



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین گرد و غبار خیابانی شهر کاشان

قاسم مرادی^۱، روح‌اله میرزایی^{۱*}

۱- نویسنده مسئول: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

اطلاعات مقاله:	چکیده
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۷	زمینه و هدف: گرد و غبار خیابانی از ذرات جامد پیچیده‌ای تشکیل شده است که می‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین آلودگی محیط‌زیست شهری باشد. از این رو، هدف این مطالعه شناسایی، تحلیل مکانی و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی شهر کاشان است.
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۹/۱۷	روش بررسی: در مجموع ۵۰ نمونه گرد و غبار خیابانی از سطح شهر کاشان جمع‌آوری شد و غلظت فلزات Cu, Pb, Zn, Fe, Ni, Cr و Cd در آنها اندازه‌گیری شد. شاخص زمین‌انباشتگی (I_{geo}) برای برآورد آلودگی استفاده شد و الگوی مکانی غلظت فلزات در گرد و غبار خیابانی در محیط GIS تهیه شد.
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۲	یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت $Cu, Pb, Ni, Fe, Cr, Cd, Zn$ در گرد و غبار خیابانی به ترتیب $۲۳۷/۲۱$ ، $۰/۴۳$ ، $۳۷/۱۲$ ، $۱۶۵۸۹/۷۷$ ، $۱۳/۶۲$ ، $۴۵/۱۸$ و $۴۵/۵۸$ mg/kg است.
تاریخ انتشار: ۹۵/۱۲/۱۶	نتایج همچنین نشان داد که غلظت فلزات Cu, Pb, Zn, Fe در گرد و غبار خیابانی بیشتر از غلظت زمینی است. نتایج شاخص I_{geo} نیز روند نزولی $Pb < Zn < Cu < Ni < Cd < Cr$ را نشان داد. طبق تحلیل الگوی مکانی بیشترین غلظت‌های فلزات در گرد و غبار، در مرکز شهر، خیابان‌های اصلی اتوبان قم-کاشان و کمترین غلظت‌ها در مناطق مسکونی مشاهده شد.
واژگان کلیدی: فلزات سنگین، گرد و غبار، تحلیل مکانی، کاشان	نتیجه‌گیری: طبق تحلیل‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد که منشا فلزات Cu, Pb, Zn انسانی بوده و فلزات Fe و Cd نیز تا حدودی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند، درحالی‌که فلزات Ni و Cr منشا کاملاً طبیعی دارند. ترافیک و فعالیت‌های صنعتی، احتمالاً عامل اصلی افزایش غلظت فلزات سنگین در شهر کاشان است.
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rmirzaei@kashanu.ac.ir	

مقدمه

محیط‌زیست با دامنه‌ای وسیع که دربرگیرنده کنش‌های متقابل طبیعت و انسان است در یک تقسیم‌بندی کلی شامل محیط‌زیست طبیعی و محیط‌زیست انسانی است. محیط‌زیست انسانی با سه فاکتور آب، خاک و هوا شرایط ممکن را برای بقا، زیستن و رفاه انسان فراهم می‌کند و طبیعتا هر چه این سه فاکتور درجه سلامت و پاکی بالایی داشته باشند زندگی انسان از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود (۱). از بین فاکتورهای مذکور، هوا به‌طور نسبی اهمیت بالاتری دارد چرا که با اندک تغییری در وضعیت طبیعی آن، تنفس به عنوان بدیهی‌ترین فعالیت ممکن انسان شدیداً تحت تاثیر قرار می‌گیرد. با رشد جمعیت، توسعه صنایع و افزایش وسایل نقلیه، میزان آلودگی در شهرها، به‌خصوص شهرهای بزرگ افزایش یافته است. فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی نیز یکی از اصلی‌ترین آلاینده‌های محیط‌های شهری هستند که بیشتر ناشی از ترافیک سنگین، صنایع، فرسایش ساختمان‌ها، فرسایش لاستیک و قطعات استفاده شده در خودروها، فعالیت‌های معدنی و احتراق سوخت‌های فسیلی است (۲). این آلاینده‌ها خاصیت تجمع‌پذیری و سرطان‌زایی دارند و می‌توانند مشکلات متعدد بهداشتی و زیست‌محیطی را ایجاد کنند (۱). به عنوان مثال فلز Pb می‌تواند باعث افزایش ناهنجاری عصبی در کودکان و افزایش فشار خون در بزرگسالان شود، جذب بالای Zn به میزان ۱ g در انسان با دردهای شکم و اسپاسم گوارش همراه است همچنین Cu و Zn در جذب بدن با یکدیگر رقابت دارند. افزایش Zn در محدوده ۳۰۰ - ۱۰۰ mg در روز با کم خونی سلولی همراه است و منجر به کاهش جذب Cu در بدن می‌گردد. همچنین Cr شش‌زایی در انسان سبب نکروز شدن کبد، التهاب کلیه و نهایتاً مرگ می‌شود (۳). ذرات غبار به‌راحتی از طریق جریان هوا جابجا و در سطح شهر پراکنده می‌شوند، پیامد آن آلودگی سطح شهر به این عناصر خطرناک است. در حال حاضر نیز خطرهای ناشی از مواجهه با این عناصر برای عموم افراد جامعه شناخته شده است. این

