

تجزیه و تحلیل زمین آماری پراکنش سرب و کادمیوم خاک با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی در منطقه جنوب غرب اصفهان در سال ۱۳۹۶

امیرحسین بقائی^{۱*} و امیر دلیری^۱

۱. گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی خاک و انباشتگی فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی یکی از مهمترین مسایل زیست محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌نماید. این تحقیق با هدف تجزیه و تحلیل زمین آماری پراکنش سرب و کادمیوم با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی در منطقه جنوب غرب اصفهان در سال ۱۳۹۶ صورت پذیرفت. روش کار: این نوع مطالعه از نوع توصیفی مقطعی است که در منطقه جنوب غربی استان اصفهان با تعداد ۱۵۰ نمونه صورت پذیرفت. نمونه برداری در ابتدا به صورت تصادفی بر روی یک شبکه منظم با فاصله ۳ کیلومتر به عمق ۱۰-۰ سانتی متر صورت پذیرفته و با نزدیک شدن به معدن سرب و روی و یا شهرکهای مسکونی، فاصله نمونه برداریها تا حدود ۵۰ متر کاهش یافت. غلظت سرب و کادمیوم به روش هضم نمونه‌ها با مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک با کمک دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد وضعیت پراکنش فلزات سنگین با استفاده از روش زمین آمار مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها: بیشترین و کمترین غلظت سرب و کادمیوم به ترتیب در اطراف مجتمع ایرانکوه و شهرک سپاهان شهر اصفهان به ترتیب با مقدار بالای ۳۰۰ و زیر ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. مقدار غلظت کادمیوم و سرب در اطراف شهر بهارستان و پارک جنگلی صفا عددی زیر حد استاندارد را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین فاکتور عامل آلودگی سرب و کادمیوم (CF) نیز به ترتیب در اطراف مجتمع ایرانکوه و شهرک سپاهان شهر اصفهان به ترتیب با مقادیر بالای ۶ و زیر ۳ مشاهده شد. نتیجه‌گیری: پهنه‌بندی وضعیت پراکنش فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی می‌تواند تا حد زیادی گویای وضعیت پراکنش آلاینده‌ها در منطقه باشد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، شاخص آلودگی، پهنه‌بندی، زمین آمار

مقدمه

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش دانش علمی و فنی و گسترش صنایع بدون رعایت مسائل و استانداردهای زیست محیطی، سبب آلودگی محیط و بهم خوردن تعادل اکوسیستم خاک شده است. بنابراین آگاهی در مورد آلاینده‌های خاک و توجه بیشتر به راهکاری مناسب برای کاهش آنها ضرورتی انکارپذیر است. آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به شمار رفته و از میان آنها فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر موجودات زنده در غلظت های کم حائز اهمیت شناخته‌اند. از جمله این عناصر می توان به سرب و کادمیم اشاره کرد که به خاطر توانایی بالقوه در آسیب رسانی به سلامت انسان‌ها و حیوانات در چند دهه اخیر از نظر مسائل زیست محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند و سعی شده از ورود آنها به چرخه محیط زیست تا حد امکان جلوگیری شود. غلظت سرب در خاکها بین ۱ تا ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و به طور متوسط ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم و حد بحرانی آن ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد^۱. سرب بعد از انتقال در خون به نقاط مختلف بدن منتقل شده و در اندام هایی مانند کلیه، کبد، طحال، سیستم های عصبی، مغز استخوان و غدد فوق کلیوی جمع می شود و بالا رفتن غلظت آن ایجاد سمیت شدیدی می کند که در اثر عدم درمان و جلوگیری از آلودگی بیشتر به مرگ منتهی می شود^۲. سرب به عنوان القاء کننده تومورهای کلیوی، کاهش رشد و افزایش فشار خون و خطر ابتلا به بیماریهای قلب و عروق برای بزرگسالان شناخته شده است^۳.

کادمیوم بیشتر از سایر عناصر واسطه محلول بوده و در خاک به صورت محلول به فرم کاتیون دو ظرفیتی باقی می ماند. در خاک‌های کشاورزی مقدار کادمیوم کمتر از یک میلی گرم در کیلو گرم بوده و مقادیر بیشتر از این در خاک‌های کشاورزی که استفاده طولانی مدت از کودهای فسفوری و لجن فاضلاب داشته اند مشاهده می شوند. کودهای فسفوری یکی از

منابع مهم آلودگی خاک های زراعی با کادمیوم محسوب می شوند^۴. کادمیوم از طریق مواد غذایی به بدن انسان می رسد و جزء مواد سرطان زا گروه بندی شده است. وجود این ترکیب در بدن باعث بیماریهای استخوانی، آسیب به ریه، نارسایی کلیه و کبد، بیماریهای قلبی عروقی و افزایش فشار خون می شود^{۵،۶}. Pourmoghadas و همکاران در تحقیقی استفاده از کودهای شیمیایی نظیر کود فسفات را عامل مهمی در جهت افزایش غلظت کادمیوم در مزارع کشاورزی اصفهان دانستند^۷. Pirzadeh و همکاران نیز در تحقیقی به بررسی وضعیت روی و کادمیم در خاکهای شالیزاری و برنج استانهای اصفهان، فارس و خوزستان و تأثیر آنها بر امنیت غذایی پرداخته و استفاده از کودهای فسفات را یکی از اصلی ترین عوامل کادمیوم به زنجیره غذایی دانستند^۸. حضور کادمیوم در مواد غذایی بیش از حد استاندارد منجر به بروز انواع بیماری‌ها از جمله اختلالات عصبی، سرطان و اختلالات ژنتیکی می شود^۹.^{۱۰} کادمیوم از جمله فلزاتی می باشد که به طور وسیع در محیط زیست پراکنده شده است. اثرات سمی کادمیوم از طریق دو مکانیسم ایجاد می گردد. کادمیوم جایگزین فلز روی در بسیاری از آنزیمها می شود و از سوی دیگر از طریق واکنش با گروه های تیول پروتئینها منجر به تغییر در ساختمان و عملکرد آنها و به این ترتیب اثرات سمی از خود نشان می دهد^{۱۱}.

