دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شمارهٔ ٤ و ۳، پاییز و زمستان ۱٤۰۰
ص ٤۰۹ تا ٤۲٦

بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های سطحی (منطقه مورد مطالعه: شهرستان شهرکرد)

مهرنوش صفاری؛ دانشجوی دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
عبدالرضا جعفریان*؛ استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
محمدعلی گنجویان؛ استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
جواد اسماعیلی؛ استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰٤/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۱/۳۰

چکیده :

مطالعه حاضر با هدف بررسی آلودگی عناصر سنگین در خاک محدوده شهرکرد با استفاده از شاخص‌های مختلف با تجزیه شیمیایی ٦۱ نمونه خاک از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری انجام شد. غلظت کل عناصر سنگین بااستفاده از دستگاه (ICP-MS) در شرکت زرآزما اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد عناصر آرسنیک، مس، نیکل، کروم، وانادیوم، سرب و روی پایین‌تر از حدمجاز و عنصر کبالت برای حدود ٦۵ درصد نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد کانادا است. براساس شاخص زمین‌انباشتگی خاک منطقه موردمطالعه غیرآلوده است و صرفاً میزان اندکی آلودگی در ارتباط با آرسنیک مشاهده شد. براساس شاخص فاکتور تجمع، آرسنیک غنی‌شدگی متوسط و سایر عناصر، غنی‌شدگی کمی را نشان دادند. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی زمین‌زاد بودن منشأ این عناصر را تأیید می‌کند. براساس میانگین شاخص PI، سطح آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه برای ۸ فلز مورد بررسی در کلاس آلودگی کم تا متوسط بود. به طورکلی خاک شهرستان شهرکرد در مقایسه با خاک برخی شهرهای جهان تمرکز غلظت عناصر کروم، نیکل و وانادیوم بیش‌تری دارد.

کلیدواژه‌ها: ژئوشیمی زیست محیطی، آلودگی، فلزات سنگین، مولفه‌های اصلی، شهرکرد.

مقدمه

امروزه آلودگی های زیست محیطی به یک معضل مهم در سطح جهان تبدیل شده و سلامت منابع طبیعی و در نتیجه امنیت غذایی جوامع را تهدید می کند. توسعه صنایع و فعالیت های انسانی عامل اصلی این مشکلات می باشد(رحمان، ۲۰۱۹). در بین انواع آلاینده های خاک، فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن در طبیعت و طول عمر زیستی بالا، به عنوان یک آلاینده بسیار مهم محیط زیست محسوب می شوند(موسویان و همکاران، ۱۴۰۱). فلزات سنگین موجود در خاک نه تنها توسط گیاهان، جذب و وارد زنجیره غذایی می

*رایانامه نویسنده مسئول: R.jafarian@gmail.com

شوند، بلکه ممکن است با ورود به آب های سطحی و زیرزمینی، سلامتی موجودات زنده را به خطر بیندازند(حسین نیایی و همکاران، ۱۴۰۰).

