

تعیین نقاط حساس (Hotspots) عنصر سرب در خاک‌های حومه و شهر مشهد با استفاده از شاخص‌های جامع و منطقه‌ای مورن

حسین کریمی*، امیر فتوت، امیر لکزیان، غلامحسین حق‌نیا و مائده شیرانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۱)

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت شهرنشینی و تغییر در الگوی مصرفی انسان‌ها، خاک‌های با کاربری شهری، صنعتی و کشاورزی در معرض آلاینده‌های مختلفی مانند عناصر سنگین قرار گرفته‌اند. عنصر سرب به‌عنوان یکی از این عناصر شناخته شده و سمیت آن باعث مشکلاتی در سلامتی انسان می‌گردد. این پژوهش با هدف تعیین نقاط حساس سرب با استفاده از شاخص‌های جامع و منطقه‌ای مورن در زیرحوضه کشف‌رود صورت پذیرفته است. تعداد ۲۶۱ نمونه خاک سطحی به‌روش شبکه‌بندی نامنظم نمونه‌برداری و مقدار کل سرب آنها اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد با توجه به مثبت بودن شاخص جامع مورن مشاهدات سرب در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد دارای همبستگی مکانی از نوع خوشه‌ای می‌باشند. براساس شاخص منطقه‌ای مورن نیز تعداد ۱۵ نمونه در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد به‌عنوان نقاط حساس معرفی که این نقاط در ناحیه جنوب شرقی حوضه مطالعاتی واقع شده‌اند. علاوه بر این نتایج ناشی از حذف نمونه‌های پرت نیز نشان‌دهنده امتداد موقعیت نقاط حساس به سمت غرب شهر مشهد می‌باشد. از علل قرار گرفتن این نواحی به‌عنوان نقاط حساس می‌توان مواردی مانند وجود کاربری شهری، جهت وزش باد غالب منطقه و نزدیکی این ناحیه به فرودگاه مشهد را معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، همبستگی مکانی، آلودگی سرب

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: skarimi343@yahoo.com

مقدمه

همکاران طی پژوهش‌های خود در استرالیا و آمریکا نشان دادند که ارتباط معنی‌داری بین غلظت سرب در خاک و خون انسان به‌ویژه کودکان وجود دارد (۱۱). منابع عمده رهاسازی عنصر سرب در محیط زیست را می‌توان دود حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و سرب موجود در رنگ‌های ساختمانی نام برد (۱۵ و ۲۶). این در حالی است که سیونگ و همکاران سوخت هواپیماها و صنایع فلزی را نیز به‌عنوان منابع آلاینده سرب برشمرده‌اند (۱۹).

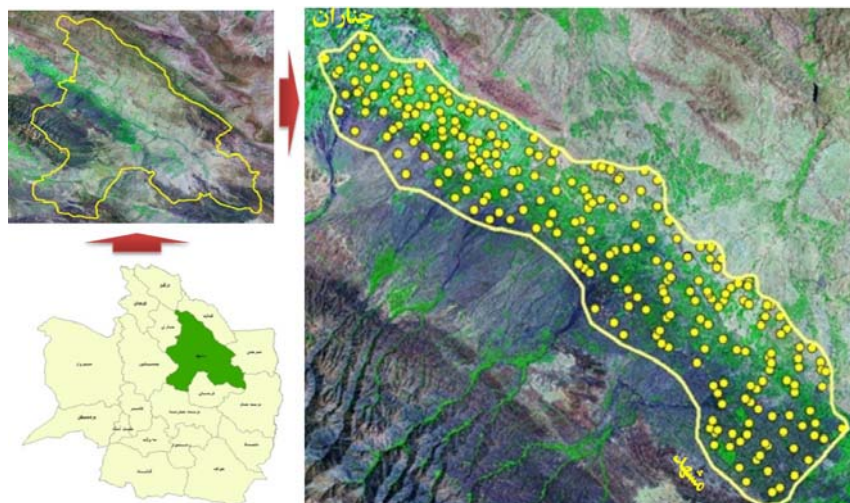
پژوهشگران در ارزیابی آلودگی خاک‌ها، بر شناسایی نواحی با ریسک زیاد آلودگی تمرکز نموده‌اند. بدین منظور، نمونه‌هایی که دارای اختلاف زیادی با نمونه‌های اطراف خود (Local Spatial Outliers) هستند را به‌عنوان مناطق دارای ریسک زیاد معرفی می‌کنند (۲۵). از طرف دیگر به‌منظور تهیه نقشه‌های آلودگی از روش‌های متداول میان‌یابی استفاده می‌شود که بنا بر نظر بسیاری از پژوهشگران (۴ و ۱۰)، این روش‌ها به‌دلیل دارا بودن اثر تعدیلی (Smoothing Effect) موجب برآورد کمتر در نقاط دارای آلودگی زیاد و تخمین بیشتر در نواحی فاقد آلودگی می‌گردند. به‌منظور غلبه بر این خطا، علاوه بر بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی خاک‌ها، شناخت وجود نقاط حساس آلودگی خاک به‌ویژه سرب و معنی‌دار بودن آماری آنها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. این در حالی است که فن‌آوری‌های تولید نقشه در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پیشرفت به‌سزایی داشته و کمک شایانی به تعیین و بررسی این نقاط و جنبه‌های آماری آن نموده است (۲۴).