فلزات بطور مستقیم (استنشاق، بلع و تماس پوستی) از طریق فرونشست یا غیرمستقیم از طریق تجمع در خاک، نشست بر گیاهان و درنهایت با مصرف محصولات گیاهی وارد زنجیره غذایی می‌شوند (۴، ۵). با توجه به سهم آلودگی گرد و غبار در افزایش آلودگی هوا، غبار راسب شده در اطراف جاده‌ها و خیابان‌های سطح شهر به منزله یکی از عوامل ارزیابی میزان آلودگی هوای شهری بررسی می‌شود (۶) و به این خاطر امروزه مطالعات زیادی در ایران و خارج از کشور در مورد غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده است برای مثال در ایران مطالعات Saeedi و همکاران (۷) در تهران و Soltani و همکاران (۸) در اصفهان درباره ارزیابی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار شهری، نشان دادند که آلودگی می‌تواند ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی از جمله ترافیک سنگین خودروها، احتراق سوخت‌های فسیلی، مواد افزودنی به سوخت خودروها، خوردگی سطوح فلزی اتومبیل‌ها و خوردگی مصالح ساختمانی و یا منابع طبیعی باشد. طی مطالعه دیگری که Javidaneh و همکاران (۹) بر روی گرد و غبار خیابانی مسجد سلیمان، استان خوزستان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بیشترین آلودگی گرد و غبار خیابانی مربوط به فلزات Zn، Cu، Pb و Cd است که عمدتاً فعالیت‌های نفتی، ترافیک و فعالیت‌های صنعتی بیشترین سهم را در افزایش غلظت این فلزات در گرد و غبار خیابانی داشتند. تقریباً نتیجه مشابهی توسط مطالعه Farahmand kia و همکاران (۱۰) در مورد فلزات سنگین در ذرات راسب شونده در هوای شهر زنجان بدست آمد؛ ایشان نیز دریافتند که فعالیت‌های صنعتی مهم‌ترین عامل افزایش غلظت فلزات سنگین در ریزش‌های جوی خشک و تر هستند. در برخی از مطالعات نیز تلاش شده است تا منشا فلزات در گرد و غبار خیابانی را دقیق‌تر بیان کنند. به عنوان مثال Wei و همکاران (۱۱) با بررسی توزیع مکانی و درجه آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار جاده‌ای اصلی شهر Urumqi در چین متوجه شدند که در جاده‌های اصلی که در آن تراکم ترافیک بیشتر است، غلظت Cr، Pb و Zn در

دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه شرقی واقع گردیده است. این شهر با جمعیتی حدود ۲۶۰ هزار نفر در شمال استان اصفهان قرار گرفته که از طرف شمال به گرمسار و قم و دریاچه نمک، از جنوب به شهرستان‌های نطنز و برخوار و میمه، از شرق به آران و بیدگل و از غرب به محلات و دلیجان در استان مرکزی محدود می‌شود. بارندگی کم و خشکی شدید در منطقه مورد مطالعه و بالا بودن درجه حرارت، باعث جلوگیری از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی پاک‌سازی شده است و در نتیجه خاک منطقه، عموماً تکامل نیافته و جوان است. به طور کلی خاک منطقه مورد مطالعه در درجه اول، از سازندهای مارنی، شیلی و تپه‌های گچی با حساسیت زیاد و در درجه بعدی از سازندهای آواری و آتش‌فشانی حد واسط تشکیل شده است. متوسط بارش سالانه ۱۳۰ mm، متوسط سالانه دما ۱۸/۹ °C است. جریان هوا در منطقه خشک و کویری کاشان در طی سال، خطر هجوم شن‌های روان کویر را به شهر در برداشته است که با تمهیداتی چون جنگل‌کاری و مالچ‌پاشی تا حدود کمی جلوگیری شده است. جهت باد غالب از جانب شمال شرق و باد غالب درجه دوم از سمت شمال غرب بیشترین تعداد و سرعت را بر روی سطح کاشان داشته است و برآیند هوای آرام در شهر کاشان حدود ۳۹ درصد است.

نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

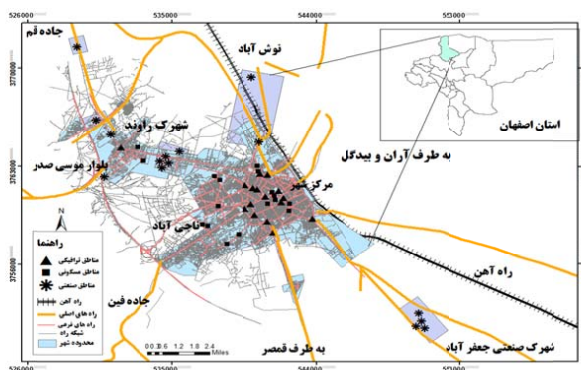
نمونه‌برداری گرد و غبار به صورت تصادفی در اوایل پاییز سال ۱۳۹۳ (۱ تا ۱۵ مهر) انجام گرفت و گرد و غبار خیابانی از ۱۶ نقطه از مناطق پرتراфик مانند اتوبان قم به کاشان و اصفهان به کاشان، خیابان‌های اصلی مرکز شهر (خیابان آیت الله کاشانی، خیابان بهشتی و میادین ۱۵ خرداد، راوند، معلم، ولیعصر)، ۱۵ نقطه از مناطق صنعتی (شهرک‌های صنعتی جعفر آباد، نوش آباد و راوند) و ۱۷ نقطه از مناطق مسکونی (شهرک‌های مسکونی فرهنگیان، ناجی آباد و مناطق مسکونی مرکز شهر) در حاشیه