به طور کلی، منشأ آلودگی فلزات سنگین خاک شامل عوامل زمین زاد (هوازدگی مواد مادری) و انسان زاد (تجمع فلزات سنگین از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای از مناطق صنعتی، دفع زباله‌های فلزی، بنزین و سرب، آفت‌کش‌ها، کاربرد کودهای شیمیایی، رسوب جوی، بقایای احتراق زغال‌سنگ و غیره) می‌باشد (ووآنا و اوکیمن، ۲۰۱۱). این آلاینده‌ها از منابع ثابت و متحرک به آب، خاک و هوا منتقل می‌شوند. همچنین این مواد می‌توانند در سطوح شهری، گیاهان، خاک و سطوح ساختمانی انباشته و سپس با استفاده از نیروهای طبیعی و انسانی به مکان‌های مختلف انتقال داده شوند (نظرپور، ۲۰۱۷). این گونه فلزات با توجه به داشتن خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک باعث اختلال در عملکرد خاک و رشد گیاه می شود و به سلامت انسان آسیب می‌رساند (سیدهو، ۲۰۱۶.، حسین نیایی و همکاران، ۱۴۰۰). آلودگی خاک به عناصر سنگین به عنوان یکی از مشکلات زیست محیطی فراروی بشر، در چند دهه گذشته مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. به دلیل تغییرات مکانی و زمانی عوامل کنترل کننده غلظت فلزات سنگین در طبیعت، شناخت گسترش و توزیع فلزات سنگین با پیچیدگی‌های زیادی بوده و به دلیل اثرات مخربی که بر روی انسان و محیط زیست دارد، ارزیابی آلودگی ناشی از آن ها از اهمیت خاصی برخوردار است (یانگ، ۲۰۱۱). در پژوهشی توسط مقتدری و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی آلودگی، بررسی ریسک سلامت و شاخص ریسک اکولوژیک فلزات بالقوه سمی در خاک‌های سطحی بخش مرکزی شهرستان بندرعباس را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار میانگین ریسک اکولوژیک به ترتیب نشان‌دهنده ریسک متوسط و زیاد برای فلزات مس و کادمیم بوده است. در پژوهش دیگری ویسمانوا و همکاران (۲۰۱۵) بررسی آلودگی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، روی، مس، منگنز، وانادیم و جیوه خاک‌های شهری در استاراوا[1] جمهوری چک و ارزیابی آلودگی فلزات و استفاده از آنالیز مؤلفه اصلی پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی آلودگی فلزات نشان داد که خاک‌های شهری در محدوده‌ای از حد متوسط از طریق آلودگی شدید تا خاک‌های بسیار آلوده ارزیابی شدند. ژو[2] و همکاران (۲۰۲۰) نیز تجزیه و تحلیل منبع و ارزیابی ریسک فلزات سنگین را در ریژاو[3] چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بسیاری از انواع فلزات سنگین در مناطق توسعه انباشته شده‌اند. رحمان[4] و همکاران(۲۰۱۹) آلودگی رسوبات در بنگلادش را به فلزات سنگین بررسی نمودند که شاخص انباشت ژئوشیمیایی و شاخص آلودگی نشان داد که رسوبات از درجه غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار داشتند.

در این دوره، در مقایسه با کشورهای پیشرفته مطالعات کمی در مناطق دیگر جهان انجام شده است. بررسی‌های ژئوشیمی زیست محیطی در کشور ما در سالیان اخیر آغاز شده و مطالعات متعددی در زمینه ژئوشیمی زیست محیطی در نقاط مختلف کشور انجام شده است. در این پژوهش، نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی ۶۱ نمونه از خاک سطحی با کاربری های مختلف با هدف ارزیابی میزان و نحوه توزیع مکانی عناصر سنگین در خاک‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

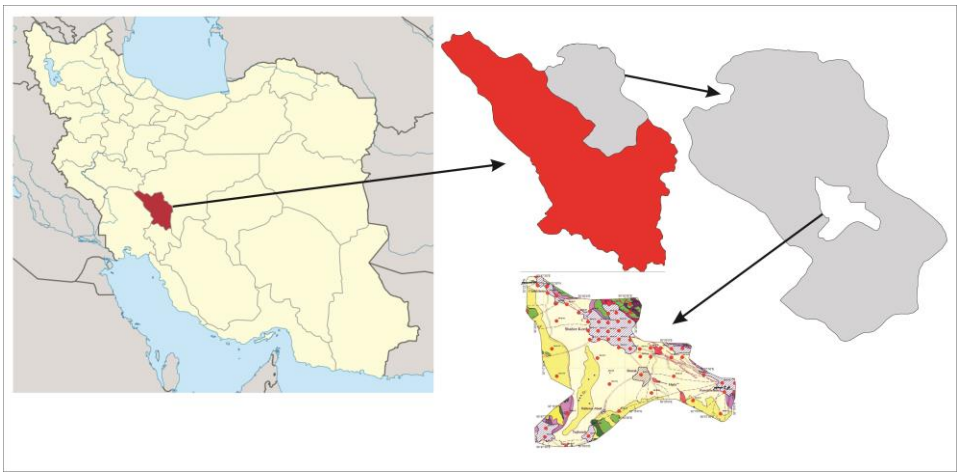
برای دستیابی به این هدف، ضمن توجه به سازندها و ساختارهای زمین‌شناسی، اندیس‌های معدنی و توپوگرافی منطقه، نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه و همبستگی بین عناصر در محیط خاک بررسی و با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به صورت کمیت عددی و نقشه‌های رقومی، نقش عوامل طبیعی و انسانی در تمرکز عناصر