روش‌های زیادی برای تشخیص نمونه‌های مشابه و غیرمشابه از نمونه‌های واقع در همسایگی هر یک از نمونه‌ها که نشان‌دهنده مناطق دارای پتانسیل آلودگی می‌باشد وجود دارد، ولی در میان پژوهشگران یک توافق کلی برای تعیین بهترین روش وجود ندارد. در میان این روش‌ها، شاخص‌هایی مانند تانگو (۲۷) و آمار اسکن مکانی (۶) توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص‌های جامع و منطقه‌ای مورن (Global and Local Moran Indices) نیز از روش‌های

در سال‌های اخیر به‌دلیل افزایش جمعیت شهرنشینی و تغییر در الگوی مصرفی انسان‌ها، خاک‌های شهری و صنعتی-کشاورزی موجود در حومه شهرها (Suburban) در معرض آلاینده‌های مختلف هم‌چون عناصر سنگین قرار گرفته‌اند. این مواد می‌توانند با گذشت زمان در خاک تجمع یافته و آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به سلامت انسان و زیست‌بوم‌های موجود وارد آورند. پژوهش در زمینه شناسایی آلودگی خاک توسط عناصر سنگین از دهه ۱۹۶۰ میلادی آغاز شده است؛ به‌طوری که در همان سال‌ها نخست آلودگی سرب در خاک‌های با کاربری شهری شناسایی گردید (۱۸). منابعی مانند گازهای خروجی از آگروز وسایل نقلیه، سوزاندن زباله‌ها و مواد زائد، صنایع وابسته به فلزات، وجود معادن مختلف، گرد و خاک انتقال یافته به‌وسیله‌ی جریان هوا، ساییدگی جاده‌ها و ساختمان‌ها و فرسودگی لاستیک وسایل نقلیه موجب افزودن مواد آلاینده به خاک‌های نواحی شهری و حومه‌ی آنها می‌شوند (۲۶).

خاک‌های حومه شهرها استعداد رشد سریع صنعتی شدن نسبت به سایر نواحی را داشته که خود می‌تواند زمینه‌ی اضافه شدن و تجمع عناصر سنگین را در آنها فراهم سازد. منشأ تأمین کننده عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی این مناطق شامل مواد مادری (تشکیلات زمین‌شناسی) و فعالیت‌های بشر می‌باشد (۲۵). اضافه شدن این عناصر به خاک‌های کشاورزی آسیب‌هایی جدی به سلامت انسان و دام از طریق ورود به چرخه غذایی ساکنان شهرها و نواحی اطراف وارد می‌سازد (۱۶).

عنصر سرب به‌عنوان یکی از فلزات سنگین شناخته شده و سمیت آن باعث مشکلاتی مانند اختلال در سیستم عصبی، متابولیسم ویتامین D، کاهش هورمون‌های جنسی و اختلال در رفتارهای مرتبط با آن و ایجاد مشکل در سیستم ایمنی بدن می‌گردد. این سمیت در کودکان بیشتر رایج بوده و می‌تواند از طریق مادران باردار نیز به جنین منتقل گردد (۱۴). مارک و



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در استان و محل‌های نمونه‌برداری

و علل ایجاد این وضعیت مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد پژوهش، بخشی از زیرحوضه کشف‌رود می‌باشد که در حد فاصل دو رشته کوه بینالود و کپه‌داغ در استان خراسان رضوی واقع شده است. مساحت منطقه بالغ بر ۸۹۰ کیلومتر مربع و از نظر مختصات جغرافیایی در موقعیت طول ۲۸°۳۶' تا ۲۳°۳۶' شرقی و عرض ۵۱°۱۳' تا ۵۴°۱۶' شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر کاربری، خاک‌های منطقه جزء نواحی شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی محسوب می‌شوند. براساس مطالعه کوهی در سال ۱۳۹۱، میانگین سالانه‌ی دما و بارندگی دشت مشهد به ترتیب ۱۱/۰ درجه سلیسیوس و ۲۴۶/۰ میلی‌متر می‌باشد (۲) و رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب اریدیک و مزیک گزارش شده‌اند (۱).

با استفاده از شبکه‌بندی اولیه روی تصاویر ماهواره‌ای، محدوده نقاط نمونه‌برداری مشخص و در نهایت براساس شبکه‌بندی نامنظم نمونه‌های مرکب سطحی خاک (۱۵-۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری گردید. هر نمونه از سطحی معادل ۲۰×۲۰ متری برداشته و مرکز آن توسط دستگاه GPS ثبت

رایج در مشخص نمودن این نواحی می‌باشد (۷). شاخص جامع مورن همبستگی مکانی (Spatial Autocorrelation) نمونه‌ها را نشان داده (۲۵) و نزدیکی موقعیت‌ها (Proximity) و تشابه (Similarity) ویژگی‌های آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

نزدیکی موقعیت‌ها با اندازه‌گیری فاصله بین آنها و تشابه ویژگی‌ها از تفاوت اطلاعات توصیفی نقاط مجاور به دست می‌آید. این شاخص نشان‌دهنده وجود الگوهای پراکنده، تصادفی و خوشه‌ای بین نقاط نمونه‌برداری می‌باشد (۳ و ۲۴). شاخص منطقه‌ای مورن هم‌چنین یکی از روش‌های رایج شاخص منطقه‌ای همبستگی مکانی (Local Indicator of Spatial Association) می‌باشد که کاربرد زیادی در تعیین نقاط حساس (Hotspots) و غیرحساس (Coolspots) دارد (۷). این شاخص علاوه بر استفاده در برنامه‌ریزی‌های زیست محیطی، در تعیین مناطق حساس و غیرحساس بیماری و مرگ و میر نیز مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است (۹). در این پژوهش علاوه بر بررسی غلظت عنصر سرب در کاربری‌های مختلف دشت مشهد، به همبستگی مکانی این عنصر با استفاده از شاخص‌های جامع و منطقه‌ای مورن پرداخته می‌شود. با استفاده از شاخص‌های مذکور نقشه پهنه‌بندی نقاط حساس و غیرحساس در دو حالت کل نمونه‌ها و حذف نمونه‌های پرت تهیه

میزان اشتباه در رد فرضیه صفر می‌باشد (۲۳). یکی از معیارهای مهم در بررسی همبستگی مکانی تعیین مرز همسایگی یا شعاع تأثیر (Distance band) هر یک از نقاط نمونه‌برداری است. به منظور تعیین دامنه تأثیر هر یک از نقاط از زمین‌آمار استفاده شده است. زمین‌آمار به توصیف ساختارهای مکانی پرداخته و داده‌های اولیه برای میان‌یابی مکانی و تولید نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات از خاک که از تئوری متغیرهای ناحیه‌ای تبعیت می‌کنند را فراهم می‌نماید (۱۲). بدین منظور براساس مقادیر سرب نمونه‌ها نمودار سمی واریوگرام تجربی به وسیله رابطه ۳ ترسیم می‌گردد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad [3]$$

در این معادله $\gamma(h)$ سمی واریوگرام در فاصله h ، $N(h)$ مجموع تعداد جفت نمونه‌های در فاصله h ، $z(x_i)$ مقدار سرب اندازه‌گیری شده در نقطه i و $z(x_i + h)$ مقدار سرب در نقطه $i+h$ می‌باشد (۲۴).