گرد و غبار بیشتر است؛ در حالی که در مناطق صنعتی، غلظت Ni و Mn در گرد و غبار بیشتر بوده است. همچنین ایشان بیان کردند که Co و U در گرد و غبار جاده‌ای بیشتر منشأ طبیعی داشتند. چنین نتایج مشابهی را می‌توان در مطالعات متعددی یافت به عنوان نمونه طی مطالعه‌ای که بر روی فلزات و شبه فلزات در شهر Taipei چین انجام شد؛ تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از ترافیک را، منبع اصلی تولید فلزات و شبه فلزات گزارش کردند (۱۲). در مطالعه‌ای دیگر در شهر Istanbul (ترکیه)، فلزات سنگین خاک منطقه با گرد و غبار شهری را مورد مقایسه قرار دادند و به این نتایج رسیدند که غلظت فلزات در گرد و غبار چندین برابر خاک است. به طور مثال، میانگین غلظت Pb ۹ تا ۱۱ برابر، Cu و Cd ۲ برابر، Zn ۹ تا ۱۲ برابر در غبار نسبت به خاک بود (۱۳) که این نشان می‌دهد کنترل ریزگردهای شهری امری مهم تلقی می‌شود. شهر کاشان جز کلان شهرهای ایران محسوب نمی‌شود ولی با توجه به داشتن شرایط خاصی مانند قرار گرفتن بین دو شهر بزرگ ایران (تهران و اصفهان)، گردشگرپذیر بودن و چهره غالب صنعتی شهر، سبب شده که تردد وسایل نقلیه در این شهر افزایش پیدا کند. این شهر دارای بنیانی صنعتی است که از مهم‌ترین صنایع آن صنایع نساجی-رنگرزی (که عمدتاً در شهرک صنعتی راوند و جعفرآباد هستند)، صنایع غذایی، صنایع فلزی، صنایع شیمیایی، صنایع غیرفلزی (تولید آسفالت تا پودرهای صنعتی) می‌توان اشاره کرد که این شهر را با خطرات آلوده شدن مواجه کرده است. همچنین با ورود توده‌های بزرگ غبار و آثار سو غبارهای آلوده بر سلامت شهروندان، بهداشت و محیط زیست، لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در این شهر قدیمی و صنعتی احساس می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر کاشان به مساحت ۸۳ Km^۲، در فاصله ۱۹۰ Km شمال شرق استان اصفهان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶



شکل ۱- موقعیت شهرستان کاشان در استان اصفهان و موقعیت نقاط نمونه برداری گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه

تحلیل‌های آماری

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از خصوصیات آماری هر یک از پارامترها، مقایسه غلظت زمینه و پوسته زمین با میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی انجام گرفت. همچنین خصوصیات دیگری مانند میان، حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات با استفاده از نرم افزار SPSS.۱۸ محاسبه گردید. تهیه نقشه‌های الگوی مکانی نیز با استفاده از نرم افزار ArcGIS.۱۰,۱ انجام گرفت. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها نیز از Kalmogorov-Smiranov test استفاده گردید. برای تعیین رابطه بین فلزات، با توجه به غیر نرمال بودن داده‌ها، از ضریب همبستگی Spearman استفاده شد (۱۷). همچنین جهت تعیین شدت آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین از شاخص زمین انباشتگی Geoaccumulation Index استفاده گردید.

این شاخص به صورت معادله ۱ بیان می‌شود:

$$I_{geo} = \text{Log}_v (C_n / 1.5B_n) \quad (1)$$

که در آن:

I_{geo} : شاخص زمین انباشتگی یا شاخص شدت آلودگی

C_n : غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در نمونه

B_n : غلظت زمینه‌ای همان فلز سنگین در پوسته زمین

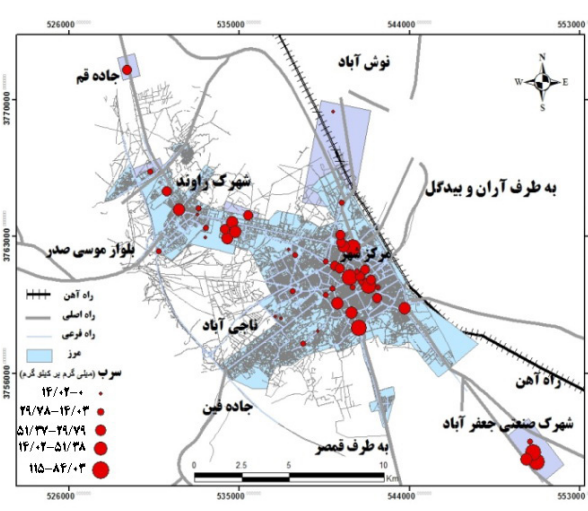
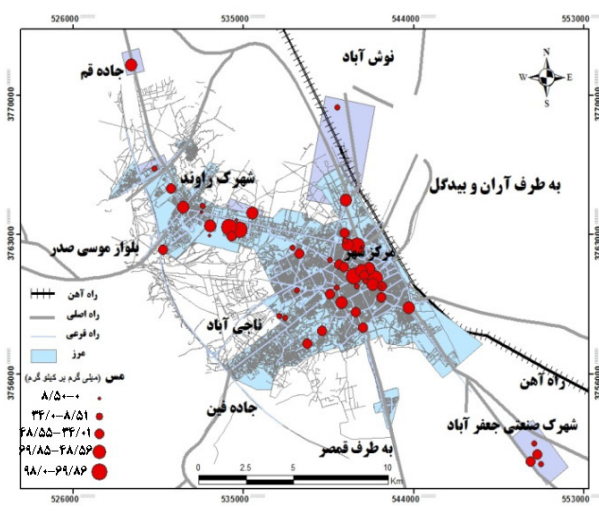
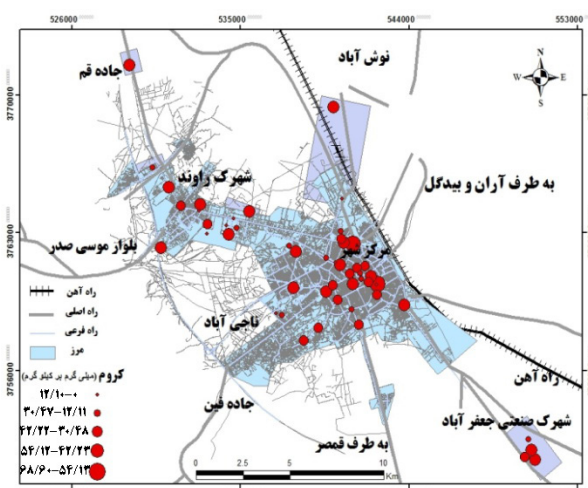
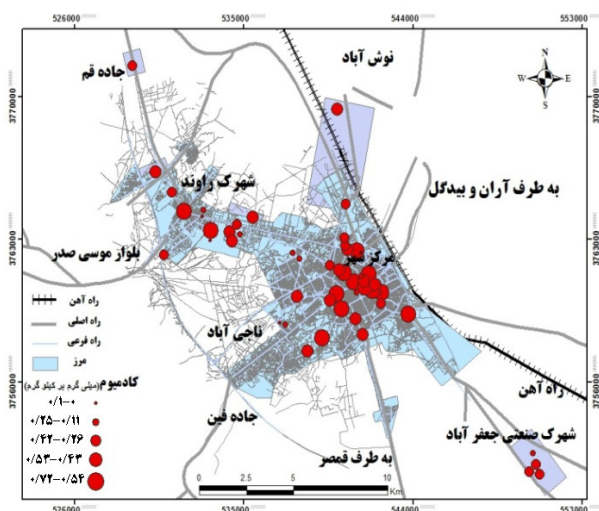
ضریب ۱/۵ نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت‌های

