

تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران

بهروز عظیم‌زاده^{۱*} - حسین خادمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۲۴

چکیده

یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌ها عدم وجود استانداردهای منطقه‌ای است. این مطالعه با هدف برآورد غلظت زمینه به منظور ارزیابی زیست محیطی و شناسایی مناطق آلوده برخی فلزات سنگین در قسمتی از اراضی مرکزی استان مازندران با وسعتی برابر با ۵۵۰۰ کیلومتر مربع که از دیدگاه فعالیت‌های کشاورزی و تراکم جمعیتی با اهمیت به شمار می‌رود، اجرا گردید. بدین منظور ۲۵۶ نمونه مرکب از عمق ۱۰-۰ سانتیمتر خاک سطحی بر اساس روش نظام‌مند آشیانه‌ای برداشته شد. از این تعداد نمونه، ۱۴۸ نمونه در اراضی کشاورزی، ۶۰ نمونه در مناطق شهری و ۴۸ نمونه در عرصه‌های طبیعی واقع شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و هضم با اسید نیتریک ۵ نرمال مقدار کل مس، روی، نیکل، سرب و کادمیم توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. با استفاده از نمونه خاک‌های عرصه‌های طبیعی غلظت زمینه طبیعی مس، روی، نیکل، سرب و کادمیم به ترتیب برابر با ۲۸/۳، ۴۰/۲، ۴۵/۷، ۳۴/۲ و ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. با استفاده از این میزان نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی فلزات سنگین رسم گردیدند. با هماهنگ کردن نقشه‌های فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی با نقشه‌های زمین‌شناختی و موقعیت شهرها مشخص گردید که غلظت فلزات سرب، روی و مس تحت تاثیر فعالیت‌های شهری و کادمیم و نیکل بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی هستند. همچنین با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین بودند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، غلظت زمینه، فاکتور آلودگی، استان مازندران

مقدمه

اثرات سوء وارد بر محیط زیست خاکی است، همواره لازم و ضروری می‌باشد. بدین منظور بر اساس خصوصیات اکولوژیکی موجودات زنده، سم‌شناسی و ژئوشیمیایی آلاینده‌ها و سیاست‌های بهداشتی کشورها، دامنه و حدود اطمینان‌های متفاوتی در نقاط مختلف جهان تعریف شده است (۳۰). غلظت زمینه به منظور ایجاد استانداردهای کیفیت زیست محیطی خاک، شناسایی اثرات سوء ناشی از کاربرد مواد زائد در اراضی کشاورزی و استفاده بلند مدت کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در کیفیت زیست محیطی خاک و همچنین به عنوان راهنمایی برای میزان مصرف عناصر ریزمغذی، بسیار مهم و سرنوشت‌ساز شناخته شده است (۲۸ و ۳۲).

در بیشتر مطالعات، به طور خاص دو نوع غلظت زمینه شامل غلظت زمینه طبیعی^۳ (NBC) و غلظت زمینه انسانی^۴ (ABC) مطرح است (۱۰). غلظت زمینه طبیعی به عنوان غلظت محیطی گونه‌های

آلودگی خاک به عناصر سنگین به عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی فراروی بشر، در چند دهه گذشته مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. فرآیندهای هوازگی مواد مادری و خاکسازي و فعالیت‌های انسان بر روی کره زمین، شامل کاربرد کودهای شیمیایی، لجن فاضلاب، سوخت‌های فسیلی و از طرفی فرونشست‌های اتمسفری، باعث شده تا غلظت فلزات سنگین در خاک به طور روز افزون افزایش یابد و در نهایت کارکرد خاک در مواردی دچار اختلال شود (۶). ایجاد و تصویب قوانین مربوط به استاندارد کیفیت زیست محیطی خاک که یک بخش مهم از استانداردهای زیست محیطی به منظور حفظ تعادل اکوسیستم، سلامت انسان و همچنین شناسایی

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(Email: b.azimzadeh@gmail.com) * - نویسنده مسئول:

3- Natural background concentration

4- Anthropogenic background concentration

(۱۴، ۲۸ و ۲۹).

به دلیل تغییرات مکانی و زمانی عوامل کنترل کننده غلظت فلزات سنگین در طبیعت، شناخت گسترش و توزیع فلزات سنگین با پیچیدگی‌های زیادی روبرو است (۹ و ۲۱). به دلیل اثرات مخرب فلزات سنگین بر روی انسان و محیط زیست، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین از اهمیت خاصی برخوردار است. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص زمین‌انباشتی^۴، فاکتور غنی‌شدگی نرمال^۵، درجه آلودگی^۶، فاکتور آلودگی^۷ و شاخص بار آلودگی^۸ صورت می‌گیرد (۲۱). یونگ‌منیگ و همکاران (۳۱) در بررسی آلودگی گرد و غبار شهری با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی نرمال و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای منشاء نقره و منیزیم را مسکونی و تجاری، منشاء کروم، مس، سرب، روی و آنتیموان را منابع صنعتی و ترافیک و منشاء آرسنیک و منگنز را فرآیندهای خاک‌سازی بیان کردند. دلپجانی و همکاران (۳) غنی‌شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه) را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از دو معیار فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتی به بررسی آلودگی خاک در منطقه پرداختند. نتایج بدست آمده نشان دادند که فلزات کادمیم، سرب و کبالت بیشترین و مس، آهن و کرم کمترین میزان غنی‌شدگی را در میان نمونه خاک‌های مورد بررسی داشتند.