در شاخص منطقه‌ای مورن، علاوه بر در نظر گرفتن فاصله نمونه‌ها از نمونه‌های همسایه، مقدار هر نمونه نیز با مقادیر مجاور آن مورد توجه قرار می‌گیرد. براساس این الگوریتم نقاط حساس و غیر حساس مشخص و به صورت رابطه ۴ بیان می‌شود. مثبت بودن شاخص منطقه‌ای مورن نشان‌دهنده مشابهت مقادیر زیاد و یا مقادیر کم سرب با نمونه‌های مجاور می‌باشد. این نواحی به عنوان خوشه‌های مکانی معرفی گردیده و به صورت غلظت‌های زیاد-زیاد (High-High) و یا کم-کم (Low-Low) نشان داده می‌شوند. نقاط زیاد-زیاد به عنوان نقاط حساس و کم-کم به عنوان نقاط غیر حساس در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر منفی شاخص منطقه‌ای مورن بیان‌کننده عدم تشابه مکانی (Spatial Outliers) بین نقاط همسایه می‌باشد و می‌تواند به صورت غلظت زیاد-کم و کم-زیاد ظاهر شود (۳).

$$I_{Local} = \frac{X_i - \bar{X}}{\delta^2} \sum_{j=1}^n [W_{ij} (X_j - \bar{X})] \quad [4]$$

علائم به کار رفته در این معادله دارای همان تعریف علائم در معادله شاخص جامع مورن می‌باشند. δ^2 واریانس مقادیر سرب

گردید. تعداد ۲۶۱ نمونه به آزمایشگاه منتقل و پس از عبور از الک دو میلی متری مقدار کل سرب با استفاده از مخلوط یک به سه (۳:۱) اسید نیتریک-اسید کلریدریک غلیظ عصاره‌گیری شد (۱۳) و غلظت سرب در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی مدل پی جی ۹۹۰ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. دستگاه مجهز به شعله و کوره گرافیکی بوده که با توجه به غلظت نمونه‌ها از شعله برای اندازه‌گیری سرب عصاره‌ها استفاده گردید.

به منظور تعیین نقاط حساس آلودگی از شاخص‌های جامع و منطقه‌ای مورن (۷) و به منظور تعیین دامنه تأثیر نمونه‌ها بر یکدیگر از روش کریجینگ معمولی (۱۶) استفاده گردید. شاخص جامع مورن بیانگر تصادفی و غیر تصادفی بودن غلظت سرب در منطقه مطالعاتی می‌باشد و از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است S_0 از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$I_{Global} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S_0 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad [1]$$

در این معادله X_i مقدار سرب در موقعیت i ، \bar{X} میانگین مقدار سرب در تمامی نمونه‌ها و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد. X_j مقدار سرب در تمامی نقاط نمونه برداری شده واقع در مرز همسایگی به جز نقطه i می‌باشد.

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \quad [2]$$

S_0 شاخص وزن‌دهی و W_{ij} وزنی است که بین فاصله i و j تعریف می‌شود. مقدار W_{ij} به صورت یک شعاع اثر در نظر گرفته می‌شود، به طوری که نمونه‌های موجود در این شعاع به صورت معکوس فاصله کاهش یافته و خارج از مرز همسایگی دارای وزن صفر می‌باشد (۲۴).

برای آزمون شاخص جامع مورن از فرضیه صفر (Null hypothesis) استفاده می‌گردد. مشاهداتی که براساس فرضیه صفر رد می‌شوند، غیر تصادفی بوده و دارای الگوی مکانی می‌باشند. برای معنی دار بودن رد یا قبول فرضیه صفر از نمره Z (z-score) استفاده می‌گردد. مقدار p (P-value) نیز نشان‌دهنده

جدول ۱. مشخصات آماری داده‌های اولیه، لگاریتمی و غلظت سرب در چندک‌های مختلف (میلی گرم بر کیلوگرم)

تعداد نمونه	کمینه	۲۵٪	میانه	۷۵٪	بیشینه	میانگین	واریانس	انحراف معیار	چولگی
۲۶۱	۱۴/۲	۲۳/۴	۲۶/۳	۲۹/۵	۱۲۱/۲	۲۸/۱	۱۳۰/۰	۱۱/۴	۴/۳
۲۶۱	۱/۲	۱/۴	۱/۴	۱/۵	۲/۱	۱/۴	۰/۰۲	۰/۱۳	۱/۴

می‌باشد.

غلظت این عنصر در جهت شمال به جنوب می‌باشد که واقع شدن شهر مشهد در بخش جنوبی حوضه مورد پژوهش را بایستی مورد توجه قرار داد.

لازم به ذکر است برای تعیین پارامترهای آماری توصیفی از نرم‌افزار SPSS، تولید نقشه و اعمال الگوریتم‌های شاخص جامع و منطقه‌ای مورن از نرم‌افزار ArcGIS(10) و به‌منظور تعیین ضرایب زمین‌آمار از برنامه الحاقی Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ArcGIS(9.3) استفاده گردیده است.