آسیبها، صدمات و ناهنجاریهایی که آدمی در سیستمهایی طبیعی و خاکی به وجود می آورد، مانند فعالیت‌های معدنکاو، دفن ضایعات و زباله‌های مختلف، مصارف بیش از حد کودهای شیمیایی، سموم و آفت کشها، ایجاد فرسایش خاک، جنگل تراشی، تغییر کاربری اراضی و نظایر آن موجب به وجود آوردن خطرات جدی برای سلامت و تندرستی خود و محیطی که در آن زندگی میکند، می گردد. بنابراین افزایش سطح آگاهی و شناخت از چنین خطراتی که ناشی از بر هم خوردگی سیستم‌های زمینی و خاکی است، به منظور کاهش آثار مخرب و تهدید سلامت انسانی ضروری به نظر می رسد^{۱۲}.

کادمیوم در منطقه پارک جنگلی صفه که یکی از مسیرهای اصلی کمر بند حاشیه‌ای شهر به حساب آمده و شهر بهارستان واقع در منطقه غرب و جنوب غربی استان اصفهان وجود ندارد. بنابر این این تحقیق با هدف تجزیه و تحلیل زمین آماری پراکنش فلزات سنگین در خاک با استفاده از شاخصهای زیست محیطی در منطقه جنوب غرب اصفهان در سال صورت ۱۳۹۶ پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این نوع مطالعه از نوع توصیفی مقطعی است که در منطقه جنوب غربی استان اصفهان بر روی زمین‌های حد فاصل شهرک سپاهان شهر تا مجتمع ایرانکوه که سومین معدن سرب و روی کشور بوده صورت پذیرفت. جهت بررسی وضعیت پراکنش آلودگی سرب و کادمیوم در منطقه، در ابتدا نمونه برداری به صورت تصادفی بر روی یک شبکه منظم با فاصله ۳ کیلومتر به عمق ۱۰-۰ سانتی متر جمعاً به تعداد ۱۵۰ نمونه صورت پذیرفته و با نزدیک شدن به معدن سرب و روی و یا شهرکهای مسکونی، فاصله نمونه برداریها تا حدود ۵۰ متر کاهش یافت. قابل ذکر است.

پس از انجام نمونه برداری، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و برای اندازه‌گیری غلظت کل سرب و کادمیوم نمونه‌های خاک، پنج گرم از هر نمونه توزین و سپس در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. آنگاه مخلوط ۱۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک غلیظ و ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به هر نمونه توزین شده اضافه و پس از تکان دادن به مدت یک ساعت و نیم در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد حرارت دیده تا اکسیداسیون مواد آلی خاک به طور کامل انجام گیرد. پس از سرد شدن، سوسپانسیون حاصل را از کاغذ واتمن ۴۲ عبور داده و حجم عصاره با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت غلظت کادمیوم و سرب با کمک دستگاه جذب اتمی شعله‌ای پرکین المر مدل ۳۰۳۰

در پژوهش‌های زیست محیطی برخی از شاخص‌های محاسباتی وجود دارند که بر مبنای آنها نوع عناصر آلوده و شدت آلودگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد^{۱۳، ۱۴}. از این شاخص‌ها برای مقایسه، ارزیابی، پایش و همچنین مدیریت اثرات عناصر آلوده استفاده می‌شود^{۱۵}. Phuiyan و همکاران آلودگی فلزات سنگین را در خاکهای کشاورزی با استفاده از فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج غنی شدن معنی‌دار خاکها با فلزات تیتانیم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان را نشان داد، که حاصل ورود به خاک طی فعالیت‌های معدنی بودند^{۱۶}. از سویی دیگر، یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی منطقه عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط میباشد. بدین منظور استفاده از راهکار مناسب جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط توصیه میگردد. یکی از راهکارهای تجزیه و تحلیل‌های مکانی داده‌های ژئوشیمیایی محیطی، استفاده از روشهای میانبایی برای مطالعه‌ی الگوی توزیع مکانی این داده‌ها و تهیه نقشه‌های مورد نظر می‌باشد. از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار بنام زمین‌آمار پا به عرصه علوم نهاد که امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آنها را فراهم آورد. به کمک زمین‌آمار علاوه بر توصیف و صورت بندی الگوی تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها می‌توان اقدام به تخمین و تهیه نقشه‌های کمی پراکنش آلودگی نمود^{۱۷-۱۹}. با توجه به اهمیت وجود رشته کوه ایرانکوه که حاوی معادن سرب، روی و کادمیوم و اهمیت وجود صنایع در جنوب غربی اصفهان، بررسی وضعیت پراکنش فلزات سنگین امری ضروری به نظر می‌رسد که در این میان مطالعه وضعیت آلودگی این عناصر در بازده‌های زمانی مختلف با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری در مورد وضعیت پراکنش این عناصر نشان دهد. از سویی دیگر، اطلاعاتی در مورد وضعیت پراکنش فلزات سنگین سرب و

تجزیه و تحلیل زمین آماری پراکنش سرب و کادمیوم خاک با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی در منطقه جنوب غرب اصفهان در سال ۱۳۹۶

فلزات سنگین (PLI) و عامل آلودگی (CF)، ابتدا انطباق توزیع مقادیر آن با شرایط توزیع نرمال بررسی شد و در نهایت به منظور شناسایی هر چه بهتر مناطق آلوده و یا مناطق در معرض آلودگی به فلزات سنگین، اقدام به تهیه نقشه‌های مذکور شد. شایان ذکر است که در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل نمونه‌ها از روش زمین آمار کمک و ترسیم نقشه‌ها با روش کریجینگ معمولی و با استفاده از نرم افزار 7 Surfer صورت پذیرفته است.^{۲۱}

دقت و صحت سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شده از طریق تجزیه نمونه توصیه شده موسسه استاندارد و فناوری استاندارد مواد مرجع (SRM 1570) صورت پذیرفت.