آسفالت خیابان‌ها و کناره دیوارها برداشته شد. همچنین برای مقایسه غلظت نمونه‌ها با خاک منطقه، دو نمونه خاک زمینه از عمق ۲ m در مناطق دست نخورده برداشت شد (شکل ۱). نقاط به گونه‌ای انتخاب شدند که بتواند کل منطقه مورد مطالعه را پوشش دهد که مجموع این نقاط ۵۰ نقطه شد. نمونه‌ها به صورت ترکیبی (مخلوط ۳ نمونه با هم، با فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ m) و با وزن تقریبی ۵۰۰ g بدست آمدند. ذرات غبار از طریق قلم پلاستیکی جمع‌آوری و در ظروف پلاستیکی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. برای اطمینان از عدم بروز خطاهای اندازه‌گیری و محاسبه غلظت‌ها، نمونه‌ها در دمای کمتر از ۴۰ °C تا رسیدن به وزن ثابت خشک، نگهداری شدند، سپس از الک با مش ۶۰ μm عبور داده شدند. ذرات با قطر کوچک‌تر از ۶۰ μm که به آسانی معلق و در هوا پخش می‌شوند و احتمال ورودشان به سیستم تنفسی و ایجاد خطر برای سلامتی انسان بیشتر است (۱۴) مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایشگاه با استفاده از ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ μm) از هر نمونه ۱ g گرد و غبار وزن شد؛ سپس با روش ترکیبی (HNO₃:HF:HClO₄) و با نسبت (۷ mL): ۵:۲ به مدت ۶ h در داخل لوله‌های PTEF با استفاده از اجاق هضم، در دمای ۲۰۰ °C هضم و سپس محلول بدست آمده پس از عبور از کاغذ صافی معادل واتمن شماره ۴۲، با استفاده از آب دو بار تقطیرشده، به حجم ۲۵ mL رسانده شد (۱۵). سپس عناصر Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Cr و Fe با دستگاه جذب اتمی شعله مدل GBC, Xploraا مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. حد تشخیص دستگاه برای عناصر Fe, Cr, Cu, Cd, Ni, Pb و Zn به ترتیب ۰/۰۰۹، ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۸ mg/L بود. همه ظروف آزمایشگاهی مورد نیاز به مدت ۲۴ h در محلول ۵ درصد HNO₃ شسته شدند (۱۶) نمونه‌های استاندارد GSS-۱۶ و GSD-۹ برای کنترل کیفیت و بررسی صحت اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین کل در نمونه‌ها استفاده شد. لازم به ذکر است در هنگام هضم به همراه هر گروه از نمونه‌ها یک نمونه شاهد تهیه و همراه با سایر نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند.

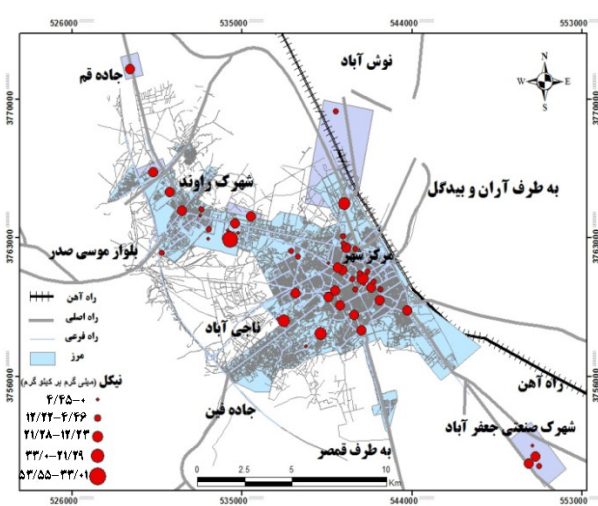
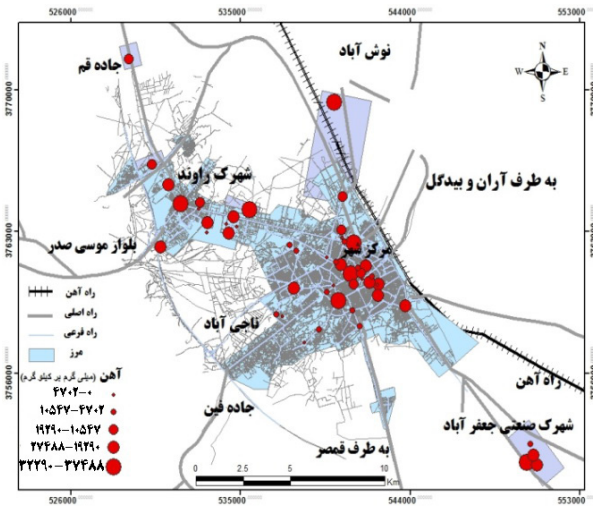
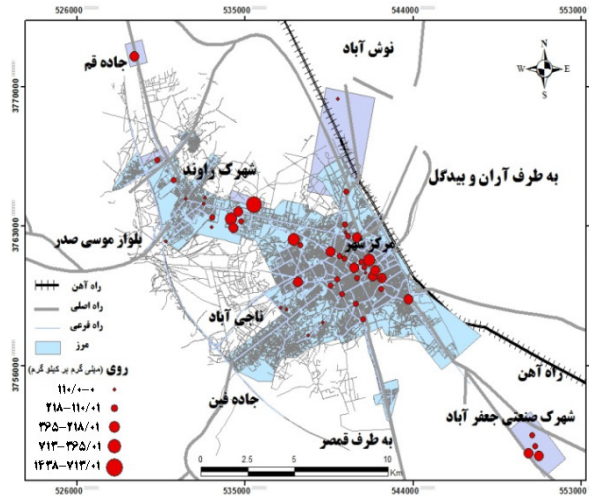
تقریباً غلظت‌ها بصورت یکنواخت در اکثر نقاط مشاهده شد به‌جز چند نقطه در شهرک صنعتی جعفرآباد و مسیر اتوبان و شهرک صنعتی راوند که غلظت بالایی داشتند. فلزات Cd و Fe نیز الگوی تقریباً مشابهی داشتند و بیشترین غلظت این دو فلز در شهرک صنعتی راوند، خیابان‌های اصلی و میدانی شهر مشاهده شد. کمترین غلظت‌ها برای کل فلزات در مناطق مسکونی که با خیابان‌های اصلی و میدانی فاصله دارند مانند شهرک مسکونی ناجی‌آباد و شهرک مسکونی فرهنگیان مشاهده شد.