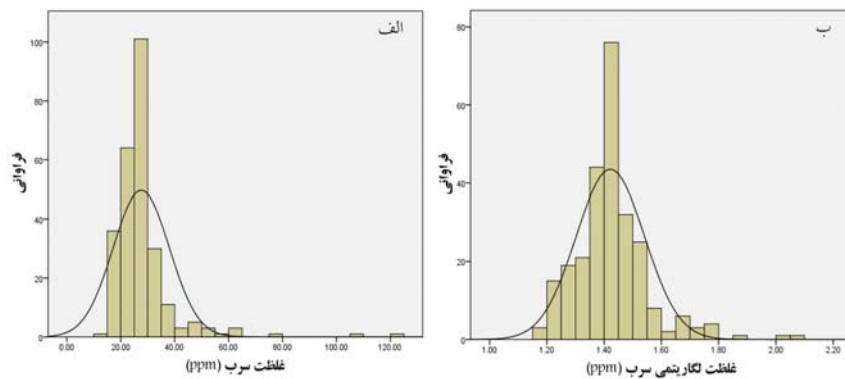
نتایج و بحث

بررسی غلظت سرب در دشت مطالعاتی

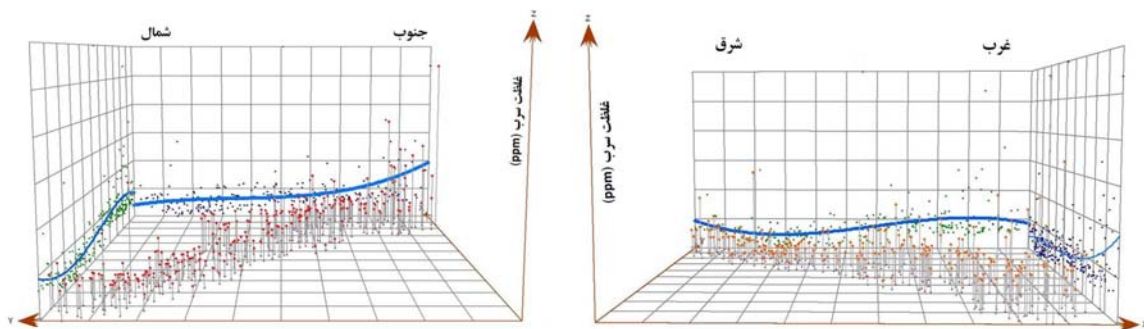
جدول ۱ نشان‌دهنده خلاصه آماری داده‌های سرب در محدوده مورد پژوهش می‌باشد. اطلاعات جدول بیانگر چولگی مثبت داده‌های خام و انحراف از توزیع نرمال بوده و با توجه به اثرات نامطلوب چولگی داده‌ها با تبدیل لگاریتمی آنها، این پارامتر آماری کاهش یافته و فراوانی داده‌ها به توزیع نرمال نزدیک شده است. لازم به ذکر است به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها، علاوه بر بررسی چولگی داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز استفاده شد. مقدار عددی Z در آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برابر ۳/۴۶ برآورد گردید. این آزمون در سطح یک درصد معنی‌دار و نشان‌دهنده رد فرضیه صفر می‌باشد. براین اساس مجدداً عدم نرمال بودن داده‌ها اثبات می‌گردد. شکل ۲ توزیع مقادیر سرب در شرایط خام (الف) و لگاریتمی (ب) را نشان می‌دهد. بررسی‌های اولیه پراکنش غلظت سرب (شکل ۳) نشان می‌دهد که در محور شرقی-غربی، غلظت این عنصر در کرانه‌های غربی و شرقی بیشتر از نواحی میانی می‌باشد. شایان ذکر است که کرانه‌های محور مربوطه شامل کاربری شهری مشهد و چناران می‌باشد. بررسی مقادیر سرب در محور شمالی-جنوبی نیز نشان‌دهنده افزایش

همبستگی مکانی، انطباق تشابه مقداری (غلظت سرب) و موقعیتی نقاط نمونه‌برداری را مورد بررسی قرار می‌دهد (۱۷). نقاط حساس آلودگی می‌توانند به‌صورت خوشه (Cluster) و یا منفرد (Individual) ظاهر شوند، به‌طوری که در این پژوهش خوشه‌های آلودگی به‌صورت نمونه‌های با غلظت سرب زیاد و احاطه شده با مقادیر مشابه (زیاد) تعریف می‌شوند. در مقابل نقاط حساس انفرادی، نمونه‌هایی با غلظت زیاد سرب هستند که توسط نمونه‌هایی با غلظت نرمال و یا کم احاطه شده‌اند (۲۰ و ۲۳). مثبت بودن همبستگی مکانی، نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن داده‌ها می‌باشد (در مقادیر کم و زیاد سرب). این در حالی است که همبستگی مکانی منفی بیانگر عدم تشابه غلظت سرب در نمونه‌های مجاور یکدیگر و مقدار نزدیک صفر بیان‌کننده وضعیت تصادفی نمونه‌هاست. فن‌آوری‌هایی که برای تعیین همبستگی مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند به دو صورت جامع و منطقه‌ای تقسیم‌بندی شده‌اند (۵ و ۸).