یافته‌ها

خلاصه ویژگی‌های آماری نمونه‌های مورد مطالعه در منطقه در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین غلظت سرب و کادمیوم به ترتیب برابر ۱۸۶/۸ و ۳/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. قابل ذکر است هر چند که میانگین غلظت سرب و کادمیوم به ترتیب عددی زیر حد و بالای حد استاندارد را نشان می‌دهد.^۱ نتایج آماری داده‌ها حاکی از آن است که غلظت فلزات سنگین خاک در منطقه مورد مطالعه از توزیع نرمال برخوردارند. نتایج تجزیه و تحلیل نمونه استاندارد مرجع حاکی از آن است که میانگین درصد بازیافت نمونه‌ها بین ۹۵ تا ۹۸ درصد بوده که با دستورالعمل ارائه شده سازمان حفاظت محیط زیست مطابقت دارد.^{۲۴}

اندازه‌گیری شد^{۲۰}. در ادامه پس از توصیف آماری داده‌ها در محیط نرم افزاری SPSS، عامل آلودگی فلزات آلاینده با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد^{۲۱}:

$$CF_{\text{metal}} = C_{\text{metal}} / C_{\text{background}} \quad (1)$$

که در این معادله CF_{metal} عامل آلودگی فلز، C_{metal} و $C_{\text{background}}$ به ترتیب غلظت فلز سنگین در خاک سطحی و غلظت زمینه‌ای می‌باشند. در این پژوهش، کم‌ترین غلظت اندازه‌گیری شده برای هر عنصر فلزی به عنوان غلظت زمینه آن عنصر در خاک، مد نظر قرار گرفت^{۲۲}. قابل ذکر است که برای ارزیابی شدت آلاینده‌های فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه از طبقه‌بندی ارائه شده توسط Hakanson^{۲۳} استفاده شده است (جدول ۱).

با توجه به اینکه معمولاً در مناطق آلوده به فلزات سنگین آلودگی بیش از یک عنصر دیده می‌شود، معمولاً برای تعیین شاخص بار مجموعه‌ای از فلزات از فاکتور (Pollution Load Index) PLI که نشان‌دهنده وضعیت کلی آلودگی منطقه است استفاده می‌شود. مقادیر این شاخص، خلاصه‌ای از شدت آلاینده‌های خاک به فلزات سنگین را بیان کرده و کیفیت محیطی خاک را نشان می‌دهند^{۲۲}. اگر غلظت PLI به عدد یک نزدیک باشد نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است، در حالیکه PLI بالاتر از یک آلودگی خاک را نشان می‌دهد^{۲۱}. آلودگی کلی فلزی در منطقه با استفاده از این شاخص و از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n} \quad (2)$$

به دلیل افزایش صحت تخمین‌های زمین آماری برای تهیه نقشه‌های وضعیت پراکنش فلزات سنگین، شاخص بار آلودگی

جدول ۱: کلاس‌های شدت آلودگی خاک بر اساس عامل آلودگی

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

جدول ۲: خلاصه آماری ویژگی های خاکی مورد مطالعه

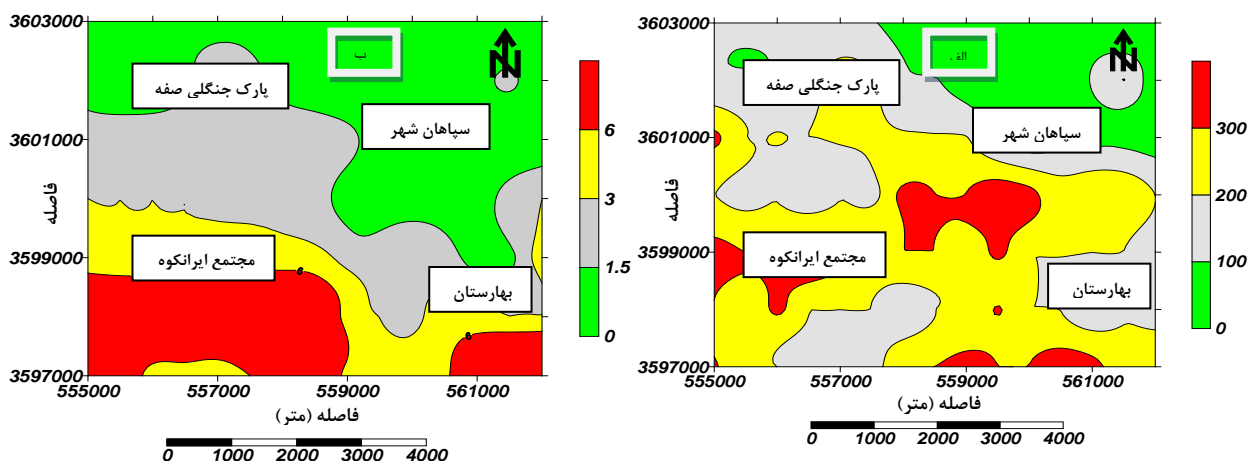
نام پارامتر	میانگین	حداقل	حداکثر	محدوده تغییرات	چولگی	کشیدهی	حد استاندارد فلز در خاک ^{۳۰} (mg kg ⁻¹)
سرب	۱۸۶/۸	۸/۰	۳۷۵/۴	۳۶۷/۴	۰/۳۸	-۰/۴۲	۳۰۰
کادمیوم	۳/۴۶	۰/۱	۱۶/۰	۱۵/۹	۰/۶۶	-۰/۵۵	۵

نتایج بدست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که غلظت سرب در این منطقه هنوز عددی زیر حد استاندارد را نشان می دهد.