1- Ostrava
3- Zhuo
4- Rizhao
5- Rahman

سنگین در خاک‌های این ناحیه مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته است. در این تحقیق جهت ارزیابی آلودگی فلزات سنگین از شاخص های مختلفی چون شاخص زمین انباشتگی، فاکتور غنی شدگی نرمال و شاخص بار آلودگی استفاده شد.

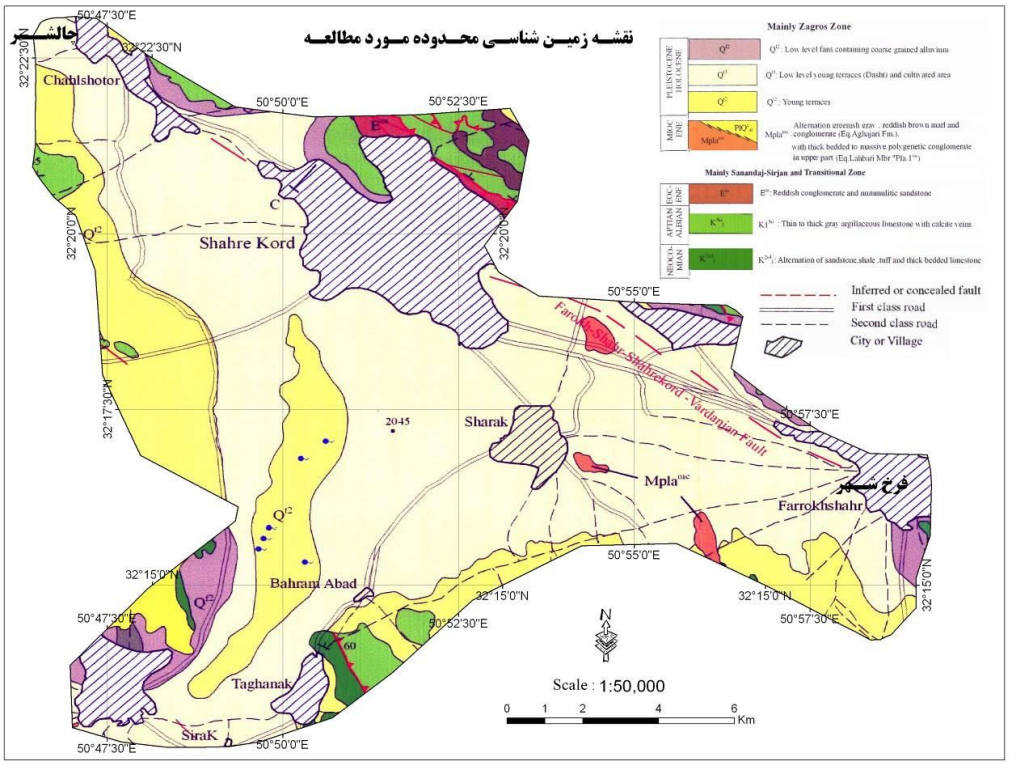
موقعیت جغرافیایی و ویژگی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه مرکز استان چهار محال و بختیاری می‌باشد که از دیدگاه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی شهری و تراکم جمعیتـی از مناطق مهم کشور محسوب می‌شود. شهرستان شهرکرد در جنوب غربی شهر اصفهان و در ارتفاع ۲۰۷۰ متری با مساحت ۲۰۰۶ کیلومتر مربع واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی شهر شهرکرد در طول شرقی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه و عرض شمالی، ۳۲ درجه و۲۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه واقع شده است. دشت شهرکرد بصورت باریکه‌ای در جهت شرقی– غربی و همچنین شمال‌غرب– جنوب‌شرق گسترش یافته است و نقاطی مانند فرخ‌شهر، شهرکیان، چالشتر و غیره را نیز در خود جای داده است (شکل۱).