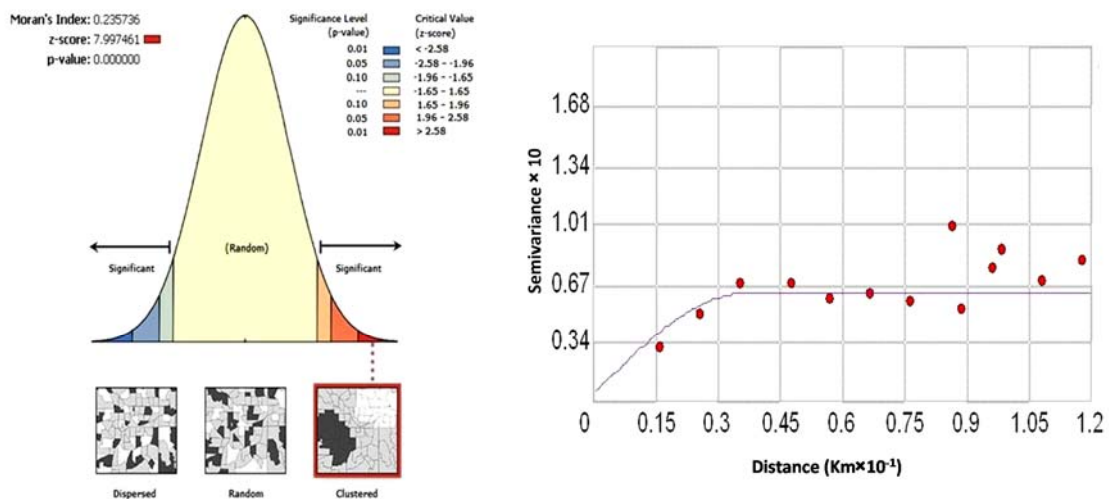
از منحنی سمی واریوگرام به‌منظور تعیین مرز همسایگی نمونه‌ها استفاده گردید (شکل ۴ (راست)). این منحنی تغییرپذیری مقادیر سرب با افزایش فاصله را نشان می‌دهد. براساس این نمودار مشخص می‌شود که مشاهدات سرب تا فاصله ۳۹۰۰ متری دارای همبستگی مکانی می‌باشند. لازم به ذکر است مدل برازش یافته از نوع کروی بوده و مقادیر اثر قطعه‌ای، دامنه و آستانه به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۴۲، ۳۹۰۰ متر و



شکل ۲. توزیع داده‌های اولیه (الف) و لگاریتمی (ب)



شکل ۳. نمای سه بعدی غلظت سرب در دشت مشهد



شکل ۴. منحنی سمی واریوگرام عنصر سرب نسبت به فاصله (راست) و الگوی همبستگی مکانی شاخص جامع مورن (چپ)

مورن، نمره Z و مقدار p محاسبه گردیده است. این شاخص تنها به وجود یا عدم وجود همبستگی مکانی اشاره می‌کند. با توجه به مثبت بودن شاخص مورن (۰/۲۳۵)، نمره Z معادل ۷/۹۹ بودن (هرچه این مقدار از صفر بیشتر باشد نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن

۰/۰۶۰۲ می‌باشد. نتایج مشابهی نیز توسط پینگو و همکاران (۱۶) در خصوص دامنه تأثیر سرب در خاک‌های شهرها و اطراف آن به دست آمده است. با استفاده از فرضیات فوق و به‌کارگیری الگوریتم شاخص جامع مورن، مقادیر شاخص

جدول ۲. میانگین پارامترهای شاخص منطقه‌ای مورن

کم - زیاد	زیاد - کم	کم - کم	زیاد - زیاد	غیر معنی‌دار	تعداد
-	۱	۱۷	۱۵	۲۲۸	میانگین شاخص منطقه‌ای مورن (10^{-4})
-	-۲۰۰	۵۰	۱۱۰	۷	میانگین نمره Z (10^{-1})
-	-۹۱/۹	۲۶/۹	۷۱/۴	۲/۳	میانگین مقدار p (10^{-4})
-	۰	۱۸۰	۲۷	۷۰۶۰	

مشخص می‌شود که جهت باد غالب در دشت مشهد به سمت جنوب شرقی می‌باشد (شکل ۵).

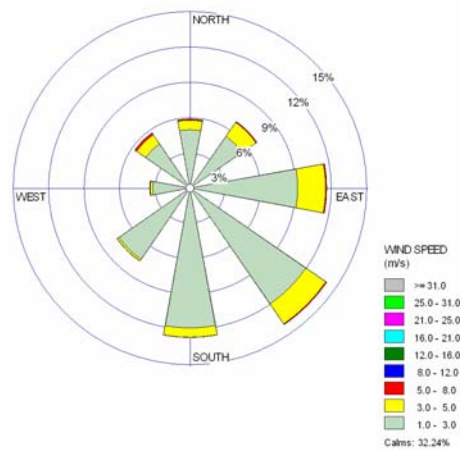
با بررسی تمرکز نقاط حساس در ناحیه جنوب شرقی دشت و جهت باد غالب منطقه، می‌توان گفت که بایستی به نقش باد در انتقال این ذرات معلق به این ناحیه توجه بیشتری نمود. زوتا و همکاران (۲۸) در ایالت اوتاوا نقش جهت باد و اندازه ذرات معلق را در انتقال عنصر سرب نشان دادند. سیونگ و همکاران (۱۹) نیز به نقش باد در توزیع اندازه ذرات منتقل شده و توزیع مکانی ذرات معلق سرب در سال‌های گذشته در آمریکا اشاره کرده‌اند.

از دلایل دیگر تجمع این عنصر در جنوب شرقی دشت را می‌توان نزدیکی این منطقه به فرودگاه مشهد معرفی نمود. شکل ۶ نشان می‌دهد نقاط حساس در فاصله ۱/۵ تا ۹ کیلومتری غرب فرودگاه واقع شده‌اند که این ناحیه می‌تواند به‌عنوان منطقه فرود (Landing) تلقی گردد. لازم به ذکر است بنابر گزارش انجمن حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)، سوخت هواپیماها به‌عنوان یکی از منابع انتشار سرب به محیط زیست معرفی شده است (۲۱). بررسی صورت پذیرفته در آمریکا نیز نشان می‌دهد که پس از حذف سرب از سوخت اتومبیل‌ها، سوخت هواپیماها را می‌توان به‌عنوان یکی از منابع اصلی آزاد کننده این عنصر به طبیعت به‌شمار آورد به طوری که در سال ۲۰۰۸ سهم سرب آزاد شده به هوا از طریق سوخت هواپیماها ۵۰ درصد سایر منابع بوده است (۱۹). این در حالی است که بنابر مطالعات سیونگ و همکاران (۱۹) بررسی و پژوهشی در خصوص غلظت این عنصر در مجاورت فرودگاه‌ها انجام نشده است. با بررسی نقشه توزیع مکانی (شکل ۶)، ۱۷ نمونه به‌عنوان نقاط غیر حساس معرفی شده‌اند. این نقاط به‌طور عمده در فاصله ۱۰ کیلومتری