بیشترین غلظت کادمیوم در منطقه مطالعاتی در زمینهای جنوبی مجتمع ایرانکوه مشاهده می شود، این در حالی است که کمترین غلظت کادمیوم مربوط به شهرک سپاهان شهر بوده است. قابل ذکر است که به غیر از زمینهای اطراف مجتمع ایرانکوه، مقدار کادمیوم در منطقه پارک جنگلی صفه، شهرک بهارستان و سپاهان شهر عددی زیر حد استاندارد را نشان می دهد^۱، هر چند که غلظت کادمیوم در خاک شهر بهارستان و پارک جنگلی صفه عددی بالاتر از مقدار غلظت مشاهده شده در شهرک سپاهان شهر را نشان می دهد (شکل ۱-ب).

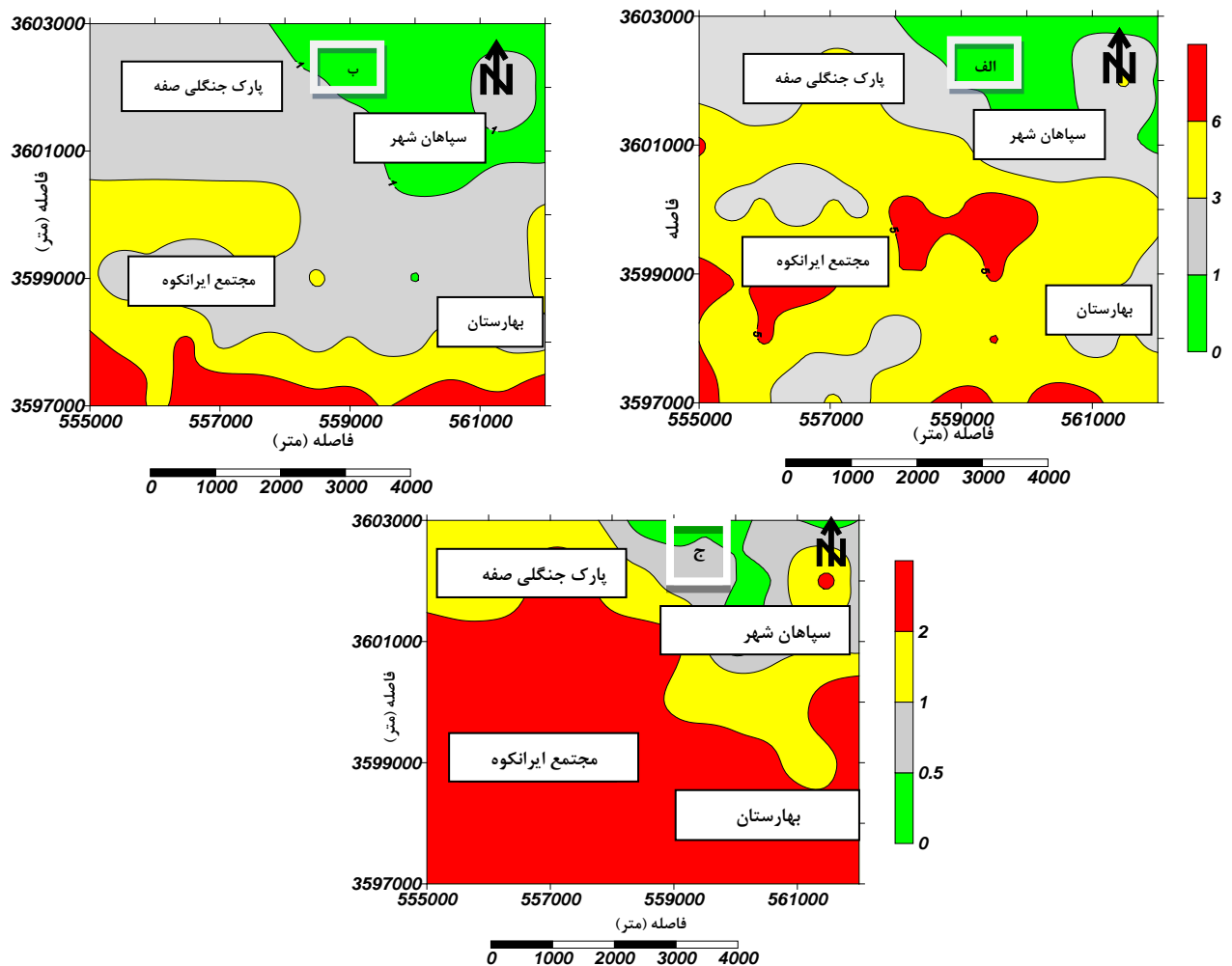
همچنین جهت ترسیم نقشه ها اعتبار سنجی لازم برای داده های آنالیز شده صورت پذیرفته و نتایج حاکی از دقت بالای نتایج این تحقیق بوده است.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است کمترین غلظت سرب در مرکز و بخش های شمالی شهرک سپاهان شهر اصفهان و بیشترین غلظت سرب در منطقه مجتمع ایرانکوه مشاهده می شود (شکل ۱-الف). غلظتهای سرب موجود در شهر بهارستان نیز محدوده ای بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی گرم سرب در کیلوگرم خاک را نشان می دهد که این عدد زیر حد استاندارد می باشد^۱. در منطقه پارک جنگلی صفه، هر چند که غلظت سرب در برخی نقاط عددی بالاتر از غلظت سرب مشاهده شده در شهر بهارستان را نشان می دهد ولی



شکل ۱: وضعیت پراکنش سرب (الف) و کادمیوم (ب) در خاک منطقه مطالعاتی

تجزیه و تحلیل زمین آماری پراکنش سرب و کادمیوم خاک با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی در منطقه جنوب غرب اصفهان در سال ۱۳۹۶



شکل ۲: وضعیت پراکنش عامل آلودگی سرب (الف)، کادمیوم (ب) خاک و شاخص بار آلودگی (ج) آنها در منطقه مطالعاتی

کادمیوم شدت آلودگی متوسطی را نشان می‌دهد. در مورد شاخص بار آلودگی مجموعه‌ای از فلزات (PLI) نیز نتایج مشابهی یافت شد، به نحوی که بیشترین شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در بخش‌های جنوبی منطقه مطالعاتی یافت می‌شود (شکل ۲-ج)، این در حالی است که کمترین مقدار این شاخص در بخش شمال شرقی این نقشه در منطقه سیاهان شهر اصفهان یافت می‌شود.