شکل۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

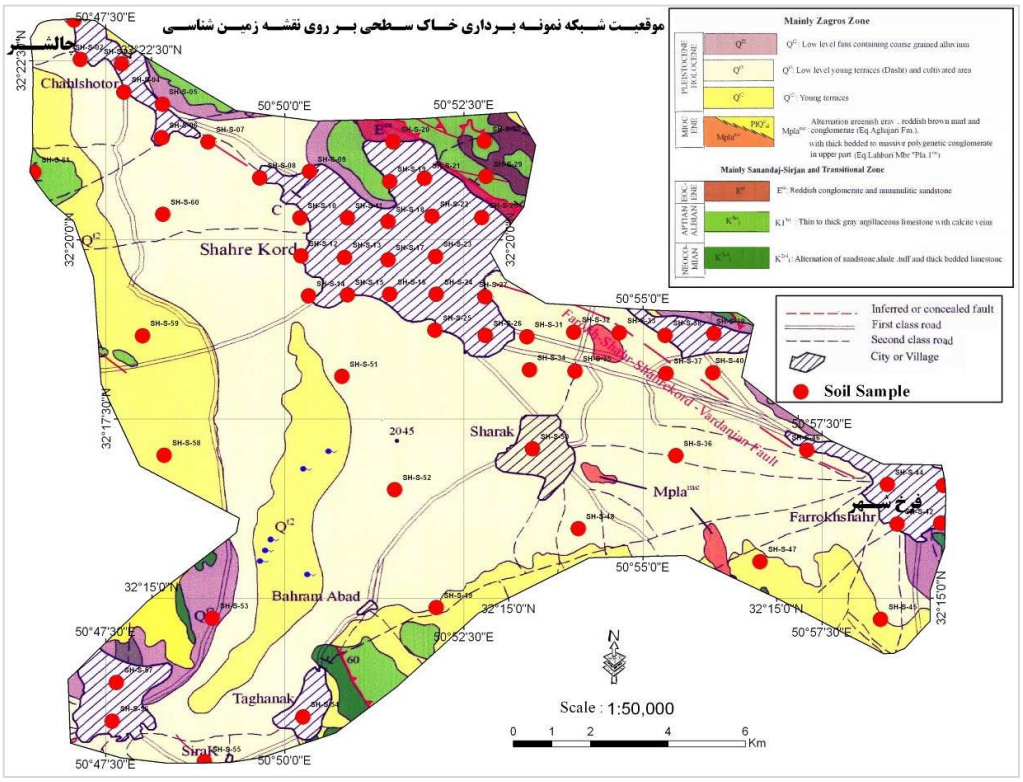
شهرکرد یکی از قطب‌های کشاورزی و باغداری استان می باشد. تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک زراعی موجب افزایش جذب این عناصر توسط گیاهان شده و سلامت مصرف کنندگان را به مخاطره می‌افکند. همچنین پراکندگی زمین های کشاورزی و باغات در مجاورت شهر و مراکز صنعتی و کارخانجات، بر خطر آلودگی خاک‌های زراعی افزوده است. احداث واحدهای صنعتی در مجاورت شهر و اراضی کشاورزی، از طریق دفع فاضلاب ها، پسماندها و گازهای سمی، شرایط آلودگی خاک و محصولات کشت‌شده را فراهم می آورد. در مناطق با بارندگی متوسط تا زیاد، احتمال انحلال عناصر سمی خاک و ورود آن به آبخوان بیشتر است که این مسأله زمینه‌ساز گسترش ترکیبات آلاینده و بروز بسیاری از بیماری‌ها خواهد بود. به همین دلیل تعیین نحوه پراکنش فلزات سنگین در خاک‌های مراکز جمعیتی این منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل۲: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی شهرکرد (سازمان زمین‌شناسی کشور)

