp
۴۵/۷	۲۸/۳	۲۰/۸	۰/۲۳۰	۳۴/۲	۴۰/۲	۲/۰۰	غلظت زمینه ۳۵،۴۰-۳۸
۱۸/۰	۳۵/۷	۳۷/۳	۰/۵۹۶	۳۵/۰	۱۲۳	۵/۹۰	^{۳۷} TEC
۳۶/۰	۱۹۷	۹۰/۰	۳/۵۳	۹۱/۳	۳۱۵	۱۷/۰	^{۳۷} PEC

* مقادیر مربوط به میانگین غلظت سه تکرار است.

** حروف غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) آماری بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های گردوغبار بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک-طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) است. بدین صورت که، حروف غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های گردوغبار است.

نتایج مندرج در جدول ۲ بیانگر آن است که محتوی عناصر (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های گردوغبار شهر همدان در محدوده ۰/۱۵ تا ۶/۲۰ با میانگین غلظت ۲/۳۱ برای آرسنیک، در محدوده ۸۵/۲ تا ۴۲۶ با میانگین غلظت ۲۱۱ برای روی، در محدوده ۲۲/۰ تا ۱۵۹ با میانگین غلظت ۶۵/۲ برای

سرب، در محدوده ۰/۰۳۰ تا ۰/۹۴۰ با میانگین غلظت ۰/۲۲۵ برای کادمیم، در محدوده ۶/۰۰ تا ۸۷/۴ با میانگین غلظت ۴۱/۳ برای کروم، در محدوده ۱۰/۴ تا ۱۶۴ با میانگین غلظت ۴۸/۸ برای مس و در محدوده ۵۵/۰ تا ۱۰۷ با میانگین غلظت ۷۹/۲ برای نیکل بوده است. از طرفی نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که مقادیر همه عناصر در نمونه‌های گردوغبار از توزیع نرمال برخوردار بوده است ($p > ۰/۰۵$). در خصوص نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس یک-طرفه و چند دامنه‌ای دانکن بعنوان مثال، می‌توان اذعان داشت که بدلیل وجود حروف مشترک، بین ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ و یا بین ایستگاه‌های ۶، ۷ و ۸ از حیث میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌های گردوغبار اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. همین تفاسیر را می‌توان در مورد سایر عناصر نیز ارایه کرد.

مقادیر عناصر آرسنیک، روی، کادمیم و مس مشاهده شد. علاوه بر این، از نظر میانگین مقادیر عناصر سرب، کروم و نیکل بین مناطق تجاری و مسکونی اختلاف معنی‌دار آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده شد.

بر اساس نتایج آزمون تی مستقل، از حیث میانگین محتوی عناصر سرب، کروم و نیکل اختلاف معنی‌دار آماری ($p < 0.01$) بین مناطق مسکونی و صنعتی وجود داشت. در حالی‌که، بین مناطق تجاری و صنعتی و همچنین بین مناطق مسکونی و صنعتی اختلاف معنی‌دار آماری ($p < 0.01$) از حیث میانگین

جدول ۳. نتایج ارزیابی مخاطره بالقوه عناصر در نمونه‌های گردوغبار شهر همدان.