الگوی مکانی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان

برای درک و تفسیر راحت‌تر، الگوی مکانی غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان به پنج طبقه تقسیم شدند (شکل ۲). همانطور که در شکل مشاهده می‌شود فلزات Cu, Pb و Zn تقریباً دارای الگوی مکانی مشابهی هستند و بیشترین غلظت این دو فلز در مناطق پر تردد مانند مرکز شهر، شهرک صنعتی جعفرآباد و اتوبان قم به کاشان است. فلزات Ni و Cr نیز الگوی مکانی مشابهی دارند و



شکل ۲- الگوی مکانی غلظت فلزات مورد بررسی در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان



ادامه شکل ۲- الگوی مکانی غلظت فلزات مورد بررسی در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان

شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})

بر اساس میانگین شاخص I_{geo} ، فلزات مورد بررسی دارای روند نزولی به ترتیب زیر بودند: $Pb(2/77) < Zn(1/92) < Ni(-1/15) < Cr(-0/97) < Cd(-0/9) < Fe(-0/64) < Cu$ (جدول ۴). طبق این شاخص، فلزات Pb ، Cu و Zn موجود در گرد و غبار دارای بیشترین میزان بودند؛ به این صورت که ۸۳۳ درصد کل نمونه‌های گرد و غبار، کمی آلوده تا بسیار آلوده به فلز Cu بودند و ۳۱/۲۵، ۳۱/۲۵ و ۱۲/۵ درصد از

تحلیل همبستگی

نتایج تحلیل همبستگی فلزات با استفاده از آزمون Spearman برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان می‌دهد که فلزات Pb و Cu ، $Fe(0/44)$ ، $Pb(0/45)$ ، $Cd(0/51)$ ، $Cr(0/62)$ و $Zn(0/44)$ دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ هستند همچنین فلزات Zn و $Fe(0/31)$ ، Cd و $Fe(0/3)$ ، Pb و $Cr(0/31)$ دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ هستند.

جدول ۳- نتایج همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان

Zn	Cu	Pb	Ni	Fe	Cr	Cd	فلز
						۱	Cd
					۱	۰/۱۸	Cr
				۱	۰/۶۲**	۰/۳*	Fe
			۱	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۸	Ni
		۱	۰/۲۴	۰/۴۵**	۰/۳۱*	۰/۲۶	Pb
	۱	۰/۴۵**	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۵۱**	Cu
۱	۰/۲۷	۰/۴۴**	۰/۴۴	۰/۳۱*	۰/۲	۰/۲۸	Zn

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ و * همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

بحث

غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار خیابانی، در هر شهر بسته به فعالیت‌های صنعتی، شرایط اقلیم محلی و جمعیت منطقه متفاوت است (۸). از همین رو غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر کاشان در مقایسه با غلظت فلزات

نمونه‌ها به ترتیب در طبقات کمی آلوده تا بسیار آلوده، بسیار آلوده و بسیار آلوده تا بشدت آلوده عنصر Pb قرار گرفتند در حالی که ۳۵/۴۱، ۶/۲۵ و ۲/۰۸ درصد از نمونه‌ها به ترتیب در طبقات کمی آلوده تا بسیار آلوده، بسیار آلوده و بسیار آلوده تا بشدت آلوده عنصر Zn قرار گرفتند.

جدول ۴- نتایج آمار توصیفی و طبقات شاخص I_{geo} (درصد) فلزات بررسی شده در گرد و غبار خیابانی شهر کاشان

Cd	Cr	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	فلز	پارامتر
-۰/۹	-۰/۹۷	-۰/۶۴	۱/۹۲	۱/۰۶	۲/۷۷	-۱/۱۵	میانگین	
-۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۷۳	۴/۸۸	۲/۳۱	۴/۴۴	۱/۲۱	حداکثر	داده‌های توصیفی
-۲/۹	-۴/۲	-۳/۳۹	-۰/۹۶	-۱/۲۱	۰/۱۵	-۶/۳۸	حداقل	
۱۰۰	۹۷/۹۲	۵۶/۲۵	۴/۱۶	۸/۳۳	-	۸۹	غیر آلوده	
-	۲/۰۸	۴۳/۷۵	۱۲/۵	۳۵/۴۱	۴/۱۶	۸/۳۳	غیر آلوده تا کمی آلوده	
-	-	-	۳۹/۵۸	۴۷/۹۱	۲۰/۸۳	۲/۰۸	کمی آلوده	
-	-	-	۳۵/۴۱	۸/۳۳	۳۱/۲۵	-	کمی آلوده تا بسیار آلوده	طبقات
-	-	-	۶/۲۵	-	۳۱/۲۵	-	بسیار آلوده	
-	-	-	۲/۰۸	-	۱۲/۵	-	بسیار آلوده تا به شدت آلوده	
-	-	-	-	-	-	-	به شدت آلوده	