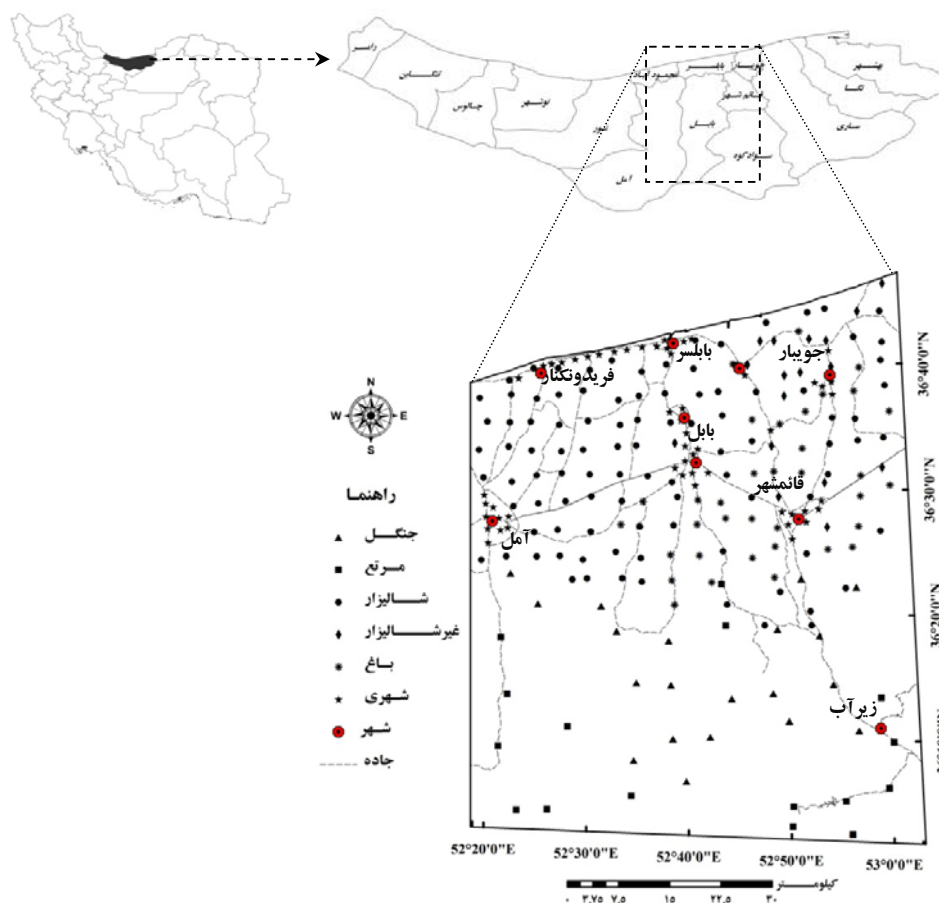
جهت ارزیابی اثرات زیست محیطی عناصر سنگین در خاک‌های یک منطقه، بایستی میزان غلظت عناصر در آن با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین حالت مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است چرا که شرایط زمین شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را ایجاد می‌کند. در کشور ما به دلیل عدم وجود استاندارد خاصی برای درجه آلودگی خاک، بهتر است از معیارهای دیگری برای بررسی آلودگی خاک به عناصر سنگین استفاده شود. معیارهایی متعددی برای بررسی درجه آلودگی خاک ارائه شده است که می‌توان بر اساس آن‌ها به وجود یا عدم وجود آلودگی خاک پی‌برد. اهداف این مطالعه عبارتند از: (۱) تعیین غلظت زمینه فلزات سنگین (۲) ارزیابی میزان خطر آلاینده‌ها و پراکنش جغرافیایی آن‌ها در خاک‌های سطحی بخشی از اراضی استان مازندران با استفاده از فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی.

شیمیایی در خاک‌ها بدون دخالت انسان تعریف می‌شود که نشان دهنده یک شرایط ایده‌آل و طبیعی است. به دلیل جابه‌جایی وسیع فلزات سنگین در اثر عوامل مختلف نظیر فرونشست‌های اتمسفری و هم‌چنین ماندگاری بالای فلزات سنگین در خاک‌ها، پیدا کردن خاک‌های طبیعی کاملاً دست‌نخورده در بیشتر مواقع کار دشواری است (۱۴). غلظت زمینه انسانی نیز به مواردی اطلاق می‌شود که مواد دست‌ساخت بشر و طبیعی به دلیل فعالیت‌های انسانی وارد محیط زیست گردند. البته باید توجه داشت که منابع نقطه‌ای آلودگی شامل آن نمی‌گردد (۱۰). غلظت‌های زمینه عناصر در خاک تابع ترکیب کانی‌شناسی مواد مادری و فرآیندهای هوازدگی مؤثر بر تشکیل خاک و همچنین خصوصیات ماند اندازه ذرات، مقادیر رس و مواد آلی خاک است (۱۶ و ۲۹). در نتیجه، غلظت طبیعی عناصر در خاک‌ها به طور گسترده‌ای متغیر است و استفاده از سطوح زمینه کشورهای دیگر و متوسط جهانی برای شناسایی وسعت و خطرات آلاینده‌های فلزات سنگین در خاک‌های مناطقی که حدود زیست‌محیطی در آن تعریف نشده است، نادرست است. از اینرو، اگرچه غلظت‌های طبیعی زمینه فلزات سنگین خاک در بسیاری از کشورها از قبیل لهستان و بسیاری از کشورهای اروپایی دیگر، آمریکا و چین مورد بررسی قرار گرفته است و اساس درک تغییرات طبیعی عناصر و شناسایی آلودگی خاک قرار داده شده است، تخمین غلظت‌های زمینه محلی لازم و ضروری است (۲۸). پی و همکاران (۸) به منظور ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در اراضی شالیزاری واقع در تراس‌های فلات یونان در چین از غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در خاک جنگل‌های بالادست به عنوان غلظت زمینه طبیعی و مرجع برای ارزیابی آلودگی استفاده کردند.

روش‌های متعددی از قبیل میانگین حسابی، میانگین هندسی^۱ (GM)، میانه، ۹۵ درصد حد اطمینان بالایی (UCL_{0.95}) میانگین^۲ و غلظت خط مبنای بالایی^۳ برای محاسبه و بیان غلظت زمینه ارائه شده است. اکثر روش‌های ارائه شده در مطالعات زیست محیطی مانند محاسبه میانگین حسابی و UCL_{0.95} میانگین فرض می‌کنند که جمعیت غلظت‌های آلاینده دارای توزیع تقریباً نرمال است. با این حال، توزیع غلظت عناصر در اغلب خاک‌ها دارای کشیدگی مثبت است و از توزیع طبیعی لگاریتمی تبعیت می‌کند. در این حالت، میانگین هندسی تخمین‌گر تمایل مرکزی با درست‌نمایی بیشینه بهتری بوده و با کاهش تأثیر اعوجاج حاصل از داده‌های پرت بالایی که از فراوانی کمی برخوردارند، غلظت عناصر را در سطح طبیعی خاک‌ها نشان می‌دهد (۱۴). در بسیاری از مطالعات میانگین هندسی به عنوان سطح زمینه عناصر در خاک مورد پذیرش قرار گرفته است

4- Index of geoaccumulation
5- Normalized enrichment factor
6- Degree of contamination
7- Contamination factor
8- Pollution load index

1- Geometric mean
2- 95% Upper confidence limit of mean
3- Upper baseline concentration



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و الگوی نمونه برداری

میزان بارندگی سالیانه بین ۱۲۰۰-۳۰۰ میلی-متر و میانگین دمای سالیانه بین ۱۷-۸ درجه سانتیگراد است (۲).