ایستگاه	E_T^I								درجه خطر بوم‌شناختی
	آرسنیک	روی	سرب	کادمیم	کروم	مس	نیکل	RI	
۱	۱۳/۹	۳/۷۱	۱۳/۰	۲۴/۳	۵/۵۸	۶/۶۱	۸/۵۷	۷۵/۷	کم
۲	۱۴/۲	۴/۹۵	۱۴/۳	۲۰/۹	۵/۲۳	۸/۶۰	۸/۷۲	۷۶/۹	کم
۳	۱۲/۳	۴/۱۸	۱۰/۱	۲۶/۶	۳/۹۲	۷/۳۸	۸/۸۲	۷۳/۴	کم
۴	۱۰/۹	۴/۴۸	۱۲/۷	۴۶/۴	۶/۱۳	۱۱/۲	۹/۶۴	۱۰۲	کم
۵	۷/۹۵	۵/۷۰	۸/۶۱	۲۶/۹	۳/۲۱	۷/۳۰	۸/۹۲	۶۸/۶	کم
۶	۳/۵۱	۴/۲۳	۵/۷۰	۱۰/۳	۰/۷۹۴	۴/۴۵	۹/۱۲	۳۸/۱	کم
۷	۵/۸۵	۳/۸۱	۵/۰۹	۱۸/۷	۲/۱۳	۵/۲۱	۷/۴۵	۴۸/۲	کم
۸	۳/۱۰	۳/۲۶	۸/۸۲	۱۴/۹	۳/۷۴	۳/۸۰	۸/۰۰	۴۵/۶	کم
۹	۱۰/۷	۵/۳۰	۱۱/۳	۲۸/۸	۵/۵۰	۹/۵۴	۷/۷۶	۷۸/۹	کم
۱۰	۱۲/۸	۵/۳۵	۷/۴۸	۳۷/۰	۲/۸۴	۹/۸۲	۸/۱۴	۸۳/۵	کم
۱۱	۱۱/۷	۳/۸۱	۶/۸۶	۲۴/۸	۲/۶۶	۸/۳۹	۸/۸۲	۶۷/۰	کم
۱۲	۶/۹۰	۵/۰۷	۴/۵۵	۱۸/۶	۲/۵۳	۵/۵۳	۸/۲۹	۵۱/۵	کم
۱۳	۲۰/۲	۸/۵۶	۱۰/۰	۵۴/۰	۴/۳۷	۱۷/۳	۱۰/۵	۱۲۵	کم
۱۴	۱۹/۲	۶/۲۷	۸/۳۳	۲۸/۲	۲/۶۶	۹/۴۵	۹/۴۱	۸۳/۵	کم
۱۵	۱۷/۹	۶/۹۲	۶/۵۲	۲۰/۷	۲/۹۹	۷/۷۲	۹/۶۴	۷۲/۴	کم
۱۶	۱۴/۴	۵/۹۴	۱۳/۴	۵۵/۲	۴/۸۱	۱۲/۲	۸/۵۶	۱۱۵	کم
۱۷	۱۰/۸	۵/۷۷	۱۳/۷	۳۴/۰	۶/۳۰	۱۰/۴	۷/۶۵	۸۸/۶	کم
۱۸	۱۱/۱	۷/۰۴	۱۱/۰	۳۹/۰	۶/۰۸	۱۰/۲	۸/۰۴	۹۲/۴	کم
میانگین	۱۱/۵۲	۵/۲۴	۹/۵۳	۲۹/۴	۳/۹۷	۸/۶۲	۸/۶۷	۷۷/۰	کم

و نیکل به ترتیب برابر با ۱۱/۵۲، ۵/۲۴، ۹/۵۳، ۲۹/۴، ۳/۹۷، ۸/۶۲ و ۸/۶۷ با ترتیب نزولی کادمیم < آرسنیک < سرب < نیکل < مس < روی < کروم بوده است. لذا، با استناد به دسته‌بندی ارایه شده برای شاخص، می‌توان اذعان داشت که

نتایج محاسبه شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار مناطق تجاری، مسکونی و صنعتی شهر همدان (جدول ۳) نشان داد که میانگین مقادیر شاخص برای عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس

خطر بوم‌شناختی همه عناصر "کم" بوده است. از طرفی، با توجه به این‌که میانگین مقدار شاخص RI برابر با ۷۷/۰ بود، لذا، شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی تجمعی عناصر در نمونه‌های گردوغبار مورد مطالعه در دسته "مخاطره بوم‌شناختی کم" قرار داشت.

بعلاوه، از آن‌جا که غلظت زمینه همه عناصر مورد مطالعه از غلظت اثر آستانه کوچک‌تر بود (جدول ۲)، لذا، مقادیر محاسبه شده معیارهای سمیت‌شناسی محیطی بر عدم قابلیت آلودگی محیطی عناصر گردوغبار شهر همدان دلالت دارد.