بر اساس نتایج بدست آمده از شکل ۲-الف بالاترین عامل آلودگی سرب در منطقه مجتمع ایرانکوه که معدن برداشت سرب و روی می‌باشد و کمترین میزان عامل آلودگی سرب متعلق به منطقه سیاهان شهر اصفهان می‌باشد. در مورد آلودگی کادمیوم (شکل ۲-ب) بیشترین میزان عامل آلودگی کادمیوم متعلق به منطقه مجتمع ایرانکوه بوده و کمترین میزان عامل آلودگی در شهر سیاهان شهر اصفهان مشاهده می‌شود. در منطقه پارک جنگلی صفه و شهر بهارستان میزان عامل آلودگی

بحث

سایر منابع آلوده کننده زیست محیطی ناپیستی نادیده گرفته شود. بنابراین ضروری است که در بازده‌های زمانی مختلف غلظت فلزات سنگین در مناطق مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان نسبت به مدیریت پاکسازی آلاینده‌ها تصمیمات درستی را اتخاذ کرد. در زمین‌ها اطراف پارک جنگلی صفا و شهر بهارستان هر چند غلظت سرب عدد بالاتری را نسبت به شهرک سپاهان‌شهر نشان می‌دهد ولی هنوز هم غلظت سرب در این مناطق عددی زیر حد استاندارد را نشان می‌دهد.^۱ بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق (شکل-الف)، غلظت سرب در بخش‌های جنوبی پارک جنگلی صفا در محدوده ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک وجود دارد که دلیل احتمالی آن را می‌توان وجود بزرگراه اصلی بخش جنوبی اصفهان در کنار این پارک جنگلی دانست. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شده است با وجود حذف سرب از بنزین، ولی هنوز هم فرسودگی ماشین‌ها و تردد خودروهایی سنگین در این بزرگراه که یکی از اصلی‌ترین خروجی‌های شهر می‌باشد می‌توان یکی از منابع ورود آلاینده‌ها از جمله سرب به منطقه باشد. Wei و همکاران در تحقیقی فرسودگی ماشین‌ها و انتشارات آگروز ماشین‌ها را یکی از عوامل مهم در افزایش غلظت سرب در خاکهای منطقه دانستند^{۲۸}. Dehghani و همکاران نیز در تحقیقی با هدف بررسی خطر فلزات سنگین موجود در گرد و غبار خیابانی شهر تهران به این نتیجه رسیدند که با وجود حذف سرب از بنزین هنوز سالهایی زیادی نیاز است تا غلظت سرب در گرد و غبار کاهش یابد و هنوز هم عواملی از قبیل فرسودگی ماشین‌ها را عامل موثری در بالا بردن سرب در گرد و غبار شهری دانستند^{۲۹}. Taghipour و همکاران نیز بررسی تغییرات مکانی سرب و روی در خاک‌های سطحی بخشی از استان همدان، عامل مؤثر بر روند افزایشی این عناصر را نوع کاربری (شهری) دانستند که دود ناشی از اتومبیل‌ها، سایش لاستیک اتومبیل‌ها و ترافیک شهری از عوامل اصلی افزایش این آلاینده‌های فلزی هستند.^{۳۰}

بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق ۱۳ درصد از زمین‌های مورد مطالعه آلودگی مقدار بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم را نشان داده که عددی بالای حد استاندارد را نشان می‌دهد^۱ که بخش از این میزان آلودگی متعلق به خاکهای واقع شده در زمین‌های مجتمع ایرانکوه می‌باشد که معدن عظیم سرب و روی در آنجا قرار دارد. Esmaeilpourfard و همکاران نیز در تحقیقی به آلودگی سرب و روی در زمین‌های اطراف معدن سرب و روی واقع در مجتمع ایرانکوه اشاره داشتند و چنین گزارش کردند که عناصر سرب و کادمیوم توسط روان آب به خاکهای مجاور منطقه انتقال می‌دهد. همچنین این محققین گزارش کردند که انفجارها در معدن هم باعث ورود عنصرهای آلاینده به هوا و باد موجب انتقال آن‌ها به محیط اطراف می‌گردد^{۲۶}. با توجه به نتایج بدست آمده اراضی اطراف معدن دارای آلودگی بیشتر و با افزایش فاصله از معدن میزان آلودگی کاهش می‌یابد. لذا لازم است تا توسعه فیزیکی شهر به سوی معادن مربوط و کلیه فعالیت‌های کشاورزی، اکتشاف و استخراج معادن با رعایت استانداردهای مربوطه انجام گرفته تا از افزایش آلودگی بیشتر جلوگیری گردد.

نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که غلظت سرب در زمین‌های اطراف شهرک سپاهان‌شهر عددی زیر ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که این عددی زیر حد استاندارد را نشان می‌دهد. نتایج بیان شده توسط Esmaeilpourfard و همکاران نیز تأکیدی بر این ادعاست^{۲۶}، هر چند که Dayani و همکاران در سال ۲۰۱۰ با تجزیه و تحلیل زمین‌آماری غلظت سرب، روی و کادمیم در خاکهای حومه سپاهان‌شهر به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب در این مناطق بالاتر از حد استاندارد می‌باشد^{۲۷}. قابل ذکر است که با حذف سرب از بنزین خودروه‌ها و اعمال مقررات زیست محیطی کاهش غلظت سرب در این مناطق دور از انتظار نیست، هر چند که

آلودگی منطقه را ارائه دهد. Barzin و همکاران در تحقیقی با هدف بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاکهای سطحی استان همدان با استفاده از شاخصهای آلودگی پرداخته و چنین گزارش کردند که استفاده از شاخص عامل آلودگی فلزات (CF) می‌تواند بیانگر خوبی از وضعیت آلودگی فلزات سنگین منطقه باشد و چنین گزارش کردند که غلظت سرب در منطقه تحت کنترل عوامل طبیعی مثل مواد مادری است^{۱۱}. Safari و همکاران نیز در تحقیقی به تجزیه و تحلیل زمین آماری پراکنش فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی در منطقه شهرک صنعتی روی زنجان پرداخته و فعالیت‌های صنعتی را عامل مهمی در جهت افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک دانستند^{۱۲}.