نمونه برداری و تجزیه آزمایشگاهی

نمونه برداری به روش نظام دار آشیانه ای (۱) با ایجاد شبکه های نمونه برداری با فواصل ۲×۲ کیلومتر در مناطق شهری، ۴×۴ کیلومتر در اراضی کشاورزی و ۸×۸ کیلومتر در عرصه های طبیعی بالادست منطقه مورد مطالعه، صورت گرفت. جمعاً ۲۵۶ نمونه مرکب از عمق ۱۰-۰ سانتیمتر خاک سطحی مرکز هر شبکه با استفاده از یک بیلچه از جنس پلی اتیلن برداشته شد. از این تعداد نمونه، ۱۴۸ نمونه در اراضی کشاورزی (باغ، شالیزار و غیرشالیزاری)، ۶۰ نمونه در مناطق شهری (فضای سبز و پارک های عمومی) و ۴۸ نمونه در عرصه های

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه قسمتی از اراضی مرکزی استان مازندران می باشد که از دیدگاه فعالیت های کشاورزی، صنعتی، شهری و تراکم جمعیتی از مناطق مهم کشور محسوب می شود. این منطقه شامل پرجمعیت ترین شهرستان های استان مازندران به ترتیب بابل، آمل، قائمشهر، بابلسر، جویبار، سوادکوه و محمودآباد می باشد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین مدارهای ۰° ۳۶ تا ۰° ۴۷ عرض شمالی و ۱۹° ۵۲ تا ۰° ۵۳ طول شرقی قرار داشته و دارای وسعتی برابر با ۵۵۰۰ کیلومترمربع است (شکل ۱). این منطقه با تغییرات ارتفاعی وسیع بین ۳۰- تا ۳۰۰۰ متر، با شیب غالب جنوبی-شمالی از ارتفاعات البرز تا ساحل دریای مازندران امتداد دارد. براساس داده های ۵ ساله (۱۳۸۵-۱۳۸۰) ایستگاه های هواشناسی واقع در منطقه مورد پژوهش،

1- Nested-systematic sampling

سطحی ناحیه بالادستی (عرصه‌های طبیعی) و ناحیه پایین‌دستی (که شامل اراضی کشاورزی و مناطق شهری اند)، به ترتیب به عنوان غلظت زمینه طبیعی و انسانی در نظر گرفته شدند. همان طور که در معادله ۱ نشان داده شده است، میانگین هندسی (GM) میانگین لگاریتم طبیعی مجموعه‌ای از داده‌ها (x_1, x_2, \dots, x_n) است که در نهایت با تبدیل نمایی برگردانده می‌شود (۱۷).

$$GM = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i\right) \quad (۱)$$

محاسبه فاکتور آلودگی

جهت تعیین آلاینده‌ی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی (CF) استفاده گردید. بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. فاکتور آلودگی طبق رابطه زیر برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه شد (۱۸):

$$CF_{\text{metal}} = C_{\text{metal}} / C_{\text{background}} \quad (۲)$$

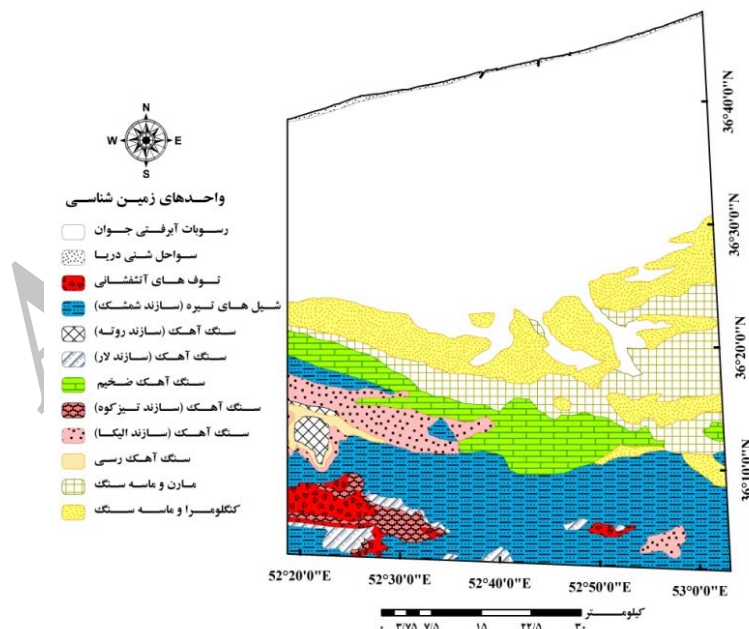
در این معادله CF_{metal} نسبت غلظت هر فلز (C_{metal}) به مقدار غلظت زمینه طبیعی آن فلز ($C_{\text{background}}$) می‌باشد. در این مطالعه از طبقه بندی هکنسن برای فاکتور آلودگی (جدول ۱)، جهت ارزیابی آلاینده‌ی فلزات سنگین استفاده شد (۱۸).

طبیعی و مرتفع بالادست (اراضی جنگلی و مراتع) واقع می‌شوند. الگوی نمونه‌برداری و موقعیت نمونه‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. همچنین با توجه به شکل ۲ از مواد مادری غالب در منطقه مطالعاتی شامل شیل، سنگ آهک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، دولومیت، مارن، آندزیت بازالتی و آذرین‌آواری نمونه‌هایی برای اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین در آنها برداشته شد. شایان ذکر است تمامی نمونه‌برداری‌ها در بهار ۱۳۹۰ صورت گرفته است.

نمونه‌های خاک هواخشک و سنگ آسیاب شده به منظور آماده‌سازی برای تجزیه آزمایشگاهی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. از هر نمونه به میزان ۰/۲ گرم توزین و بعد از هضم با اسید نیتریک ۵ نرمال (۲۷)، مقدار کل عناصر مس، نیکل و روی توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer: AA 3030، سرب توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer: AA 200 و همچنین مقدار کل عنصر کادمیم عصاره‌ها به دلیل آنکه خارج از حد تشخیص دو دستگاه قبلی بود با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل Rayleigh: WF-1E تعیین شد. همچنین در ۱۲۰ نمونه منتخب، برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی شامل pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، شن، سیلت و رس مورد اندازه‌گیری واقع شدند.