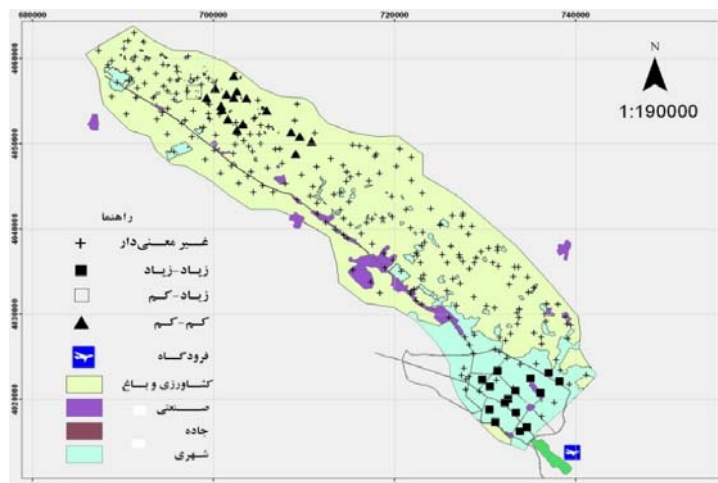
بیشتر مقادیر داده‌ها می‌باشد) و صفر بودن مقدار p مشخص می‌شود که فرضیه صفر برای مشاهدات با سطح اطمینان ۱۰۰ درصد رد شده و نمونه‌های سرب دارای همبستگی مکانی از نوع خوشه‌ای می‌باشد (شکل ۴ (چپ)).

نتایج اعمال الگوریتم شاخص منطقه‌ای مورن بر روی مقادیر سرب در جدول ۲ نشان داده شده و بر این اساس تعداد ۱۵ نقطه حساس گزارش گردیده است. این نقاط دارای شاخص منطقه‌ای مثبت، نمره Z با فاصله از مقدار صفر و مقدار p کم (در جدول با ضریب 10^{-4}) ارائه شده است) بوده و در ناحیه جنوب شرقی حوضه مطالعاتی واقع شده‌اند (شکل ۶). فاصله نمره Z از صفر بیانگر خوشه‌ای بودن مقادیر سرب و مقدار p سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد را نشان می‌دهد (جدول ۲). قرار گرفتن این نواحی در شهر مشهد و کاربری شهری می‌تواند به‌عنوان یکی از علل تعیین این نواحی به‌عنوان نقاط حساس باشد. عمده این نقاط در مرکز و بافت قدیمی شهر واقع شده‌اند که فعالیت‌های شهری، سرب مورد استفاده در سوخت‌های فسیلی و رنگ‌های ساختمانی و صنعتی می‌تواند از منابع رهاسازی این عنصر به طبیعت معرفی گردد. لازم به ذکر است قدمت شهر مشهد در انباشته شدن سرب بی‌تأثیر نیست. ژنگ و همکاران (۲۴) و پینگو و همکاران (۱۶) نیز نتایج مشابهی در خصوص کاربری شهری و تجمع سرب گزارش نموده‌اند.

از علل دیگر انباشتگی این عنصر در ناحیه جنوب شرقی حوضه مطالعاتی می‌توان به جهت وزش باد غالب منطقه اشاره نمود. با توجه به اینکه منابع آلاینده این عنصر به‌طور عمده موجب نشر آن به هوای آزاد می‌شوند لذا بررسی جهت باد غالب از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. بر اساس گلباد سالانه تهیه شده از ایستگاه مشهد در دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۸۹



شکل ۵: گلباد سالانه ایستگاه مشهد (مأخذ: اداره کل هواشناسی خراسان رضوی - سازمان هواشناسی کشور)



شکل ۶: توزیع مکانی نقاط حساس، غیر حساس، کاربری زمین و نقاط نمونه برداری

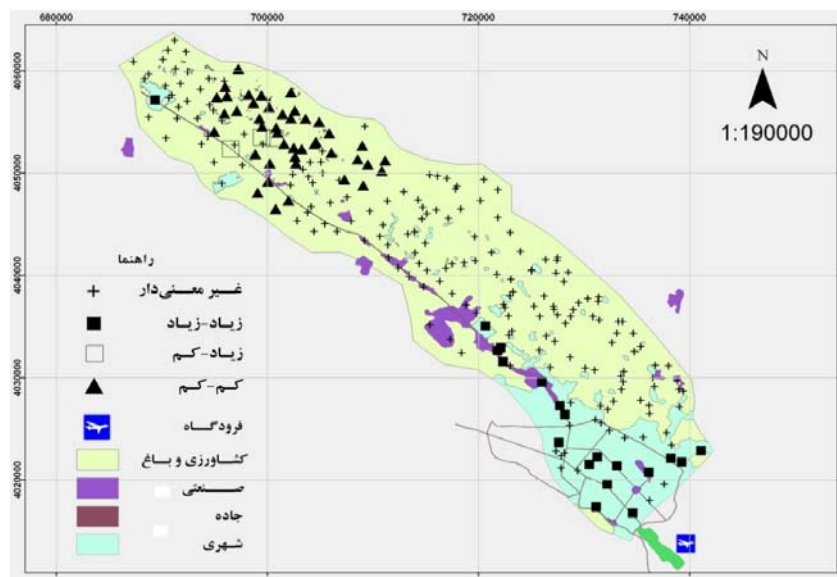
می باشد. بازدیدهای میدانی صورت گرفته و بررسی نقشه کاربری زمین نشان می دهد این ناحیه توسط ۴ واحد صنعتی احاطه شده که شاید بتوان آن را دلیل این موضوع دانست. لازم به یادآوری است که بررسی هایی با مقیاس دقیقتر برای آگاهی از علت لحاظ شدن این نمونه به عنوان نقطه حساس انفرادی ضروری می باشد.