بیان داشت که آلودگی محیط شهر کاشان به عناصر Cu، Pb و Zn مسجل است. نتایج شاخص I_{geo} (جدول ۴) نیز این موضوع را تایید می‌کند. به طوری که بیشترین آلودگی مربوط به این سه فلز بدست آمد. با توجه به الگوی مکانی فلزات، بیشترین غلظت فلزات Cu، Pb و Zn در مناطقی از شهر مانند: مرکز شهر، میادین و خیابان‌های اصلی شهر، مناطق صنعتی و مناطق مسکونی که با مرکز شهر یا اتوبان‌ها فاصله چندانی ندارند دیده شد که تردد وسایل نقلیه در آنها زیاد است. با توجه به این نتایج می‌توان احتمال داد غلظت بالای این سه فلز، می‌تواند بیشتر ناشی از ترافیک شهری باشد. در نگاه اول به نظر می‌رسد غلظت بالای این عناصر در شهرک صنعتی جعفرآباد می‌تواند ناشی از صناعی باشد که در آنجا مستقر شده‌اند اما با نگاهی عمیق‌تر می‌توان متوجه شد که این احتمال ضعیف است چون صناعی که در این شهرک قرار دارند بیشتر نساجی و فرش ماشینی هستند که آلودگی خاصی ندارند و احتمالاً دلیل عمده غلظت بالا در این شهرک باز تردد زیاد وسایل نقلیه موتوری است که در این شهرک‌ها برای انتقال بار مشغول فعالیت هستند. بررسی سایر منابع نیز مشخص می‌کند که نتایجی که درباره این سه فلز در این مطالعه بدست آمده است با سایر مطالعات مشابه همخوانی دارد. برای مثال در مطالعه‌ای که Soltani و همکاران (۸) در اصفهان و Jafari و همکار (۲۶) در کرمان بر روی ارزیابی فلزات سنگین در گرد و غبار شهری انجام دادند به این نتیجه رسیدند که منشا اصلی این سه فلز در گرد و غبار شهری مربوط به وسایل نقلیه موتوری است.

با توجه به غلظت زمینه و پوسسته زمین، می‌توان بیان داشت که آلودگی خاصی از فلزات Ni و Cr در محیط شهری مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج شاخص I_{geo} (جدول ۴) نیز این موضوع را تایید می‌کند که این دو فلز تحت تاثیر عوامل انسانی قرار نگرفته‌اند و غلظت آنها می‌تواند ناشی از منابع طبیعی باشد. نتایج تحلیل مکانی نیز نشان داد که الگوی مکانی غلظت Ni و Cr در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان بیشترین شباهت را داشتند که بیشترین غلظت این دو فلز در میدان

در گرد و غبار خیابانی کلان شهرهای تهران و اصفهان نتایج متفاوتی نشان داد. براساس جدول ۲ فلزات مورد بررسی در این مطالعه (به غیر از Cr)، غلظت کمتری نسبت به این دو شهر داشتند به‌طور مثال فلز Zn که در این مطالعه بعد از Fe دارای بیشترین غلظت بود در شهر تهران دارای غلظت 873 mg/kg (۷) و در شهر اصفهان 707 mg/kg (۸) بود همچنین در شهر Boaji (چین) غلظت این فلز 715 mg/kg (۱۹) بود. اگرچه در مقایسه با این شهرهای داخلی، غلظت‌ها در شهر کاشان بالا نیست اما از غلظت برخی نتایج در خارج از کشور بالاتر بود. به عنوان مثال، میانگین غلظت فلزات Zn، Cd و Pb در گرد و غبار شهر کاشان از میانگین غلظت Zn، Cd و Pb در گرد و غبار شهر Ottawa پایتخت کانادا (۲۰) بالاتر بودند، همچنین غلظت فلز Zn در این مطالعه از غلظت Zn در گرد و غبار شهر Beijing پایتخت چین (۲۱) بالاتر بود. پس برای مشخص شدن آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار شهر کاشان قیاس‌های دیگری لازم دیده شد که در این مطالعه انجام گرفت مانند مقایسه میانگین غلظت فلزات مورد بررسی با غلظت‌های مرجع. برای برآورد آلودگی و مقایسه غلظت فلزات سنگین با غلظت‌های مرجع در یک منطقه روش‌های متفاوتی وجود دارد. بعنوان نمونه برخی از مطالعات از میانگین غلظت پوسسته زمین بعنوان غلظت زمینه استفاده کرده‌اند (۸، ۲۲). در این مطالعه نیز اگر غلظت پوسسته زمین با میانگین غلظت‌ها در این مطالعه مقایسه شود (جدول ۲) فلزات Zn، Pb و Cd غلظتی بیش از غلظت مرجع داشته و از این‌رو، می‌توان گفت آلودگی محیط به این فلزات در شهر کاشان وجود دارد. برخی از مطالعات دیگر از غلظت زمینه همان منطقه برای برآورد آلودگی استفاده کرده‌اند (۲۳، ۲۴)، که با توجه به اینکه در هر منطقه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ مادری با هم متفاوت بوده، بهتر است از خاک همان منطقه، که شاخص مناسبی برای غلظت زمینه است استفاده کرد (۲۵). مقایسه میانگین غلظت فلزات این مطالعه با غلظت زمینه نشان داد که منطقه مورد مطالعه به فلزات Pb، Cu و Zn آلودگی دارد. بنابراین طبق دو مرجع اشاره شده می‌توان