بر اساس نتایج بدست آمده در شکل ۲-ب، بیشترین غلظت فلز کادمیوم در بخش‌های مرکزی و جنوبی مجتمع ایرانکوه مشاهده شده است که عددی بالاتر از حد استاندارد را نشان می‌دهد^۱، این در حالی است که نتایج نسبتاً مشابهی در مورد وضعیت پراکنش عامل آلاینده کادمیوم در شکل ۲-ب مشاهده می‌شود. بدین صورت که بر اساس نتایج جدول ۱ شاخص آلودگی در بخش‌های مرکزی و جنوبی مجتمع ایرانکوه شدت آلودگی را در طبقه بندی متوسط تا زیاد نشان می‌دهد. همچنین نتایج ارائه شده در شکل ۲-ب در مورد شدت آلاینده کادمیوم بر اساس CF مقداری بین ۱ تا ۳ را برای پارک جنگلی صفا و شهر بهارستان نشان می‌دهد که این مقدار بر اساس نتایج جدول ۱ شدت آلاینده کادمیوم در این مناطق را در زیر حد استاندارد نشان می‌دهد تا حدودی همخوانی دارد. همچنین در زمین‌های بخش مرکزی و شمالی شهرک سپاهان شهر نیز عامل آلاینده کادمیوم بین ۰ تا ۱ را نشان می‌دهد که نشانگر شدت آلودگی کم می‌باشد، این در حالی است که غلظت کادمیوم بر اساس نتایج شکل ۱-ب در این پژوهش عددی زیر حد استاندارد را نشان داده است^۱.

در مورد کادمیوم نیز ۲۲ درصد خاکهای منطقه مطالعاتی غلظت بالای حد استاندارد کادمیوم^{۱۳} (۳ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک) را نشان می‌دهد که متعلق به بخش‌های مرکزی و جنوبی مجتمع ایرانکوه و زمین‌های جنوبی شهرک بهارستان می‌باشد. معدن سرب و روی ایرانکوه سومین معدن بزرگ سرب و روی در ایران محسوب می‌شود. استخراج این دو فلز باعث شده که مقدار این فلزات و فلزات دیگر از قبیل کادمیوم که در طی استخراج آزاد می‌شوند در خاک‌های این مناطق بالا رود^{۱۴}. شایان ذکر است که با توجه به پیشروی شهر به سمت غرب و جنوب غربی منطقه و افزایش فعالیت‌های معدنی وجود خطر سمیت کادمیم در آینده نزدیک بیشتر به چشم می‌خورد. از سویی دیگر، زمین‌های شهرک سپاهان شهر و پارک جنگلی صفا غلظت کادمیوم عددی زیر ۱/۵ میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک را نشان می‌دهد که این عدد هنوز عددی زیر استاندارد را نشان می‌دهد^۱. Dayani و همکاران نیز در سال ۲۰۱۰ گزارش کردند که غلظت کادمیوم در محدوده‌ای برابر ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک بوده که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد^{۱۵}.

در مورد نتایج شاخص عامل آلودگی سرب (شکل ۲) نیز روند مشابهی نسبت به نقشه پراکنش وضعیت سرب و کادمیوم که در شکل ۱ ارائه شده است مشاهده می‌شود، به نحوی که نتایج ارائه شده در شکل ۲ حاکی از آن است که بیشترین شاخص عامل آلودگی در زمین‌های اطراف مجتمع ایرانکوه که در آن معدن سرب و روی وجود دارد مشاهده می‌شود که بر اساس جدول ۱ در کلاس خیلی آلوده قرار می‌گیرد، این در حالی است که غلظت سرب در این منطقه نیز بر اساس نتایج شکل ۱-الف عددی بالای ۳۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک را نشان می‌دهد که این عدد از حد استاندارد توصیه شده بالاتر می‌باشد^۱ و این حاکی از آن است که شاخص عامل آلودگی می‌تواند تفسیر مناسبی از وضعیت

مجتمع ایرانکوه با توجه به اینکه غلظت فلزات سرب و کادمیوم عددی بالای حد استاندارد را نشان داده است، ورود فاکتور PLI به محدوده خطر (>1) دور انتظار نیست و چنین می توان نتیجه گرفت که فاکتور PLI می تواند برآورد خوبی از وضعیت کلی فلزات سنگین در خاک داشته باشد.

در مورد شهرک بهارستان نیز با توجه به اینکه فاکتور CF برای عناصر سرب و کادمیوم به صورت جداگانه عددی بالای یک را نشان داده است ورود فاکتور PLI به محدوده خطر جدا از انتظار نیست. قابل ذکر است که هر چند این فاکتورها می توان تا حدودی برآوردی از وضعیت آلودگی منطقه داشته باشد، ولی غلظت آلاینده ها بسته به بازه زمانی مدام در حال تغییر بوده و بایستی به صورت دائم مورد بررسی قرار گیرد. در مورد پارک جنگلی صغه نیز فاکتور PLI شرایط مشابهی نسبت به شهر بهارستان را نشان می دهد. Afshari و همکاران نیز در تحقیقی استفاده از شاخص های آلودگی فلزات سنگین را عامل مناسبی در جهت ارزیابی پتانسیل خطرپذیری فلزات سنگین در خاکهای مرکزی استان زنجان دانستند^{۱۵}. Taheri و همکاران نیز استفاده از شاخص های آلودگی را عامل مهمی در جهت تخمین وضعیت فلزات سنگین در خاکهای استان زنجان دانستند^{۳۴}.