بحث

نتایج این پژوهش که با هدف ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی و معیارهای سمیت‌شناسی محیطی عناصر کمیاب در ۳۷۸ نمونه گردوغبار خیابانی مناطق صنعتی، تجاری و مسکونی شهر همدان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت، نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل در نمونه‌ها به ترتیب برابر با ۲/۳۱، ۲۱۱، ۶۵/۲، ۰/۲۲۵، ۴۱/۳، ۴۸/۸ و ۷۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (جدول ۲). با استناد به یافته‌ها، ترتیب نزولی مقادیر میانه محتوی عناصر در نمونه‌ها یعنی روی < نیکل < سرب < مس < کروم < آرسنیک < کادمیم می‌تواند بیان‌گر تغییرات متمایز محتوی عناصر در بین نمونه‌های گردوغبار و همچنین تنوع در منشاء آن‌ها بواسطه شدت و نحوه فعالیت‌های انسانی باشد^{۴۱}. از طرفی، مقایسه مقادیر میانه آرسنیک و کادمیم با مقادیر غلظت زمینه^{۳۸،۳۹} نشان داد که این عناصر در نمونه‌های گردوغبار خیابانی منطقه مورد مطالعه ممکن است کم‌تر تحت تأثیر عوامل خارجی (Extrinsic Factors) قرار گرفته باشند. با این حال، از آن‌جا که کادمیم و آرسنیک به ترتیب با ضریب تغییر ۶۸٪ و ۵۱٪، از بیش‌ترین نرخ تغییر در بین نمونه‌های گردوغبار خیابانی برخوردار بودند، می‌توان اذعان داشت که مقادیر این عناصر در نمونه‌ها، احتمالاً بیش‌ترین تأثیرپذیری را از فعالیت‌های انسانی

داشته‌اند^{۴۲-۳۵}. همچنین، با استناد به نتایج، عنصر نیکل با ضریب تغییر برابر با ۱۲٪، از محتوی تقریباً ثابتی در کل سایت‌های نمونه‌برداری برخوردار بوده است. به بیان دیگر، مقادیر کم‌تر ضریب تغییر نیکل در مقایسه با دیگر عناصر، بیان‌گر آن است که این عنصر از توزیع نسبتاً همگن در نمونه‌های گردوغبار خیابانی منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده است. در پژوهش‌های مشابه، فریرا-پاپتیستا و دی میگل (۲۰۰۵) با مطالعه نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر لواندا در آنگولا اذعان داشتند که عناصر سرب (۶۸٪)، روی (۵۶٪) و کادمیم (۴۳٪) با برخورداری از بیش‌ترین ضریب تغییرات در بین نمونه‌ها، بیشینه تأثیرپذیری را از عوامل خارجی داشته‌اند^{۴۸}. از طرف دیگر، یافته‌های مطالعه لو و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که بیش‌ترین ضریب تغییر عناصر در نمونه‌های گردوغبار خیابانی شهر بائوجی چین بواسطه تأثیر عوامل خارجی به ترتیب با ۷۲٪، ۶۱٪ و ۴۵٪ مربوط به عناصر سرب، نیکل و روی بوده است^{۲۰}.

علاوه بر این، مقادیر بالای عنصر روی در نمونه‌های گردوغبار در مقایسه با سایر عناصر مورد مطالعه را بیش‌تر می‌توان با فعالیت‌های صنعتی مرتبط دانست تا انتشار گازهای خروجی از آگروز خودروها^{۴۵}. کما این‌که، در سایر پژوهش‌هایی که طی آن‌ها نسبت به بررسی محتوی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی اقدام شده است، چون و همکاران (۱۹۹۵)^{۴۶} با انجام مطالعه در شهر سئول، دی میگوئل و همکاران (۱۹۹۷)^{۴۷} با انجام مطالعه در شهرهای مادرید و اسلو، راسموسن و همکاران (۲۰۰۱)^{۴۸} با انجام مطالعه در شهر اوتاوا، بانرجی (۲۰۰۳)^{۴۹} با انجام مطالعه در شهر دهلی، چارلزورت و همکاران (۲۰۰۳)^{۵۰} با انجام مطالعه در شهرهای بیرمنگام و کاونتری، دوزگورن-آیدین و همکاران (۲۰۰۶)^{۴۹} با انجام مطالعه در شهر گوانگژو، هان و همکاران (۲۰۰۶)^{۵۰} با انجام مطالعه در شهر شیان، لو و همکاران (۲۰۱۰)^{۲۰} با انجام مطالعه در شهر باوجی، ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)^{۵۱} با انجام مطالعه در

شهر شانگهای، لی و همکاران (۲۰۱۳)^{۲۲} با انجام مطالعه در شهر نانجینگ و خو و همکاران (۲۰۱۵)^{۲۱} با انجام مطالعه در شهر بائوتو، نتایج مشابهی را گزارش کردند.