خاصی به این فلزات در منطقه مشاهده نشد، اما چنین الگویی نشان می‌دهد عوامل یکسان و مشابهی بر افزایش غلظت فلزات در محیط شهر اثرگذار هستند. به هر حال، مشخص کردن منشا اصلی این دو فلز کار بسیار دشواری است و باید آنالیزهای شیمیایی بیشتری انجام گیرد تا به طور دقیق بتوان درباره آن اظهار نظر کرد اما با توجه به همبستگی این دو فلز با فلزات آلوده مانند Cu، Pb و غلظت بالای Cd نسبت به پوسته زمین، همچنین آلودگی برخی از نقاط در مناطق پر ترافیک و صنعتی در شهر کاشان می‌توان احتمال داد که منشا این دو فلز انسانی و طبیعی است و آلودگی در نقاط آلوده ناشی از وسایل نقلیه موتوری و ساخت و ساز ساختمان‌ها هستند. در مورد این دو فلز در گرد و غبار شهری مطالعات زیادی انجام شده است که نتایج متفاوتی مشاهده شده است به طور مثال Saeedi و همکاران (۷) در مطالعه‌ای که بر روی ارزیابی فلزات سنگین در برخی خیابان‌های تهران داشتند، دریافتند که آلودگی فلز Fe ناشی از خوردگی فلزات و وسایل نقلیه موتوری، ساخت و ساز و خاک طبیعی منطقه است. همچنین گزارش دادند که غلظت بالای فلز Cd به غیر از خاک طبیعی و وسایل نقلیه موتوری دارای منشا دیگری نیز است (منشا نامشخص) که تقریباً نتیجه این مطالعه را تایید می‌کند. در مطالعات دیگری که Jiries (۱) در شهر Jordan (عمان) و Zhang و همکاران (۱۲) در شهر Taipei بر روی فلزات سنگین در گرد و غبار شهری انجام دادند به این نتیجه رسیدند که غلظت بالای فلز Cd در کنار جاده‌ها و مناطق شهری ناشی از وسایل نقلیه موتوری است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه، به نظر می‌رسد که فلزات Ni و Cr در گرد و غبار خیابانی شهر کاشان آلودگی نداشته و منشا آنها طبیعی است؛ اما احتمالاً فعالیت‌های انسانی باعث افزایش غلظت فلزات Pb، Zn و Cu شده است. همچنین غلظت فلزات Fe و Cd در گرد و غبار خیابانی در بعضی مناطق صنعتی و پر تردد شهری بالا بود. بنابراین می‌توان

ولیعصر و مدخل همچنین مسیر اتوبان قم-کاشان، شهرک صنعتی جعفرآباد و کمترین آن در مناطق مسکونی ناجی‌آباد و فرهنگیان مشاهده شد که این موضوع نشان‌دهنده این است که غلظت این عناصر فقط در چند نقطه محدود تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است که احتمالاً این نقاط نیز نقاط داغ (hotspot) هستند ولی در مجموع با توجه به نتایج مقایسه غلظت میانگین زمینه، غلظت پوسته زمین و شاخص I_{geo} و همچنین الگوی مکانی مشابه، می‌توان گفت که احتمالاً این دو فلز، منشا طبیعی دارند. در مطالعاتی که در مورد این دو فلز انجام گرفته است نتایج متفاوتی بدست آمده است بطور مثال Keshavarzi و همکاران (۲۷) در ارزیابی فلزات سنگین در گرد و غبار شیراز، دریافتند که فلزات Ni و Cr منشا طبیعی داشته است که نتیجه این مطالعه را تایید می‌کند، ولی Soltani و همکاران (۸) در مطالعه که بر روی ارزیابی فلزات سنگین در گرد و غبار اصفهان داشتند به این نتیجه رسیدند که این دو فلز منشا انسانی داشته و آلودگی آنها ناشی از سوخت‌های فسیلی است.

برای فلزات Fe و Cd، با توجه به غلظت زمینه و پوسته زمین، ۵۴ درصد نمونه‌های فلز Fe و ۴۱ درصد نمونه‌های Cd بیشتر از غلظت زمینه بودند همچنین غلظت Cd از غلظت پوسته زمین بیشتر مشاهده شد (جدول ۲) اما میانگین شاخص I_{geo} (جدول ۴) نشان داد که نگرانی در مورد آلودگی گرد و غبار شهر کاشان به این دو فلز وجود ندارد. الگوی مکانی Fe و Cd، نیز تقریباً شبیه به الگوی مکانی Cu، Pb نشان داده شد با این تفاوت که نقاط آلوده فلز Fe دارای پراکنش بیشتری بود. اما بطور کلی بیشترین غلظت آلودگی این دو فلز در مرکز شهر، میادین، خیابان‌های اصلی شهر، مسیر اتوبان قم-کاشان، شهرک صنعتی و مسکونی راوند، شهرک صنعتی جعفرآباد، شهرک صنعتی نوش‌آباد و کمترین غلظت در مناطق مسکونی ناجی‌آباد، حسن‌آباد، شهرک فرهنگیان مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که با وجود اینکه غلظت‌های مشاهده شده این فلزات در قیاس با غلظت‌های مرجع بالا نبودند و در نتیجه آلودگی

ساختمان‌ها، صنایع و منابع طبیعی تقسیم کرد. البته با توجه به اینکه صنایع شهر کاشان بیشتر قالبیافی هستند نگرانی در مورد آنها کمتر است، اما ترافیک شهری احتمالاً منشأ اصلی افزایش غلظت فلزات مورد بررسی در این تحقیق است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه با عنوان "ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابان‌های شهر کاشان" در مقطع کارشناس ارشد در سال ۱۳۹۴ و کد ۲۲۳۳۰۴۳ است که با حمایت دانشگاه کاشان اجرا شده است. بدینوسیله از آقایان سیفی، نظری، علی بیگی و خانم روانخواه که در مراحل این مطالعه ما را یاری کردند تشکر می‌شود.

بیان داشت که احتمالاً این دو فلز در گرد و غبار خیابانی شهر کاشان تا حدودی منشأ انسانی و طبیعی دارند. شناسایی دقیق منشأ انتشار فلزات سنگین همراه با تحلیل‌های آماری باید با تحلیل‌های شیمیایی دقیق همراه شود که معمولاً به دلیل هزینه زیاد صورت نمی‌گیرد. به هر حال برای تحلیل دقیق‌تر باید حتی پارامترهای دیگری مانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار و فاکتورهای اقلیمی نیز اندازه‌گیری شود، اما به دلیل نبود امکانات کافی و هزینه زیاد انجام این آنالیزها در این پژوهش میسر نبود. به هر حال، به طور کلی با توجه به این مطالعه، منابع انتشار فلزات سنگین در گرد و غبار شهر کاشان را می‌توان به چهار دسته، ترافیک شهری (قطعات مورد استفاده در خودروها و سوخت‌های فسیلی)، تخریب و ساخت‌وساز

منابع

1. Jiries A. Vehicular contamination of dust in Amman, Jordan. *Environmentalist*. 2003;23(3):205-10.
2. Manasreh WA. Assessment of trace metals in street dust of Mutah city, Karak, Jordan. *Carpathian Journal of Earth And Environmental Sciences*. 2010;5(1):5-12.
3. Esmaili Sari A. *Pollution Health and Environmental Standards*. Tehran: Naghsh Mehr Publications; 2002

(in Persian).