محاسبه غلظت‌های زمینه

در این مطالعه میانگین هندسی غلظت فلزات سنگین خاک



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ (برگرفته از مرجع شماره ۳)

مدل‌های تئوری نیم‌تغییرنمای مناسب برای هر یک از شاخص‌های محاسبه شده، از روش میان‌یابی کریجینگ در محیط نرم‌افزار 9.3 ArcGIS (۱۹) استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی نمونه خاکها

خلاصه‌ای از وضعیت آماری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. تغییرات زیاد میزان کربنات کلسیم معادل (۰/۵ تا ۴۱/۳ درصد) و pH نشان از تنوع بالای نمونه‌های خاک از لحاظ خصوصیات شیمیایی است. ماده آلی با میانگین ۴/۳ درصد و با دامنه تغییرات ۰/۴ تا ۱۹/۸ درصد ممکن است سهم مهمی در توزیع غلظت کل فلزات سنگین داشته باشد. بر اساس نتایج داده‌های آزمایشگاهی، بافت خاک غالب در منطقه رسی است. ظرفیت تبادل کاتیونی با میانگین ۲۱/۱ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و ضریب تغییرات ۵۹ درصد، عاملی مهم در فرآیندهای تحرک و عدم تحرک فلزات سنگین در خاک و گیاه است. این مسئله خود ناشی از تغییرات میزان ماده آلی و درصد رس در خاک با توجه به نوع کاربری، تشکیلات زمین‌شناختی و دیگر عوامل خاکسازی می‌باشد که در توزیع و پراکنش غلظت فلزات سنگین شناخته شده‌اند (۲۵).

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین

خلاصه‌ای از خصوصیات آماری غلظت فلزات سنگین تمامی نمونه‌های مورد تجزیه در این مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. میانگین غلظت مس، روی، نیکل، سرب و کادمیم به ترتیب برابر با ۳۲/۰، ۴۹/۸، ۴۶/۵، ۵۲/۹ و ۰/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به عنصر روی، سرب و کادمیم و کمترین آن مربوط به عنصر نیکل است.

جدول ۱- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی (۱۸)

شدت آلودگی	دامنه تغییرات CF
آلودگی کم	$CF < 1$
آلودگی متوسط	$1 \leq CF < 3$
آلودگی زیاد	$3 \leq CF < 6$
آلودگی بسیار زیاد	$6 \leq CF$

محاسبه شاخص بار آلودگی

به منظور ارزیابی وضعیت آلودگی خاک به فلزات سنگین، شاخص PLI برای ۵ فلز مورد مطالعه محاسبه شد. شاخص بار آلودگی تعداد دفعاتی که غلظت فلزات سنگین در خاک و رسوبات نسبت به غلظت زمینه افزایش یافته است را نشان می‌دهد و خلاصه‌ای از وضعیت سمیت فلزات مورد بررسی را نشان می‌دهد (۱۲). شاخص بار آلودگی تاملینسون (PLI) که به منظور بررسی وضعیت زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت ریشه n ام حاصلضرب غلظت‌های فلزات مختلف مورد بررسی تعریف می‌شود (۷):

$$PLI = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n CF_{metal}} \quad (3)$$

در این معادله CF_{metal} نشان دهنده فاکتور آلودگی هر فلز و n برابر با تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه یا عدد ۵ است. PLI یک شاخص انتگرالی مهم در بررسی میزان آلودگی در مناطق آلوده است که هر چه از عدد یک بالاتر باشد دفعات آلوده بودن نسبت به محل غیر آلوده را نشان می‌دهد.

نقشه پراکنش فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی

به منظور شناسایی هر چه بهتر مناطق آلوده و یا مناطق در معرض آلودگی به فلزات سنگین، اقدام به تهیه نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی شد. بدین منظور ابتدا با بسط

جدول ۲- خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها در منطقه مطالعاتی (n=۱۲۰)

متغیر	واحد	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	چولگی	کشی‌دگی	ضریب تغییرات (%)
pH	-	۷/۱	۰/۵	۷/۶	۴/۹	-۲/۲	۵/۴	۷
CEC	$\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$	۲۱/۱	۱۲/۵	۶۸/۳	۳/۵	۱/۰	۱/۲	۵۹
ماده آلی	%	۴/۳	۳/۴	۱۹/۸	۰/۴	۲/۱	۴/۷	۷۹
ECC	%	۱۳/۶	۸/۹	۴۱/۳	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۱	۶۵
شن	%	۲۵/۹	۲۰/۶	۹۴/۸	۱/۶	۱/۰	-۰/۲	۸۰
سیلت	%	۲۴/۴	۱۲/۱	۵۶/۳	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۵	۵۰
رس	%	۴۹/۷	۱۳/۵	۸۱/۵	۴/۹	-۰/۶	-۰/۵	۲۷

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی و ECC: کربنات کلسیم معادل

جدول ۳- خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت کل فلزات سنگین (mg kg^{-1}) مورد بررسی ($n=256$)

عنصر	میانگین حسابی	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدهی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	K-S p
مس	۳۲/۰	۱۴/۰	۶۷/۲	۰/۹۴	۱/۹۳	۸/۴	۲۶	۰/۰
روی	۴۹/۸	۲۱/۰	۱۱۵/۰	۱/۴۱	۲/۳۴	۱۶/۰	۳۲	۰/۰
نیکل	۴۶/۵	۲۳/۰	۷۷/۰	۰/۰۳	۰/۲۵	۷/۹	۱۷	۰/۴۹
سرب	۵۲/۹	۱۸/۲	۱۲۲/۰	۱/۱۳	۱/۶۳	۱۹/۱	۳۶	۰/۰
کادمیم	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۵۰	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱	۳۲	۰/۱۶

قبیل مواد مادری هستند.

نابرابری و اختلاف میان غلظت زمینه طبیعی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه و کشورهای ارائه شده در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است. تغییرات مکانی و زمانی عوامل کنترل‌کننده غلظت فلزات سنگین در طبیعت و همچنین نوع و میزان گسترش فعالیت‌های انسانی باعث ایجاد این اختلاف است (۹ و ۲۱). این موضوع دلیلی بر نادرستی استفاده از سطوح زمینه جهانی و دیگر مناطق برای شناسایی وسعت و خطرات آلایندهی فلزات سنگین در منطقه‌ای ویژه با خاک خاص است. به طور مثال غلظت زمینه طبیعی نیکل در منطقه مورد مطالعه فراتر از کشورهای ارائه شده و نیز فراتر از میانگین دامنه آن در مقیاس جهانی است؛ این مسئله دلالت بر منحصر به فرد بودن تشکیلات زمین‌شناختی این منطقه نسبت به متوسط جهانی است.