مواد و روش‌های مطالعه

پس از انجام مطالعات کتابخانه ای، طراحی شبکه نمونه‌برداری بصورت سیستماتیک برروی نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth انجام شد (شکل ۳). در هر ایستگاه نمونه‌برداری خاک مرکب از افق سطحی انجام گردید. عمق نمونه‌برداری خاک سطحی در پروژه‌های ژئوشیمیایی شهری، ۰–۲۵ سانتی‌متر می باشد (جانسون و همکاران، ۲۰۱۱). براین اساس طی مرحله نمونه‌برداری از محدوده مورد مطالعه، تعداد ۶۱ نمونه خاک، هر نمونه به وزن تقریبی ۵۰۰ گرم از جزء کوچکتر از ۲ میلی متر خاک از افق سطحی (۲۵–۰ سانتیمتری) برداشت شد. پس از خشک‌کردن نمونه‌ها هر نمونه به قسمت‌های مساوی تقسیم و از هر قسمت مقداری برداشته شد تا در نهایت به مقدار وزن مورد نظر (۳۰۰ گرم) رسید. سپس به منظور سنجش عنصری نمونه‌ها به روش آنالیز چهار اسید و خوانش با به کارگیری دستگاه ICP-MS به آزمایشگاه شرکت زرآزما ارسال و غلظت کل عناصر آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیوم و روی مورد آنالیز قرار گرفتند.



شکل ۳: نمایی از پراکندگی نقاط نمونه برداری خاک (سطحی) سطح شهرستان شهرکرد بر روی نقشه زمین شناسی

تهیه نقشه‌های پراکنش عناصر در نرم‌افزار ArcGIS به روش درون‌یابی (IDW) یا معکوس فاصله انجام شد. همچنین غلظت عناصر در سه و دو کلاس به صورت سمبلیک نمایش داده شده است. روش‌های آماری چند متغیره می‌توانند به طور همزمان تعداد فاکتورهایی را که کنترل‌کننده تغییرات موجود در داده‌ها هستند را شناسایی کنند (بوروکا و همکاران، ۲۰۰۵). روش‌های آماری چند متغیره مانند تجزیه عاملی و آنالیزخوشه‌ای، ابزارهای قدرتمندی برای جداسازی منابع موثر در آلودگی هستند. در حقیقت آنالیز خوشه‌ای، یک فرایند طبقه‌بندی غیرکنترلی است که مواد مورد بررسی را برحسب میزان شباهت یا تفاوت آنها، خوشه‌بندی می‌کند. تجزیه عاملی بین مجموعه‌ای متشکل از متغیرهای گوناگون که در ظاهر بی ارتباط هستند، رابطه خاصی را در یک مدل فرضی برقرار می‌کند (عبدی و همکاران، ۲۰۱۴). هدف از تجزیه و تحلیل عاملی، تشخیص مهم‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده تغییرات ویژگی مورد نظر از متغیرهایی با نقش کمتر است. در این صورت می‌توان با حداقل تعداد متغیرهای فاکتوری، حداکثر تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه کرد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای فاکتوری را در توجیه تغییرپذیری، مشخص نمود (عباس زاده و همکاران، ۲۰۱۶). برای محاسبه آنالیز خوشه‌ای، تجزیه عاملی و ضریب همبستگی از نرم افزار SPSS21 استفاده شد.