نتایج مقایسه محتوی کل عناصر در نمونه‌های گردوغبار مورد مطالعه (به جز سرب) در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری ترتیب نزولی مناطق صنعتی < مناطق تجاری < مناطق مسکونی و برای عنصر سرب نیز ترتیب نزولی مناطق تجاری < مناطق صنعتی < مناطق مسکونی را نشان داد (جدول ۲).

نتایج محاسبه شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی (PER) عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های گردوغبار شهر همدان نشان داد که کمینه و بیشینه مقادیر شاخص با ۰/۷۹۴ و ۵۵/۲ به ترتیب مربوط به عنصر کروم نمونه‌های برداشت شده از مناطق تجاری و عنصر کادمیم نمونه‌های برداشت شده از مناطق صنعتی بوده است (جدول ۳). از طرفی، میانگین مقادیر تجمعی شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی همه عناصر در نمونه‌های گردوغبار با ۷۷/۰، بیان‌گر "خطر بوم‌شناختی کم" عناصر در نمونه‌ها بود. از دیگر سو، نتایج محاسبه شاخص RI بیان‌گر آن بود که ۱۰۰٪ مقادیر محاسبه شده شاخص، کم‌تر از ۱۵۰ بود و عناصر کروم و کادمیم با ۵/۱۵٪ و ۳۸/۲٪ به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین سهم را در ایجاد خطر بوم‌شناختی داشته‌اند. از این‌رو، توجه به کنترل منابع احتمالی انتشار فلز کادمیم در محیط شهری همدان از جمله احتراق سوخت‌های فسیلی ناشی از تردد وسایل نقلیه موتوری و ترافیک شهری، استهلاک لنت ترمز وسایل نقلیه، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی بویژه کودهای فسفاته و استفاده از لجن فاضلاب و کودهای آلی همچون کمپوست در پارک‌ها و فضای سبز حاشیه خیابان‌ها^{۳۴،۵۲،۵۳} و کنترل و مدیریت آن‌ها باید بیش‌تر مدتوجه قرار گیرد. البته نباید نقش عنصر سرب با ۱۲/۴٪ و منابع تولید آن بویژه احتراق سوخت‌های فسیلی و باقی‌مانده این عنصر در مخازن سوخت و باک خودروها^{۵۴} در ایجاد خطرپذیری بوم‌شناختی را نادیده گرفت. بجز موارد اشاره شده در بالا، بررسی سنگ بستر منطقه