غلظت فلزات سنگین در مواد مادری

نتایج حاصل از تجزیه مواد مادری در جدول ۵ ارائه شده است. در میان مواد مادری غالب در منطقه، شیل و توف‌های آتشفشانی (آذرین آواری و آندزیت بازالتی) بیشترین میزان فلزات سنگین را دارا می‌باشند.

بطور کلی رس‌ها و شیل‌ها به دلیل توانایی جذب یون‌های فلزی، حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین از قبیل کادمیم، نیکل و روی هستند و ماسه‌سنگ‌ها عموماً حاوی مقادیر کمتری هستند. همچنین سنگ‌های بازالتی بیشترین میزان نیکل را در میان سنگ‌های آذرین دارند (۶).

کاهش ضریب و دامنه تغییرات نشان دهنده تغییرات همگن و یکنواخت عنصر در منطقه مورد مطالعه بوده و بیانگر محدود بودن عوامل دخیل در تغییرات آن است. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که غلظت مس، روی و سرب از تابع توزیع نرمال پیروی نمی‌کند اما دو عنصر نیکل و کادمیم متغیرهایی با توزیع نرمال ($K-S p > 0/05$) هستند. همچنین چولگی مثبت غلظت فلزات سنگین نشان دهنده وجود داده‌های پرت بالا بوده و از اینرو میانگین حسابی آنها شاخص مرکزی مناسبی نمی‌تواند باشد. در این حالت میانگین هندسی به دلیل تبدیل لگاریتمی متغیرها می‌تواند شاخص تمایل مرکزی مناسب‌تری برای غلظت زمینه باشد.

غلظت‌های زمینه

غلظت‌های زمینه طبیعی و انسانی فلزات سنگین مورد مطالعه به همراه غلظت زمینه طبیعی آنها در کشورهای مختلف و همچنین دامنه آنها در مقیاس جهانی به عنوان مقایسه در جدول ۴ آورده شده است. غلظت زمینه طبیعی مس، روی نیکل، سرب و کادمیم به ترتیب برابر با $28/3$ ، $40/2$ ، $45/7$ ، $34/2$ و $0/23$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و غلظت زمینه انسانی این فلزات به ترتیب برابر با $45/8$ ، $49/5$ ، $31/6$ ، $54/1$ و $0/23$ میلی‌گرم بر کیلوگرم تخمین زده شده است. اختلاف میان این دو غلظت زمینه نشان می‌دهد که با افزایش فعالیت و دخالت‌های انسانی میزان غلظت زمینه انسانی فلزات سنگین از میزان طبیعی آن فراتر می‌رود و این اختلاف با میزان فعالیت انسانی رابطه مستقیم و مثبتی دارد. در این حالت به ترتیب فلزات سرب، روی و مس بیشتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند و در مقابل غلظت دو عنصر کادمیم و نیکل بیشتر تحت تاثیر عوامل طبیعی از

جدول ۴- غلظت زمینه فلزات سنگین (mg kg^{-1}) در منطقه مورد مطالعه، برخی از کشورها و مقیاس جهانی

عنصر	غلظت زمینه طبیعی ($n=48$)	غلظت زمینه انسانی ($n=208$)	لیتوانی* (۱۱)	بلژیک (۱۱)	چین (۱۳)	مقیاس جهانی (۲۰)
مس	۲۸/۳	۳۱/۶	۱۱	۱۷	۲۲/۶	۱۳-۲۴
روی	۴۰/۲	۴۹/۵	۶۲	۳۶	۷۴/۲	۴۵-۱۰۰
نیکل	۴۵/۷	۴۵/۸	۹	۱۸	۲۶/۹	۱۲-۳۴
سرب	۳۴/۲	۵۴/۱	۴۰	۱۵	۲۶	۲۲-۴۴
کادمیم	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۸	۰/۲	۰/۰۹۷	۰/۳-۰/۷

*- خاک‌های لوم و رسی

جدول ۵- غلظت کل فلزات سنگین در مواد مادری و میانگین هموزن شده (mg kg^{-1}) آنها در منطقه مطالعاتی

فلز	شیل	سنگ آهک	کنگولومرا و ماسه سنگ	دولومیت	آندزیت بازالتی	آذرین آواری	میانگین هموزن شده*
مس	۱۸/۲	۵/۹	۸/۴	۱۰/۴	۵/۶	۳۸/۱	۱۷/۴
روی	۵۷/۴	۱/۵	۴/۲	۳/۰	۵۳/۲	۴۶/۵	۲۸/۱
نیکل	۳۲/۶	۲۴/۶	۲۳/۴	۳۲/۰	۱۲۲/۳	۱۱۹/۳	۴۱/۳
سرب	۲۶/۴	۱۱/۴	۱۲/۸	۸/۳	۱۰/۸	۶/۶	۲۵/۸
کادمیم	۰/۳۸	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۱۳

*- میانگین فلزات سنگین در مواد مادری با توجه به نسبت مساحت هر یک از آنها به مساحت کل منطقه مورد مطالعه

می گیرند.

در شکل ۳ نقشه‌های کریجینگ پراکنش فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه آورده شده است. همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شد، عناصری مانند سرب، روی و مس به ترتیب بیشتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی هستند و با توجه به نقشه‌های فاکتور آلودگی مربوط به این عناصر و نقشه منطقه مورد مطالعه (شکل ۱)، بالاترین میزان فاکتور آلودگی در مناطق شهری و حواشی خیابان‌های بین شهری مشهود است و با فاصله گرفتن از آنها این فاکتور کاهش می‌یابد. رحمانی (۴) با نمونه‌گیری از خاک در فواصل مختلف از حاشیه چهار بزرگراه در ایران به روند نزولی شدید غلظت سرب با افزایش فاصله از بزرگراه‌ها اشاره کرد. این موضوع به خوبی تاثیر فعالیت‌های شهری به خصوص حمل و نقل و سوخت‌های فسیلی بر گسترش آلودگی فلزات سنگین را نشان می‌دهد. ماس و همکاران (۲۴) در مطالعه توزیع مکانی غلظت برخی فلزات سنگین در خاک‌های شهری، برون شهری و کشاورزی مناطق مدیترانه‌ای الجزایر نشان دادند که ترافیک جاده‌های اصلی‌ترین دلیل افزایش غلظت سرب در خاک‌های اطراف جاده‌ها است. هم‌چنین لو و همکاران (۲۳) مشاهده کردند که افزایش غلظت فلزات مس و روی در خاک‌های کنار جاده- ای به وسیله انتشارات آگزوز وسایل نقلیه و فرسوده شدن اجزاء اتومبیل ایجاد شده است.