با وجود حذف سرب از بنزین، هنوز آلودگی خاک ها به فلزات سنگین مشاهده می شود که بایستی راهکارهای اصلاحی از جمله کاهش گیاهان مقاوم به شرایط آلودگی که بتواند به نوعی پاکسازی هوا را در پی داشته باشد. با توجه به بالا بودن غلظت فلزات سنگین در اطراف معادن توصیه می شود که سلامت کارکنان این معادن و ساکنین اطراف آنها توسط مراکز بهداشتی منطقه دائماً مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه باطله های معدن باما در معرض مسیر باد قرار می گیرد توصیه می شود که از دپوی ای ضایعات این معدن در نزدیکی روستاهای منطقه خودداری بعمل آید.

Ravankhah و همکاران نیز در تحقیقی به ارزیابی شاخص عامل آلودگی فلزات سنگین از قبیل کادمیوم در برآورد آلودگی خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار پرداختند. نقشه الگوی مکانی شاخص عامل آلودگی منطقه حاکی از آن بود که بیشترین انباشت فلز کادمیوم محدوده شهرک های صنعتی، کوره های آجرپزی و مناطق شهری شهرستان آران و بیدگل اتفاق افتاده است. همچنین این محققین استفاده از فاکتور CF را عامل موثری در جهت تفسیر نتایج مربوط به وضعیت پراکنش آلاینده ها در منطقه دانستند و چنین نتیجه گرفتند که ارائه شاخص های آلودگی به صورت نقشه باعث می شود تا با قاطعیت بیشتر در مورد آلودگی و منابع آن در منطقه صحبت کرد و نقشه شاخص های آلودگی می تواند مبنای کاربردی برای سایر پژوهش های خاک قرار گیرد^{۳۲}. Azimzadeh و همکاران در بررسی آلودگی خاکهای استان مازندران با استفاده از شاخص های زیست محیطی نشان دادند که غالب نمونه های مورد تجزیه از نظر فلزات سنگین نظیر سرب و کادمیوم دارای کلاس آلودگی متوسط هستند^{۳۳}. نقشه پراکنش شاخص PLI (شکل ۲-ج) حاکی از آن است که در منطقه سپاهان شهر هنوز شاخص بار آلودگی عددی بین ۰ تا ۱ را نشان می دهد و این حاکی از آن است که کیفیت خاک مناسب بوده و هنوز در معرض خطر آلودگی قرار نگرفته است. به عبارت دیگر این فاکتور نشان می دهد که اثر تجمعی دو فلز سرب و کادمیوم هنوز کیفیت خاک این منطقه را در معرض خطر قرار نداده است. این نتیجه با نتایج شکل ۲-الف و ب همخوانی دارد. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه عامل آلودگی در دو شکل مذکور هنوز عددی زیر یک را نشان می دهد، اثر تجمعی این دو فاکتور که در اینجا تحت عنوان فاکتور PLI بیان شده است نیز عددی زیر یک را نشان داده است. البته در بخش شمال شرقی سپاهان شهر فاکتور PLI در برخی مناطق عددی بالای یک را نشان داده که بایستی از دید زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد. در منطقه

همچنین بایستی خطر سایر فلزات سنگین از قبیل مس، روی و نیکل از طریق تهیه نقش پراکنش آنها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین لازم است تاثیر دمای محیطی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل بافت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و ... بر تغییر غلظت فلزات سنگین در خاک نیز در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌داند از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، به جهت در اختیار قرار دادن امکانات برای انجام این پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را بنماید.

References

1. Rashid Shomali A, Khodaverdiloo H. Contamination of soils and plants along urmia-salmas highway (iran) to some heavy metals. *Water Soil Sci* 2012;22(3):157-72.
2. Li X, Li Z, Lin C-J, et al. Health risks of heavy metal exposure through vegetable consumption near a large-scale Pb/Zn smelter in central China. *Ecotox Environ Safe* 2018;161:99-110.
3. Taylor MP, Mould SA, Kristensen LJ, Rouillon MJEr. Environmental arsenic, cadmium and lead dust emissions from metal mine operations: implications for environmental management, monitoring and human health. *Environ Res* 2014;135:296-303.
4. Amini M, Afyuni M, Khademi M. Modeling Cadmium and lead balances in agricultural lands of Isfahan region, central Iran. *J Water Soil Sci* 2007;10(4):77-90.
5. Wu W, Wu P, Yang F, et al. Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility. *Sci Total Environ* 2018;630:53-61.
6. Baghaie AH. Investigation of Cd risk assessment from tomato consumption in a soil treated with sugarcane bagasse biochar and municipal waste vermi-compost. *J Environ Health Eng* 2018;5(2) 147-56 [In Persian].
7. Pourmoghadas H, Zafarzadeh A. Effect of applying chemical fertilizers on concentration of cd, pb and zn in agricultural soils. *J Environ Health Eng* 2017;4(2):126-38 [In Persian].
8. Pirzadeh M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH. Status

نتیجه‌گیری

بیشترین غلظت سرب و کادمیوم در بخش‌های مرکزی و جنوبی مجتمع ایرانکوه مشاهده شد، این در حالی است که نتایج شاخص CF نیز این مطلب را تأیید می‌کند. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن است که کمترین مقدار شاخص PLI متعلق به زمین‌های اطراف شهرک سپاهان شهر می‌باشد. با توجه به فعالیت روز افزون برداشت از معادن و توسعه شهر نشینی و ایجاد شهرکهای جدید در منطقه جنوبی و جنوب غربی اصفهان، خطر توسعه آلودگی فلزات سنگین وجود دارد که بایستی مورد توجه مسئولین محیط زیست قرار گیرد. از سویی دیگر غلظت فلزات سنگین مدام در حال تغییر است که بایستی در بازده‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