شهری همدان و پیرامون آن، حاکی از آن است که سنگ کف سازه‌های شهری و رسوبات نامتراکم زیر آن، از سنگ‌های اسلیتی تشکیل شده است که بدلیل توانایی جذب یون‌های فلزی حاوی مقادیر قابل توجه از عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم و مس هستند^{۵۳}. لذا، حضور عناصر سمی آرسنیک، سرب و کادمیم در گردوغبار خیابانی شهر همدان را می‌توان با هوازگی سنگ بستر نیز مرتبط دانست. علاوه بر این، نمی‌توان از کاربرد گسترده سموم آفت‌کش حاوی آرسنیک (Arsenical Pesticides) در زمین‌های کشاورزی حاشیه شهر^{۵۵} بعنوان منبع بالقوه انتشار این عنصر در محیط چشم‌پوشی کرد. در این خصوص، سعیدی و همکاران (۲۰۱۲) پس از ارزیابی خطر بوم‌شناختی عناصر روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل در گردوغبار خیابانی شهر تهران گزارش کردند که عناصر کروم و کادمیم با ۰/۰۴٪ و ۹۳٪ به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین سهم را در ایجاد خطر بوم‌شناختی داشته‌اند. از طرفی، میانگین ارزش شاخص RI با ۱۷۳۰، در طبقه "خطر بوم‌شناختی زیاد" قرار داشته^{۲۵}. سلطانی و همکاران (۲۰۱۵) نیز با ارزیابی خطرآفرینی بوم‌شناختی عناصر آرسنیک، روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل در گردوغبار خیابانی شهر اصفهان نتیجه گرفتند عنصر روی با میانگین غلظت ۷۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم از بیش‌ترین نرخ توزیع در نمونه‌ها برخوردار بوده است. از طرفی، عناصر کادمیم و سرب بیش‌ترین سهم را در ایجاد خطر بوم‌شناختی در مقایسه با سایر عناصر داشته‌اند^{۵۶}. حیدری ساربان و صائب (۲۰۱۸) با ارزیابی خطرآفرینی بوم‌شناختی عناصر روی، سرب، کادمیم، کروم و مس در گردوغبار خیابانی شهر تبریز نتیجه گرفتند که میانگین شاخص عناصر با ۱۷۷۳، در طبقه "خطر بوم‌شناختی زیاد" قرار داشته و عنصر کادمیم نیز با ۹۴/۲٪ از بیش‌ترین سهم در ایجاد خطر بوم‌شناختی در مقایسه با سایر عناصر برخوردار بوده است^{۲۴}. در پژوهشی دیگر، کمانی و همکاران (۲۰۱۷) با ارزیابی خطرآفرینی بوم‌شناختی عناصر روی، سرب، کادمیم، کروم، مس و نیکل در گردوغبار خیابانی

شهر تهران نتیجه گرفتند که عنصر کادمیم بیش‌ترین سهم را در ایجاد خطر بوم‌شناختی داشته و در دسته "مخاطره بوم‌شناختی قابل توجه" طبقه‌بندی شده است. لذا، توجه بیش‌تر به کنترل و مدیریت منابع تولید کادمیم توصیه شد^{۲۶}. نتایج مطالعه کمانی و همکاران (۲۰۱۸) ترتیب نزولی میانگین محتوی عناصر در نمونه‌های گردوغبار خیابانی اسلامشهر را بصورت روی = مس < سرب < کادمیم < نیکل < کروم نشان داد. از طرفی، مشخص شد که عنصر کادمیم با $Er = 114$ در مقایسه با سایر عناصر از بیش‌ترین خطر بالقوه بوم‌شناختی برخوردار بوده است^{۲۷}. قنواتی (۲۰۱۸) با ارزیابی خطرآفرینی بوم‌شناختی برخی عناصر در گردوغبار خیابانی شهر آبادان ترتیب نزولی میانگین مقادیر شاخص Er عناصر بصورت کادمیم < سرب < مس < آرسنیک < نیکل < روی < کروم را گزارش کرده و مشابه با نتایج پژوهش حاضر، اعلام کردند که کادمیم با $Er = 77/9$ از بیش‌ترین سهم در ایجاد خطر بوم‌شناختی برخوردار بوده و در دسته "مخاطره بوم‌شناختی متوسط" طبقه‌بندی شده است^{۲۸}. همچنین، صادق‌دوست و همکاران (۲۰۲۰) با ارزیابی شاخص خطرپذیری بالقوه بوم‌شناختی فلزات سنگین در گردوغبار خیابانی شهر دزفول گزارش کردند که مقادیر شاخص PER برای عناصر روی، سرب، کروم، مس و نیکل بیانگر "خطر بوم‌شناختی کم" و مقدار شاخص برای عنصر کادمیم با ۵۹ نیز بیانگر "خطر بوم‌شناختی متوسط" بوده است. این پژوهشگران نیز نسبت به کنترل منابع تولید کادمیم از جمله نرخ احتراق سوخت‌های فسیلی، روان‌کننده‌های روغنی و پوشش‌های لاستیکی تاکید کردند^{۲۹}.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی خطر بالقوه بوم‌شناختی و معیارهای سمیت‌شناسی محیطی عناصر آرسنیک، روی، سرب،