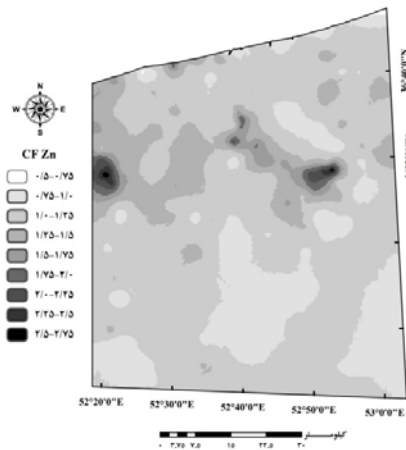
با مقایسه غلظت زمینه طبیعی فلزات سنگین در خاک‌ها (جدول ۴) با میانگین غلظت هموزن شده آنها در مواد مادری (جدول ۵)، به ترتیب افزایش غنی‌شدگی فلزاتی هم‌چون روی، سرب و مس در خاک آشکار است. در مقابل دو عنصر نیکل و کادمیم از غنی‌شدگی کمتری برخوردارند و غلظت آنها در خاک به غلظت مواد مادری تشکیل دهنده آنها نزدیک‌تر است. با توجه به شکل ۲ غالب واحدهای زمین‌شناختی شامل شیل‌های تیره (سازند شمکشک) و سنگ‌های آهکی است و به احتمال زیاد هوازگی این سنگ‌ها نقش زیادی در کنترل غلظت عناصری مانند نیکل و کادمیم که بیشتر تحت تاثیر مواد مادری هستند، کنترل می‌گردد.

ارزیابی زیست محیطی فلزات سنگین

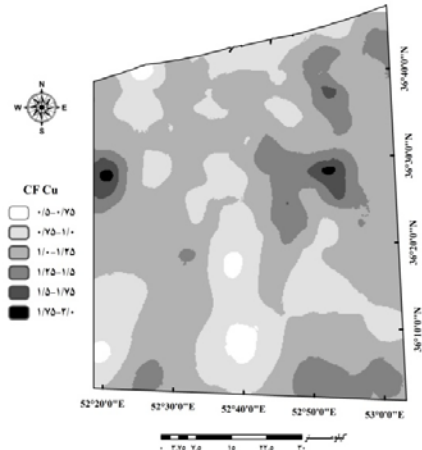
خلاصه‌ای از وضعیت آماری فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه به همراه فراوانی نمونه‌ها از لحاظ کلاس‌های ارزیابی آلودگی به فلزات سنگین با توجه به غلظت زمینه طبیعی در منطقه، در جدول ۶ ارائه شده است. بالاترین میانگین فاکتور آلودگی به ترتیب مربوط به فلزات سرب، روی، مس، کادمیم و نیکل است. این ترتیب می‌تواند با تاثیر میزان فعالیت‌های انسانی در تغییرات این فلزات سنگین هماهنگ باشد. فراوانی کلاس‌های ارزیابی آلودگی بدست آمده نشان می‌دهد که غالب نمونه‌های مورد تجزیه دارای آلودگی متوسط هستند و تنها ۳ درصد نمونه از نظر عنصر سرب در کلاس آلودگی زیاد قرار

جدول ۶- خلاصه‌ای از وضعیت آماری فاکتور آلودگی و کلاس آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی

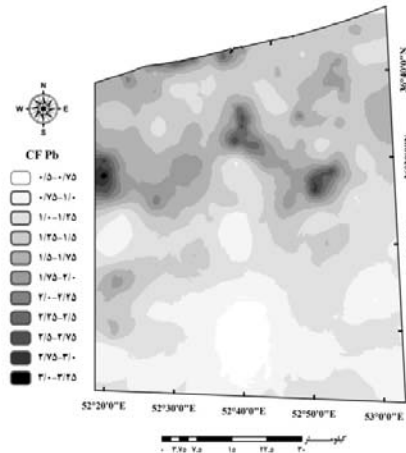
عنصر	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد
مس	۱/۱۳	۰/۴۹	۲/۳۷	۰/۹۴	۱/۹۳	۰/۳	۲۷	۳۷	۶۳	-
روی	۱/۲۴	۰/۵۲	۲/۸۶	۱/۴۱	۲/۲۴	۰/۴	۳۲	۲۸	۷۲	-
نیکل	۱/۰۲	۰/۵۰	۱/۵۳	۰/۰۴	۰/۲۸	۰/۲	۲۰	۴۷	۵۳	-
سرب	۱/۵۵	۰/۵۳	۳/۵۷	۱/۱۳	۱/۶۲	۰/۶	۳۹	۱۳	۸۴	۳
کادمیم	۱/۰۸	۰/۰۹	۲/۱۷	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۴	۳۷	۴۲	۵۸	-



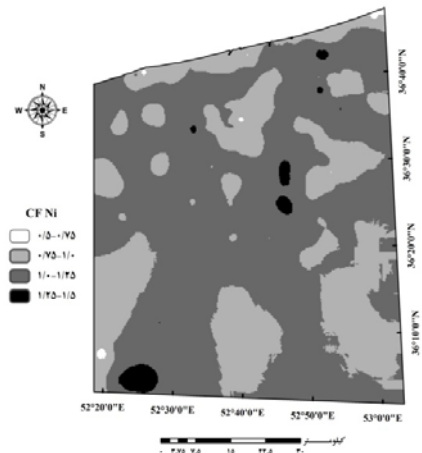
(ب)



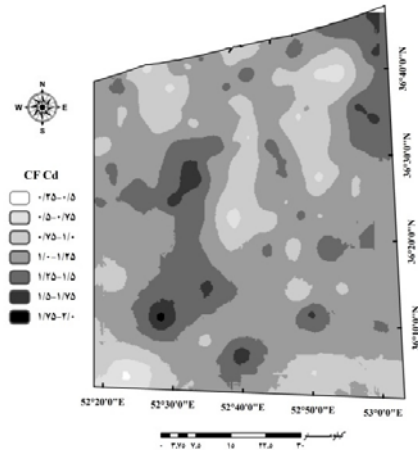
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