- of zinc and cadmium in paddy soils and rice in Isfahan, Fars and Khuzestan provinces and their effect on food security. *J Water Soil Sci* 2012;16(60):81-93.
9. Mombo S, Foucault Y, Deola F, et al. Management of human health risk in the context of kitchen gardens polluted by lead and cadmium near a lead recycling company. *J Soil Sed* 2016;16(4):1214-24.
10. Naseri M, Vazirzadeh A, Kazemi R, Zaheri F. Concentration of some heavy metals in rice types available in Shiraz market and human health risk assessment. *J Food Chem* 2015; 175:243-248.
11. Pastorelli AA, Angeletti R, Binato G, et al. Exposure to cadmium through Italian rice (*Oryza sativa* L.): Consumption and implications for human health. *J Food Composition Anal* 2018;69:115-21.
12. Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan province using pollution index. *J Water Soil Sci* 2015;19(72):69-80.
13. Liu W-h, Zhao J-z, Ouyang Z-y, et al. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environ Int* 2005;31(6):805-12.
14. Tuzen M, Saygi KO, Soylak M. Solid phase extraction of heavy metal ions in environmental samples on multiwalled carbon nanotubes. *J Hazard Mater* 2008;152(2):632-9.
15. Afshari A, Khademi H, Hojjati S. Assessment of heavy metals pollution risk in soils of central Zanjan province based on pollution indices. *J Water Soil Conserv* 2016;22(6):21-40.

16. Bhuiyan MA, Parvez L, Islam M, et al. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *J Hazard Mater* 2010;173(1-3):384-92.
17. 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.
18. Dai L, Wang L, Li L, et al. Multivariate geostatistical analysis and source identification of heavy metals in the sediment of Poyang Lake in China. *Sci Total Environ* 2018;621:1433-44.
19. Reza S, Baruah U, Singh S, Das TJEes. Geostatistical and multivariate analysis of soil heavy metal contamination near coal mining area, Northeastern India. *Environ Earth Sci* 2015;73(9):5425-33.
20. Westerman RL. Soil testing and plant analysis. PP. 275-293 (Ed.), 3rd Edition, SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 1990.
21. Safari Y. Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan zinc Industrial town area. *J Soil Manage Sustain Product* 2016;6(2):119-33.
22. Dankoub Z, Ayoubi S, Khademi H, Sheng-Gao L. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, Central Iran. *Pedosphere* 2012;22(1):33-47.
23. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res* 1980;14(8):975-1001.
24. Noorpoor AR, Sadri Jahanshahi A. Evaluation of Health Risk Assessment by heavy metals in the ambient air of Tehran. *J Environ Stud* 2014;39(4):181-92.
25. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth ed. Boca Raton, London, New York Washington, DC. Third ed., editor. Boca Raton, London, New York Washington, DC.: CRC Press; 2011.
26. Esmailpourfard N, Givi J, Davodian A. Contamination of Soil, Water, Plant and Dust by Zinc, Lead and Cadmium in Southwest Isfahan. *J Water Soil* 2016;29:441-452.
27. DayanI M, Mohammadi J, Naderi M. Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). *J Water Soil* 2010;23:67-76.
28. Wei B, Yang LJM. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem J* 2010;94(2):99-107.
29. Dehghani S, Moore F, Keshavarzi B, et al. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotox Environ Safe* 2017;136:92-103.
30. Taghipour M, Khademi H, Ayoubi S. Spatial variability of Pb and Zn concentration and its relationship with land use and parent materials in selected surface soils of Hamadan province. *J Water Soil* 2010;24:144-32.
31. Ghaderian M, Nosouhi S. The capability of uptake and removal of toxic heavy metals from the industrial discharge of Mobarakeh Steel Complex by some metal accumulating plants. *J Plant Proc Func* 2015; 4:43-49.
32. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. *Iran J Health Environ* 2015;8(3):345-56.
33. Azimzadeh B, Khademi H. estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran province. *J Water Soil* 2013;27:559-48.
34. Taheri M, Esmaili Aftabdari M, Khoshzaman T, et al. Total and available heavy metal concentrations and assessment of soil pollution indices in selected soils of Zanjan. *J Water Soil* 2015;9:1297-308.

Geostatistical Analysis of Soil Pb and Cd Distribution Using Environmental Indexes in the Southwest of Isfahan in 2017

Amir Hossein Baghaie^{1*}, Amir Daliri¹

1. Department of Soil-Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

* E-mail: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

Received: 17 Aug 2018 ; Accepted: 16 Nov 2018

ABSTRACT

Background and objective: Soil contamination and accumulation of heavy metals in soil and agricultural products is one of the most important environmental that threatens the life of plants, animals and humans. This research was conducted to investigate the geo-statistical analysis of Pb and Cd distributed in the southwest of Isfahan using environmental indexes in 2017.

Methods: This study is a descriptive cross-sectional study with 150 samples in the southwest region of Isfahan province. The sampling was initially randomly performed on a regular network at a distance of 3 km to a depth of 0-10 cm. The sampling distance was reduced to about 50 meters by approaching the lead and zinc mine or residential area. The concentration of lead and cadmium was measured by digestion of samples with a mixture of nitric acid and chloride acid with the help of atomic absorption spectroscopy. The distribution of heavy metals was studied using geostatistical analysis.

Results: The highest and lowest concentrations of lead and cadmium were observed around the Irankouh complex and Sepahan Shahr of Isfahan with a value of above 300 and below 200 mg / kg, respectively. The concentration of cadmium and lead in the Baharestan town and Sofeh forest park is below the standard level. The highest and lowest factor contamination of lead and cadmium contamination (CF) was observed around the Irankouh complex and Sepahan Shahr of Isfahan with the amount above 6 and below 3, respectively.

Conclusion: Heavy metal distribution mapping using environmental indexes can indicate the status of pollution distribution in the region.

Keywords: Heavy metals, Pollution indexes, Mapping, Geostatistic