کادمیم، کروم، مس و نیکل گردوغبار خیابانی مناطق صنعتی، تجاری و مسکونی شهر همدان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت. نتایج محاسبه معیارهای سمیت‌شناسی محیطی بر عدم قابلیت آلودگی محیطی عناصر گردوغبار شهر همدان دلالت داشت. از طرفی، نتایج محاسبه شاخص Er عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های گردوغبار مناطق تجاری، مسکونی و صنعتی شهر همدان نشان داد که میانگین مقادیر شاخص برابر با $11/52$ برای آرسنیک، $5/24$ برای روی، $9/53$ برای سرب، $29/4$ برای کادمیم، $3/97$ برای کروم، $8/62$ برای مس و $8/67$ برای نیکل با ترتیب نزولی کادمیم < آرسنیک < سرب < نیکل < مس < روی < کروم بوده است. هرچند میانگین مقادیر شاخص RI نشان داد که خطر بوم‌شناختی عناصر گردوغبار شهر همدان در محدوده "کم خطر" قرار داشت، ولی از آن‌جا که عناصر کادمیم، آرسنیک و سرب به‌ترتیب با $38/2\%$ ، 15% و $12/4\%$ بیش‌ترین سهم را در ایجاد خطر بوم‌شناختی داشته‌اند، از این‌رو، نسبت به پایش دوره‌ای نمونه‌های خاک، رسوب و گردوغبار که از قابلیت تجمع انواع آلاینده‌های معدنی و آلی و به‌تبع آن ایجاد خطر برای سلامت شهروندان در محیط‌های شهری برخوردارند و همچنین شناسایی و کنترل منابع تخلیه آلاینده‌ها در آن‌ها توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست با کد ۱۷۱۴۸۰۰۶۹۰۷۶۴۲۱۱۶۲۲۹۲۷۸۵ مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان است. بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

References

1. Tokalioğlu S, Kartal S. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). Atmos Environ 2006; 40: 2797–2805.

2. Naim S, Özcan HK, Demir G, et al. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 high way. Environ Int 2003; 29: 979–85.

3. Shi G, Chen Z, Bi C, et al. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmos Environ* 2011; 45: 764–71.
4. Sobhanardakani, S. Ecological and human health risk assessment of heavy metals content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran. *Biol Trace Elem Res*, 2019; 187(2): 602–10.
5. Sobhanardakani S. Human health risk assessment of potentially toxic heavy metals in the atmospheric dust of city of Hamedan, west of Iran. *Environ Sci Pollut Res* 2018; 25(28): 28086–93.
6. Christoforidis A, Stamatis N. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma* 2009; 151(3-4): 257–63.
7. Tasleem Jan A, Azam M, Siddiqui K, et al. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Int J Mol Sci* 2015; 16(12): 29592–630.
8. Sobhanardakani S, Jafari SM. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland, Western Iran. *J Chem Health Risk* 2014; 4(2): 47–54.
9. Sobhanardakani S, Maànjou M, Asadi H. [Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain]. *Sci J Hamadan Univ Med Sci* 2015; 21(4), 319–29 (In Persian).
10. Ju YR, Chen WY, Liao CM. Assessing human exposure risk to cadmium through inhalation and seafood consumption. *J Hazard Mater* 2012; 227–228: 353–61.
11. Aghelan N, Sobhanardakani S, Cheraghi M, et al. [Evaluation of chelating agents with different biodegradability rates on the enhanced phytoremediation efficiency of ornamental species (*Amaranthus caudatus* and *Tagetes patula*) in cadmium contaminated soils]. *J Environ Health Eng* 2020; 7(4): 427–42 (In Persian).
12. Mohammadi MJ, Yari AR, Saghaadeh M, et al. A health risk assessment of heavy metals in people consuming Sohan in Qom, Iran. *Toxin Rev* 2018; 37: 278–86.
13. Saracoglu S, Tuzen M, Soylak M. Evaluation of trace element contents of dried apricot samples from Turkey. *J Hazard Mater* 2009; 167: 647–52.
14. Rezaei Raja O, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. *Environ Health Eng Manage J* 2016; 3: 131–5.
15. Qu M, Li W, Zhang C. Assessing the risk costs in delineating soil nickel contamination using sequential Gaussian simulation and transfer functions. *Ecol Informat* 2013; 13: 99–105.
16. Banerjee ADK. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dust of Delhi, India. *Environ Pollut* 2003; 123: 95–105.
17. Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, et al. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environ Int* 2003; 29: 563–73.
18. Ferreira-Baptista L, de Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmos Environ* 2005; 39: 4501–12.
19. Tokalog S, Kartal S. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmos Environ* 2006; 40: 2797–2805.
20. Lu X, Wang L, Li LY, et al. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *J Hazard Mater* 2010; 173: 744–9.
21. Hu X, Zhang Y, Luo J, et al. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China. *Environ Pollut* 2011; 159: 1215–21.
22. Li H, Qian X, Hu W, et al. Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China. *Sci Total Environ* 2013; 456–457: 212–21.
23. Suryawanshi PV, Rajaram BS, Bhanarkar AD, et al. Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India. *Atmosfera* 2016; 29(3): 221–34.
24. Heidari Sareban V, Saeb S. Heavy metal contamination in street precipitated dust in Tabriz City, Iran and its ecological risk. *Biosci Biotech Res Comm* 2018; 11(2): 291–9.
25. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *J Hazard Mater* 2012; 227–228: 9–17.
26. Kamani H, Mahvi AH, Seyedsalehi M, et al. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in street dust of Tehran, Iran. *Int J Environ Sci Technol* 2017; 14: 2675–82.
27. Kamani H, Mirzaei N, Ghaderpoori M, et al. Concentration and ecological risk of heavy metal in street dusts of Eslamshahr, Iran. *Human Ecol Risk Assess* 2018; 24(4): 961–70.
28. Ghanavati N. [Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan Iran]. *J Health Environ* 2018; 11(1): 63–74 (In Persian).
29. Sadeghdoust F, Ghanavati N, Nazarpour A, et al. Hazard, ecological, and human health risk assessment of heavy metals in street dust in Dezful, Iran. *Arab J Geosci* 2020; 13: 881.