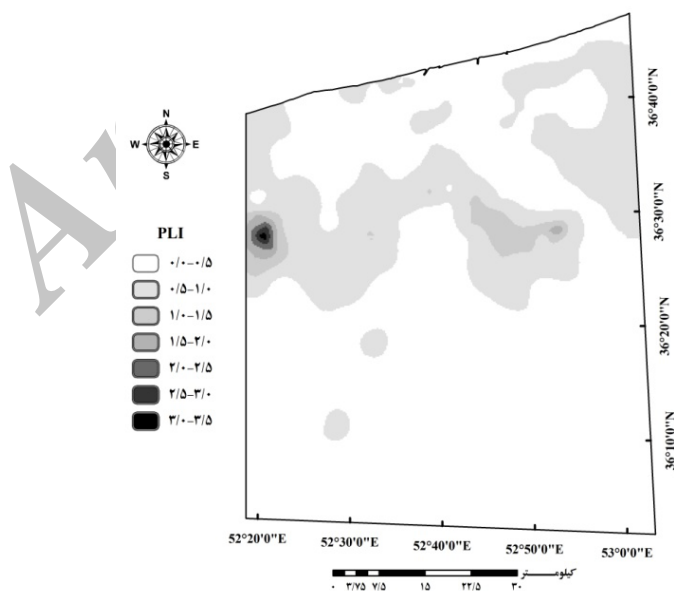
شکل ۳- نقشه پراکنش فاکتور آلودگی فلزات سنگین: الف) مس، ب) روی، ج) نیکل، د) سرب و ه) کادمیم

با توجه به شکل ۴ مناطق پایین‌دستی منطقه که شامل مناطق شهری و اراضی کشاورزی هستند خطرپذیری بالاتری نسبت به فلزات سنگین مورد مطالعه نشان می‌دهند. دنکوب و همکاران (۱۵) در ارزیابی فلزات سنگین آهن، منگنز، روی، مس و سرب در منطقه اصفهان مشاهده کردند که میزان شاخص PLI در مناطق شهری و منطقه صنعتی ذوب آهن اصفهان بیشتر از اراضی زیرکشت و بدون کشت است. تعداد ۴۱ نمونه خاک (غالباً نمونه‌های مناطق شهری) از کل نمونه خاک‌های مورد تجزیه از نظر آلودگی به فلزات سنگین، شاخص بار آلودگی بالای واحد داشتند و با توجه به نقشه پراکنش PLI، ۲/۳۳ درصد یا مساحتی به وسعت ۱۲۸ کیلومتر مربع که بیشتر شامل مناطق شهری به خصوص شهرهای آمل، بابل و قائمشهر و حواشی بزرگراه‌ها می‌گردد، آلوده به فلزات سنگین شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری

در مناطقی مانند منطقه مورد مطالعه که هنوز استانداردهای بهداشتی و زیست‌محیطی برآورد نگردیده است، تخمین غلظت زمینه طبیعی می‌تواند در بررسی زیست محیطی و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین قابل استفاده باشد. هم‌چنین با استفاده از آن می‌توان به محاسبه شاخص‌هایی مانند فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی به منظور ارزیابی، شناسایی مناطق آلوده و عوامل مؤثر در کنترل و گسترش فلزات سنگین در خاک پرداخت.

با توجه به شکل ۳، پراکنش فاکتور آلودگی نیکل و کادمیم با پراکنش فاکتور آلودگی سه عنصر دیگر متفاوت و پیچیده‌تر است. الگوی افزایشی فاکتور آلودگی این دو عنصر با موقعیت مناطق شهری و حمل و نقل هم‌خوانی نداشته و برعکس کمترین میزان این مقدار برای کادمیم و نیکل در مناطق شهری قابل مشاهده است (شکل ۳). با روی هم قرار گرفتن و هماهنگ کردن نقشه‌های زمین‌شناختی (شکل ۲) و فاکتور آلودگی کادمیم و نیکل، تاثیر برخی سازنده‌ها در افزایش و کنترل غلظت این فلزات قابل مشاهده است. پالمبو و همکاران (۲۶) نشان دادند که ترکیب زمین‌شناختی مواد مادری تا حد بسیار زیادی تغییرات غلظت عناصر سنگین در افق‌های ژنتیکی خاک‌های سیسیل ایتالیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بیشترین میزان فاکتور آلودگی عنصر نیکل و کادمیم در مناطق بالادست به ترتیب بر روی توف‌های آتشفشانی آندزیت بازالتی و شیل‌های تیره قرار گرفته است. هم‌چنین در پایین‌دست منطقه به طور پراکنده بر روی کاربری‌های کشاورزی نیز افزایش فاکتور آلودگی این دو عنصر قابل مشاهده است. پراکنش فاکتور آلودگی کادمیم و نیکل در کل منطقه مورد مطالعه بر خلاف سه فلز دیگر، نشان دهنده تاثیر بیشتر عوامل طبیعی مانند هوازدگی و فرسایش مواد مادری و انتقال آنها به مناطق پایین‌دست و هم‌چنین فعالیت‌های کشاورزی به ویژه در زمین‌های شالیزاری در کنترل غلظت ژئوشیمیایی این عناصر است. نقشه کریجینگ پراکنش شاخص PLI در شکل ۴ قابل مشاهده است. با استفاده از نقشه پراکنش PLI به خوبی می‌توان به مکان‌یابی مناطق با احتمال زیاد خطرات زیست‌محیطی فلزات سنگین پرداخت.



شکل ۴- نقشه پراکنش شاخص بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه

مناطق شهری و اراضی حاشیه‌ای آن است و دیگر مناطق مورد مطالعه بار آلودگی قابل ملاحظه‌ای نشان ندادند. به طور کلی نتایج نشان داد که همواره عوامل انسانی و طبیعی توأم در پراکنش و میزان غلظت فلزات سنگین دخیل هستند، به همین دلیل برای حفظ تعادل اکوسیستم، سلامت انسان، شناسایی اثرات سوء وارده بر محیط زیست خاکی و مدیریت مناسب محیط زیست نیاز است تا غلظت زمینه و یا حدود اطمینان زیست محیطی با توجه به شرایط اقلیمی، منطقه‌ای و خصوصیات خاک برآورد گردند.