نتایج و بحث

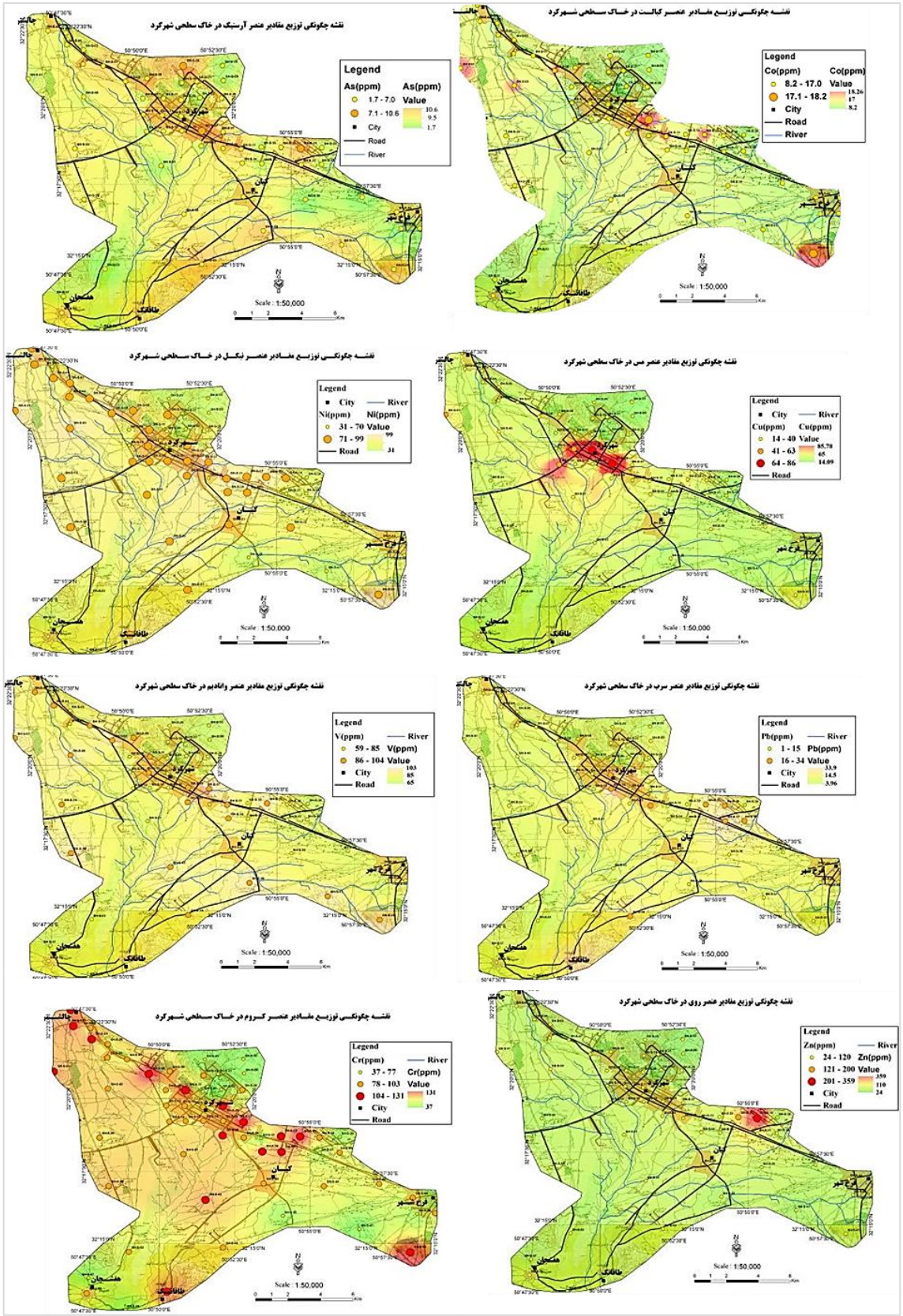
در جدول ۱ خلاصه وضعیت آماری عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه و در شکل ۴ نقشه‌های توزیع عناصر سنگین در خاک سطحی شهرستان شهرکرد ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری غلظت عناصر سنگین (mg/kg) در منطقه مورد مطالعه