4. Merrington G, Oliver I, Smernik R, McLaughlin M. The influence of sewage sludge properties on sludge-borne metal availability. *Advances in Environmental Research*. 2003;8(1):21-36.
5. Nicholson F, Smith S, Alloway B, Carlton-Smith C, Chambers B. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*. 2003;311(1):205-19.

6. Dastgoshade F, Toni O, Moghadamshekhgan S, Taghinzade G, Hematyan N, Hatami R. Assessment of heavy metals contamination in dust some roads of Karaj. *Journal of Environmental Studies*. 2013;40:331-34 (in Persian).
7. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*. 2012;227:9-17.
8. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Tavakol T, Lahijanzadeh AR, Jaafarzadeh N, et al. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment*. 2015;505:712-23.
9. Javidaneh Z, Zarsevandi A, Rast Manesh F. Determination of geo-environmental factors and source of heavy metals in street dust, Masjed-e-Soleiman City, Khuzestan Province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(2):155-70 (in Persian).
10. Farahmand kia Z, Mehrasbi MR, Sekhawatju MS, Hasanalizadeh AS, Ramezanzadeh Z. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;2(4):240-49 (in Persian).
11. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchemical Journal*. 2009;93(2):147-52.
12. Zhang D, Pan X, Lee D-J. Potentially harmful metals and metalloids in the urban street dusts of Taipei City. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2014;45(4):1727-32.
13. Sezgin N, Ozcan HK, Demir G, Nemlioglu S, Bayat C. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*. 2004;29(7):979-85.
14. Zhou Y, Levy JI, Hammitt JK, Evans JS. Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 2003;37(6):815-26.
15. Ruuskanen S, Laaksonen T, Morales J, Moreno J, Mateo R, Belskii E, et al. Large-scale geographical variation in eggshell metal and calcium content in a passerine bird (*Ficedula hypoleuca*). *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(5):3304-17.
16. Islam MS, Ahmed MK, Raknuzzaman M, Habibullah -Al- Mamun M, Islam MK. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*. 2015;48:282-91.
17. Hassani-Pak A. *Geostatistics*. Tehran: University of Tehran Press; 1998 (in Persian).
18. Gonzalez-Macias C, Schifter I, Lluch-Cota D, Mendez-Rodriguez L, Hernandez-Vazquez S. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006;118(1-3):211-30.
19. Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2):1058-62.
20. Rasmussen P, Subramanian K, Jessiman B. 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*. 2001;267(1):125-40.
21. Wei X, Gao B, Wang P, Zhou H, Lu J. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015;112:186-92.
22. Khuzestani RB, Souri B. Evaluation of heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan Province, western Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 2013;25(7):1346-54 (in Persian).
23. Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*. 2010;94(2):99-107.
24. Liu E, Yan T, Birch G, Zhu Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Science of the Total Environment*. 2014;476:522-31.
25. Ander EL, Johnson CC, Cave MR, Palumbo-Roe B, Nathanail CP, Lark RM. Methodology for the determination of normal background concentrations of

- contaminants in English soil. *Science of the Total Environment*. 2013;454:604-18.
26. Jafari F, Khademi H. Spatial and temporal distribution of heavy metals concentration in atmospheric dust in Kerman City. *Journal of Environmental Studies*. 2014;40(2):361-75 (in Persian).
27. Keshavarzi B, Tazarvi Z, Rajabzadeh MA, Najmeddin A. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. *Atmospheric Environment*. 2015;119:1-10.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Spatial Variability Analysis of Heavy Metals in Street Dusts of Kashan City

Q Moradi¹, R Mirzaei^{1,*}

1- Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 17 September 2016

Revised: 7 December 2016

Accepted: 12 December 2016

Published: 6 March 2017

Key words: Toxic elements, Street dust, Spatial analysis, Kashan

***Corresponding Author:**
rmirzaei@kashanu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Street dust is consisting of solid particles with complex compositions which can be an appropriate indicator to determine urban environmental contamination. Therefore, the purpose of this study was to determine spatial patterns and heavy metals contamination in the street dusts of Kashan.

Materials and Methods: A total of 48 urban street dust samples were collected and total concentrations of Pb, Cu, Zn, Fe, Cr, Ni, and Cd were determined in the dust samples. The geoaccumulation index was applied to assess heavy metals contamination. In addition, the spatial patterns of heavy metals concentrations in the street dust were determined using GIS.

Results: The results showed that the average concentrations of Zn, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb and Cu in the street dust samples were 237.21, 0.43, 37.12, 16589.77, 13.62, 45.18 and 45.58 mg/kg, respectively. The average concentrations of Pb, Cu, Zn, and Fe were higher than their local background values. Based on geoaccumulation index, the heavy metals in the street dust were in the following decreasing order: Pb > Zn > Cu > Ni > Cd > Cr. According to the spatial analysis results, higher concentrations of heavy metals were observed in the city center and Kashan-Qom highway; whereas, lower concentrations were found in the residential regions.

Conclusion: Based on the obtained results, it seems the high concentrations of Pb, Zn and Cu and to a lesser extent Fe and Cd concentrations in the dust samples was derived from anthropogenic activities; whereas the concentration of Cr and Ni has been mostly affected by natural sources. The high concentrations of heavy metals in the street dusts of Kashan could be attributed to vehicle emissions and industrial activities.

Please cite this article as: Moradi Q, Mirzaei R. Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;9(4):443-56.