با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌های (۸۴-۵۳ درصد) مورد مطالعه دارای غلظتی بیش از غلظت زمینه طبیعی بودند. نقشه پراکنش فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه نشان داد که عناصر سرب، روی و مس تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی مانند ترافیک بوده و عناصر کادمیم و نیکل نیز بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی هستند. نقشه پراکنش شاخص بار آلودگی نیز نشان داد که بیشترین نگرانی موجود در ارتباط با فلزات سرب، روی و مس در

منابع

- ۱- ایوبی ش.، محمد زمانی س.، خرمالی ف. ۱۳۸۶. برآورد مقدار ازت کل خاک به کمک ماده آلی و با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ-رگرسیون در بخشی از اراضی زراعی سرخنکلاته استان گلستان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۴): ۷۸-۸۷.
- ۲- بی‌نام. ۱۳۸۶. اقلیم استان مازندران، اداره کل هواشناسی استان مازندران، ساری.
- ۳- دلپجانی ف.، کاظمی غ.، پروین نیا م. و خاکشور م. ۱۳۸۸. غنی‌شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاک‌های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه)، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، صفحات ۸-۱.
- ۴- رحمانی ح.ر. ۱۳۷۹. آلودگی خاک بوسیله سرب حاصل از وسایط نقلیه در محدوده برخی از بزرگراه‌های ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۰: ۳۱-۴۰.
- ۵- سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۳۷۰. نقشه زمین‌شناسی چهار گوش آمل و ساری، شماره F4 و G4: مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، چاپ تهران نقشه، تهران.
- 6- Alloway B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Sons, Ltd., Glasgow-London.
- 7- Angulo E. 1996. The Tomlinson's pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: a useful index to assess coastal pollution. Science of The Total Environment, 187:19-56.
- 8- Bai J., Xiao R., Gong A., Gao H. and Huang L. 2011. Assessment of heavy metal contamination of surface soils from typical paddy terrace wetlands on the Yunnan Plateau of China. Physics and Chemistry of the Earth, 36:447-450.
- 9- Bi X., Feng X., Yang Y., Qiu G., Li G., Li F., Liu T., Fu Z. and Jin Z. 2006. Environmental contamination of heavy metals from zinc smelting areas in Hezhang County, western Guizhou, China. Environment International, 32:883-890.
- 10- Breckenridge R.P. and Crockett A.B. 1995. Determination of background concentrations of inorganics in soils and sediments at hazardous waste sites. EPA/540/S-96/500, Washington, DC.
- 11- Carlon C. 2007. Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe: A Review and Evaluation of National Procedures Towards Harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Lombardy, Italy.
- 12- Chan L.S., Ng S.L., Davis A.M., Yim W.S. and Yeung C.H. 2001. Magnetic properties and heavy-metal contents of contaminated sediments of Pennys Bay, Hong Kong. Marine Pollution Bulletin, 583:542-569.
- 13- Chen J.S., Wei F.S., Zheng C.J., Wu Y.Y. and Adriano D.C. 1991. Background concentrations of elements in soils of China. Water, Air, and Soil Pollution, 57:699-712.
- 14- Chen M., Ma L.Q., Hoogeweg C.G. and Harris W.G. 2001. Arsenic background concentrations in Florida, U.S.A. surface soils: determination and interpretation. Environmental Forensics, 2:117-126.
- 15- Dankoub Z., Ayoubi S., Khademi H. and Lu S.G. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected Heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, central Iran. Pedosphere, 22:33-47.
- 16- De Temmerman L., Vanongeval L., Boon W. and Hoenig G. 2003. Heavy metal content of arable soils in northern Belgium. Water, Air, and Soil Pollution, 148:61-73.

- 17- Gilbert R.O. 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 18- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14:975-1001.
- 19- Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K. and Lucas N. 2001. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI Press, New York.
- 20- Kabata-Pendias A. and Pendias H. 2001. *Trace Elements in Soil and Plant* (3rd ed.). CRC Press LLC, Washington, D.C .
- 21- Krzysztof L., Danuta L. and Irena K. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30:159-165.
- 22- Liu X., Wu J. and Xu J. 2006. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. *Environmental Pollution*, 141:257-264.
- 23- Lu S.G., Bai S.Q. and Fu L.X. 2008. Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*, 18:479-485.
- 24- Maas S., Scheffler R., Benslama M., Crini N., Lucot E., Brahmia Z., Benyacoub S. and Giraudoux P. 2010. Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. *Environmental Pollution*, 158:2294-2301.
- 25- Navas A. and Machin J. 2002. Spatial distribution of heavy metal and arsenic in soil of Aragon (northeast Spain): controlling factors and environmental implications. *Applied Geochemistry*, 17:961-973.
- 26- Palumbo B., Angelone M., Bellanca A., Dazzi C., Hauser S., Neri R. and Wilson S. 2000. Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soils of Sicily, Italy. *Geoderma*, 95:247-266.
- 27- Sposito G., Lund L.J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in air zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, 46:260-264.
- 28- Su Y.Z. and Yang R. 2008. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the desert-oasis ecotone in the middle of Heihe River Basin, North-west China. *Journal of Geochemical Exploration*, 98:57-64.
- 29- Tume P., Bech J., Longan L., Tume L., Reverter F. and Sepulveda B. 2006. Trace elements in natural surface soils in Sant Climent (Catalonia, Spain). *Ecological Engineering*, 27:145-152.
- 30- Yanyu W., Junliang T. and Qixing Z. 1992. Study on the proposed environmental guidelines for Cd, Hg, Pb and As in soil of China. *Journal of Environmental Sciences*, 4:66-73.
- 31- Yongming H., Peixuan D., Junji C. and Posmentier E.S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of The Total Environment*, 355:176-186.
- 32- Zhang X.P., Deng W. and Yang M. 2002. The background concentrations of 13 soil trace elements and their ationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21:167-174.



Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran

B. Azimzadeh^{1*}- H. Khademi²

Received:27-11-2012

Accepted:13-4-2013

Abstract

One of the main problems in soil pollution evaluation is the lack of regional standards. The objectives of this study were (i) to estimate the background concentration of some heavy metals for environmental assessment and, (ii) to locate heavy metal polluted soils in part of central Mazandaran Province. The study region with 5500 km² area is important in terms of agricultural activities and population density. Using nested-systematic method, 256 composite soil samples were taken from the depth of 0-10 cm, including 148, 60, and 48 soil samples in agricultural land, urban area, and natural lands (forest and rangeland), respectively. After preparation and extraction of soil samples with 5 N nitric acid, the total concentration of Cu, Zn, Ni, Pb, and Cd was measured by an atomic absorption spectrometer. Natural background concentration (NBC) of Cu, Zn, Ni, Pb, and Cd was estimated to be 28.3, 40.2, 45.7, 34.2, and 0.23 mg kg⁻¹, respectively. Interpolated distribution map of contamination factors (CF) and pollution load index (PLI) of heavy metals were prepared using NBC. The overlap of CF and PLI maps with geology and land use maps was indicated that the concentration of Pb, Zn, and Cu has been affected by human activities such as traffic, whereas Cd and Ni contents are controlled by natural factors such as parent material, and agricultural activities, mostly. Based on the classes of CF, most samples are moderately contaminated with heavy metals.

Keywords: Soil pollution, Heavy metals, Background concentration, Contamination factor, Mazandaran Province

1, 2- M.Sc. Student and Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Respectively
(*-Corresponding Author Email: b.azimzadeh@gmail.com)