30. Sobhanardakani S. Ecological risk assessment of heavy metals in the atmospheric dry deposition of Hamedan City. *J Kermanshah Univ Med Sci* 2018; 22: e69642.
31. Zheng M, Guo Z, Fang M, et al. Dry and wet deposition of elements in Hong Kong. *Marine Chem* 2005; 97: 124–39.
32. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control- A sedimentological approach. *Water Res* 1980; 14(8): 975–1001.
33. Xu ZQ, Ni SJ, Tuo XG. Calculation of heavy metals toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index. *Environ Sci Technol* 2008; 31: 112–5.
34. Mohammad Moradi B, Sobhanardakani S, Cheraghi M. [Ecological risk of heavy metals in surface soils of urban parks]. *Iran J Health Environ* 2018; 10(4): 429–42 (In Persian).
35. Sabet Aghlidi P, Cheraghi M, Lorestani B, et al. Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, Case study: South of Iran. *J Environ Health Sci Eng* 2020; 18(2): 665–76.
36. Tytla M, Kostecki M. Ecological risk assessment of metals and metalloid in bottom sediments of water reservoir located in the key anthropogenic “hot spot” area (Poland). *Environ Earth Sci* 2019; 78: 179.
37. Macdonald DD, Ingersoll CG, Berger TA. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch Environ Contam Toxicol* 2000; 39(1): 20–31.
38. Turekian KK, Wedepohl KH. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol Soc Am Bull* 1961; 72: 175–92.
39. Azimzadeh B, Khademi H. [Estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran Province, Iran]. *J Water Soil* 2013; 27: 548–59 (In Persian).
40. Amouei A, Cherati A, Naghipour D. Heavy metals contamination and risk assessment of surface soils of Babol in northern Iran. *Health Scope* 2018; 7: e62423.
41. Xu X, Lu X, Han X, et al. Ecological and health risk assessment of metal in resuspended particles of urban street dust from an industrial city in China. *Curr Sci* 2015; 108: 72–9.
42. Chen T, Liu X, Zhu M, et al. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban–rural transitional area of Hangzhou, China. *Environ Pollut* 2008; 151: 67–78.
43. Cai L, Xu Z, Bao P, et al. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and source of arsenic and heavy metals in the agricultural soils in Shunde, Southeast China. *J Geochem Explor* 2015; 148: 189–95.
44. Yehia Mady A, Shein E. Comparison between particle size distribution as a predictor of pedotransfer functions using laser diffraction and sedimentation methods. *Int J Soil Sci* 2017; 12: 65–71.
45. El-Gammal MI, Ibrahim MS, El-Sonbati MA, et al. Assessment of heavy metal contamination on street dust at New Damietta City, Egypt. *J Environ Sci* 2011; 40: 221–37.
46. Chon H-T, Kim K-W, Kim J-Y. Metal contamination of soils and dust in Seoul metropolitan city, Korea. *Environ Geochem Health* 1995; 17: 139–46.
47. De Miguel E, Llamas JF, Chacón E, et al. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmos Environ* 1997; 31: 2733–40.
48. Rasmussen PE, Subramanian KS, Jessiman BJ. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa Canada. *Sci Total Environ* 2001; 267: 125–40.
49. Duzgoren-Aydin NS, Wong CSC, Aydin A, et al. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. *Environ Geochem Health* 2006; 28: 375–91.
50. Han YM, Du PX, Cao JJ, et al. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Sci Total Environ* 2006; 355: 176–86.
51. Zhang J, Deng H, Wang D, et al. Toxic heavy metal contamination and risk assessment of street dust in small towns of Shanghai suburban area, China. *Environ Sci Pollut Res* 2013; 20: 323–32.
52. McKenzie ER, Money JE, Green PG, et al. Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples. *Sci Total Environ* 2009; 407(22): 5855–60.
53. Farzan M, Sobhanardakani S. [Analysis of Fe, Pb, and Cd content of surface runoff in regions with high traffic intensity in Hamedan, Iran, in 2014]. *J Health Syst Res* 2016; 12(2): 208–13 (In Persian).
54. Sabzevari E, Sobhanardakani S. Analysis of selected heavy metals in indoor dust collected from city of Khorramabad, Iran: A case study. *Jundishapur J Health Sci* 2018; 10: e67382.
55. Sobhanardakani S. Health risk assessment of inorganic arsenic through groundwater drinking pathway in some agricultural districts of Hamedan, west of Iran. *Avicenna J Environ Health Eng* 2018; 5(2): 73–7.
56. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, et al. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Sci Total Environ* 2015; 505: 712–