حذف داده های پرت و بررسی همبستگی مکانی غلظت سرب
داده های پرت براساس روش باکس و ویسکرز (Box and Wiskers Plot) داده هایی هستند که بیشتر از مقدار صدک هفتاد

غرب شهرستان چناران و ضلع شمالی بزرگراه مشهد-قوچان قرار دارند. مقدار p مشخص می کند که سطح اطمینان برای در نظر گرفتن این نمونه ها به عنوان الگوی خوشه ای بیش از ۹۵ درصد می باشد (جدول ۲). به دلیل فاصله داشتن از شهر مشهد، کاربری عمده کشاورزی و قرار گرفتن در جهت مخالف باد منطقه، مواد آلاینده در این ناحیه تجمع نیافته است، به طوری که این منطقه جزء نقاط غیر حساس به شمار می آید. علاوه بر این، یک نمونه به عنوان نقطه حساس انفرادی (Individual hotspot) نشان داده شده است. غلظت سرب این نقطه نسبت به نمونه های مجاور در سطح اطمینان بیش از ۹۹ درصد بیشتر

جدول ۳. میانگین پارامترهای شاخص منطقه‌ای مورن با حذف داده‌های پرت

	غیر معنی‌دار		زیاد - زیاد		کم - کم		زیاد - کم		کم - زیاد
	حذف کل داده‌ها	حذف داده‌های پرت	حذف کل داده‌ها	حذف داده‌های پرت	حذف کل داده‌ها	حذف داده‌های پرت	حذف کل داده‌ها	حذف داده‌های پرت	
تعداد	۲۲۸	۱۸۳	۱۵	۱۹	۱۷	۴۳	۱	۳	-
میانگین منطقه‌ای مورن (10^{-4})	۷	۷/۶	۱۱۰	۱۰۴	۵۰	۹۶	-۲۰۰	-۶۴	-
میانگین نمره Z (10^{-1})	۳/۲	۳/۷	۷۱/۴	۳۸/۸	۲۶/۹	۴۶/۵	-۹۱/۹	-۲۵/۵	-
میانگین مقدار p (10^{-4})	۷۰۶۰	۶۶۱۰	۲۷	۴۶	۱۸۰	۳۹	۰	۱۱۸	-



شکل ۷. توزیع مکانی نقاط حساس، غیر حساس، کاربری زمین و نقاط نمونه‌برداری با حذف داده‌های پرت

لذا با حذف اثر آنها بر سایر نمونه‌ها می‌توان نواحی حساس دارای مرتبه دوم اهمیت را مورد شناسایی قرارداد. شکل ۷ نقشه توزیع مکانی نقاط حساس و غیر حساس با حذف داده‌های پرت و کاربری زمین را نشان می‌دهد. با بررسی شکل ۷ و جدول ۳ مشخص می‌شود که تعداد ۴ نقطه (سطح اطمینان ۹۹ درصد) به نمونه‌های زیاد-زیاد افزوده شده است. موقعیت این

و پنجم بعلاوه سه برابر اختلاف بین صدک هفتاد و پنجم و بیست و پنجم می‌باشند (۲۴). با توجه به جدول ۱ نمونه‌های دارای بیش از ۴۷/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم (۱۳ نمونه) به‌عنوان داده‌های پرت محسوب و از نمونه‌ها حذف می‌گردند. به‌منظور حذف داده‌های پرت فرض شده است که می‌توان این نواحی را بدون انجام آزمون آماری به‌عنوان نقاط حساس در نظر گرفت.

نتیجه گیری

بررسی های صورت پذیرفته نشان می دهد که شاخص های جامع و منطقه ای مورن می توانند در تعیین خوشه بندی داده های سرب مفید بوده و نقاط حساس و غیر حساس مکانی را به صورت خوشه ای و انفرادی مشخص نماید. بر این اساس نقاط نمونه برداری شده از کاربری شهری مشهد به عنوان مناطق حساس معرفی شده و بایستی با ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب روند افزایشی این عنصر کنترل گردد. از علل قرار گرفتن این مناطق به عنوان نواحی حساس می توان به کاربری شهری و صنعتی این محدوده، جهت وزش باد غالب و نزدیکی به فرودگاه مشهد اشاره نمود. لازم به ذکر است برای قطعیت عوامل مذکور بایستی مطالعات جامع تری در این خصوص صورت پذیرد. علاوه بر این با حذف داده های پرت از مجموع نمونه ها مشخص می شود که نواحی غربی شهر مشهد و شهرستان چناران نیز می توانند در درجه دوم اهمیت از لحاظ قرار گرفتن به عنوان نواحی حساس به شمار آیند. شایان ذکر است ناحیه بین مشهد و چناران که به طور عمده دارای کاربری کشاورزی و باغ می باشند از نظر سرب در خوشه های کم-کم قرار دارد و به عنوان یک منطقه غیر حساس معرفی می شود.

نواحی به سمت غرب مشهد (ابتدای بزرگراه مشهد- چناران) امتداد یافته و یک نمونه نیز واقع در ناحیه مرکزی شهر چناران اضافه شده است. این مناطق دارای کاربری شهری، صنعتی و در مجاورت بزرگراه می باشند. هم چنین تعداد ۲ نمونه به نقاط حساس انفرادی در مجاورت نمونه های انفرادی شکل ۷ اضافه شده که بایستی مورد بررسی بیشتر واقع گردند. جدول ۳ نشان می دهد تعداد نمونه های قرار گرفته در خوشه کم-کم دو و نیم برابر نسبت به کل داده ها می باشد (سطح اطمینان ۹۹ درصد) که می توان علت آنرا تغییر در میانگین داده ها پس از حذف داده های پرت دانست. این نمونه ها در خاک های کشاورزی بین مشهد و چناران واقع شده و نشان می دهد که مناطق غیر حساس در شکل ۷ گسترش یافته است.