Potential Ecological Risk Assessment of Arsenic and Some Heavy Metals in Street Dusts Collected from Industrial, Commercial and Residential Areas of City of Hamedan in 2019 Using the Ecotoxicological Criteria

Hossein Habibi, Soheil Sobhanardakani*, Mehrdad Cheraghi, Bahareh Lorestani, Maryam Kiani Sadr

Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Corresponding Author: Email: s_sobhan@iauh.ac.ir

Received: 11 Nov 2020; Accepted: 24 Jan 2021

ABSTRACT

Background & Objective: Trace elements are the common pollutants of soils, sediments and street dust in the urban environment, which pose a potential threat to public health. Therefore, this study was conducted to potential ecological risk assessment of As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn in street dust collected from industrial, commercial and residential areas of city of Hamedan in 2019 using ecotoxicological criteria.

Materials & Methods: In this descriptive study, a total of 378 street dust specimens were collected from 18 sampling sites. After acid digestion of dust specimens, the element contents were determined using ICP-OES. Also, potential ecological risk factor (Er), risk index (RI) and the ecotoxicological criteria were calculated. All statistical analyses were done by SPSS software.

Results: Based on the results obtained, the mean contents of the examined elements in dust specimens (mg/kg) were 2.31, 0.225, 41.3, 48.8, 65.2, 79.2 and 211 for As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn, respectively. The computed values of Er showed that, factor values were decreased in the order Cd > As > Pb > Ni > Cu > Zn > Cr. Also, the mean values of RI with 77 represented that, all the examined elements have the "low potential ecological risk". Moreover, the computed values of the ecotoxicological criteria showed that the street dust specimens of the study area were non-polluted with trace elements.

Conclusion: Although the examined elements have been shown the low potential ecological risk, Cd with 38.2% of the mean values of RI showed significant potential to occurrence the ecological risk, therefore, source identification and sources control of this element and also periodic monitoring of contaminated soils are recommended for maintenance of public health.

Keywords: Trace elements, Risk assessment, Dust, Ecotoxicology