لازم به ذکر است تمامی دلایل ارائه شده برای پراکنش نقاط حساس و غیر حساس در تجزیه و تحلیل ارائه شده در مبحث تمام داده ها، در مورد داده های همراه با حذف نمونه های پرت صادق می باشد (۲۸، ۲۱، ۱۹) و این نکته قابل توجه است که نواحی غرب شهر مشهد با کاربری شهری، صنعتی و بزرگراه و شهرستان چناران در درجه دوم اهمیت از نظر قرار گرفتن به عنوان نقاط حساس بوده و بایستی تحت مدیریت صحیح برای جلوگیری از افزایش عنصر سرب قرار گیرند.

منابع مورد استفاده

۱. صاحب جمع، ع. ا. ۱۳۸۱. گزارش نهایی مطالعات تفصیلی دقیق خاک شناسی و طبقه بندی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق- استان خراسان، نشریه ی شماره ۱۱۴۶. موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهران.
۲. کوهی، م. ۱۳۹۱. شبیه سازی و ریزمقیاس کردین رویدادهای حدی آب و هوایی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) (مطالعه موردی: حوضه کشف رود). پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

3. Anselin, L. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. *Geograph. Anal.* 27: 93-115.
4. Goovaerts, P. 2000. Estimation or simulation of soil properties? An optimization problem with conflicting criteria. *Geoderma* 97: 165-186.
5. Goovaerts, P. and G. M. Jacquez. 2004. Accounting for regional background and population size in the detection of spatial clusters and outliers using geostatistical filtering and spatial neutral models: the case of lung cancer in Long Island, New York. *Intl. J. Health Geograph.* 3:14-24.
6. Ishioka, F., K. Kurihara, H. Suito, Y. Horikawa and Y. Ono. 2007. Detection of hotspots for three-dimensional spatial data and its application to environmental pollution data. *J. Environ. Sci. for Sustainable Soc.* 1: 15-24.

7. Izuru, S., A. Maekawa and N. Yamamura. 2010. Spatial analysis of time-series changes in livestock distribution by detection of local spatial associations in Mongolia. *Applied Geography* 30: 639–649.
8. Jacquez, G. M. and D. A. Greiling. 2003. Local clustering in breast, lung and colorectal cancer in Long Island. New York. *Intl. J. Health Geograph.* 2-3.
9. James, W. L., R. E. Cossman, J. S. Cossman, C. Campbell and T. Blanchard. 2004. A brief visual primer for the mapping of mortality trend data. *Intl. J. Health Geographics* 3-7.
10. Journel, A., P. Kyriakidis and S. Mao. 2000. Correcting the smoothing effect of estimators: a spectral postprocessor. *Math. Geol.* 32: 787–813.
11. Mark, A. S., Laidlaw and P. T. Mark. 2011. Potential for childhood lead poisoning in the inner cities of Australia due to exposure to lead in soil dust. *Environ. Pollut.* 159: 1-9
12. McBratney, A. B., I. O. A. Odeh, T. F. A. Bishop., M. S. Dunbar and T. M. Shatar. 2000. Overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma* 97: 293-327.
13. McGrath, S. P., C. I. I. Cunliffe. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludge. *J. Sci. Food and Agric.* 36: 794-798.
14. Mielke, H. W. 1994. Lead in New Orleans soils: new images of an urban environment. *Environ. Geochem. and Health* 16: 12-128.
15. Mielke, H. W. and P. L. Reagan. 1998. Soil is an important pathway of human lead exposure. *Environ. Health Persp.* 106: 217-229.
16. Pingguo, Y., M. Renzhao, S. Hongbo and G. Yunfeng. 2009. The spatial variability of heavy metal distribution in the suburban farmland of Taihang Piedmont Plain, China. *Comptes Rendus Biol.* 332: 558–566.
17. Premo, L. S. 2004. Local spatial autocorrelation statistics quantify multi-scale patterns in distributional data: an example from the Maya Lowlands. *J. Archaeol. Sci.* 31: 855–866.
18. Purves, D. and E. J. Mackenzie. 1969. Trace-element contamination of parklands in urban areas. *J. Soil Sci.* 20: 288–290.
19. Seung, H.CH., R. Jennifer, T. Jonathan, P. Jeff., V. Robert, C. Kevin and R. Joann. 2011. A literature review of concentrations and size distributions of ambient airborne Pb-containing particulate matter. *Atmospheric Environ.* 45: 5005-5015
20. Stephane, D., P. Legendre and R. Pedro. 2006. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbor matrices (PCNM). *Ecol. Model.* 196: 483–493.
21. U.S. EPA. 2011. 2008 National Emissions Inventory Data. <http://www.epa.gov/ttn/chief/net/2008inventory.html>.
22. Xiangdong, Li., L. Siulan, W. Szechung, Sh. Wenzhong and T. Iain. 2004. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environ. Pollut.* 129: 113–124.
23. Ximing, C. and W. Dingbao. 2006. Spatial autocorrelation of topographic index in catchments. *Journal of Hydrology.* 328: 581–591.
24. Zang, Ch., L. Luo., W.L. Xu. and V. Ledwith. 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Sci. Total Environ.* 398: 212-221
25. Zang, Ch., T. Ya., L. Lin. and X. Weilin. 2009. Outlier identification and visualization for Pb concentrations in urban soils and its implications for identification of potential contaminated land. *Environ. Pollut. J.* 157: 3083–3090.
26. Zhang, CH. 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. *Environ. Pollut. J.* 142: 501-511.
27. Zhang, T.L. and G. Lin. 2006. A supplemental indicator of high-value or low-value spatial clustering. *Geographical Analysis* 38: 209–25.
28. Zota, A.R., R. Willi., R. Jim, G.A. Norris, J.P. Shine, R.M. Duvall, L.A. Schaidler and J.D. Spengler. 2009. Impact of mine waste on airborne respirable particulates in Northeastern Oklahoma, United States. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 59: 1347-1357.