	میانگین	حداقل	حداکثر	واریانس	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
آرسنیک	۴/۳۹	۱/۷	۱۰/۶	۲/۲۱	۱/۳۲	۳/۹۴	۱/۴۸	۳۳/۸۹
کبالت	۱۳/۳۴	۸/۲	۱۸/۳	۴/۹۴	-۰/۳۰	-۰/۰۲	۲/۲۲	۱۶/۶
کروم	۹۱/۸۱	۳۷	۱۳۱	۴۲۷/۷۸	-۰/۴۱	۰/۱۵	۲۰/۶۸	۲۲/۵۲
مس	۳۲/۱۸	۱۴	۸۶	۱۱۶/۰۱	۲/۶۵	۱۰/۹	۱۰/۷۷	۳۳/۴۷
نیکل	۷۰/۵۷	۳۱	۹۹	۲۱۸/۴۸	-۰/۴۶	-۰/۰۷	۱۴/۷۸	۲۰/۹۴
سرب	۱۱/۷۰	۱	۳۴	۴۱/۵۴	۱/۵۰	۳/۰۵	۶/۴۴	۵۵/۰۶
وانادیم	۸۱/۶۳	۵۹	۱۰۴	۹۷/۱۳	-۰/۱۰	-۰/۳۹	۹/۸۵	۱۲/۰۷
روی	۷۱/۵۰	۲۴	۳۵۹	۱۷۰۹/۴۸	۵/۷۴	۴۰/۰۶	۴۱/۳۴	۵۷/۸۱

مطابق جدول، بیشترین میانگین غلظت عناصر متعلق به کروم (۹۱/۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مربوط به آرسنیک با غلظت ۴/۳۹ بوده است. ضریب چولگی برای عناصر مس و روی بالا بوده و ضریب کشیدگی برای عناصر آرسنیک، مس، روی و سرب بسیار بالا است. بنابراین ضرایب چولگی و کشیدگی نشان می دهد که عناصر از الگوی توزیع نرمال پیروی نمی کند. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز غیر نرمال بودن این عناصر را نیز نشان داد. برای نرمال سازی داده ها از روش تابع لگاریتمی استفاده شد و در نهایت داده ها نرمال شدند. واریانس و انحراف معیار، اختلاف بین عناصر در ایستگاه های مختلف را نشان می دهد. بنابراین اختلاف بین عنصر آرسنیک و روی در ایستگاه های مختلف به ترتیب کم و زیاد بوده است. براساس تقسیم بندی ارائه شده توسط ویلدینگ (۱۹۸۵) برمبنای مقادیر ضریب تغییرات، ویژگی‌های مورد مطالعه را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: ویژگی‌هایی با تغییرپذیری کم (ضریب تغییرات کمتر از ۱۵)، ویژگی‌هایی با تغییرپذیری متوسط (ضریب تغییرات ۱۵ تا ۳۵) و ویژگی‌هایی با تغییرپذیری زیاد (ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵). براین اساس تمامی ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه در گروه تغییرپذیری کم قرار دارند. با بررسی ضریب تغییرات برای عناصر مورد مطالعه مشخص می‌شود که مقدار این پارامتر برای عنصر روی بیشتر از سایر عناصر است که این امر به نوعی نشان‌دهنده تنوع بیشتر در مقادیر عنصر روی در مقایسه با سایر عناصر است.

ضریب تغییرات عناصر مورد مطالعه به ترتیب به صورت روی > سرب > آرسنیک > مس > کروم > نیکل > کبالت > وانادیوم است که نشان می‌دهد عنصر وانادیوم کم‌ترین و روی بیشترین مقدار ضریب تغییرات را داراست. این امر بیانگر این مطلب است که توزیع عنصر وانادیوم نسبت به سایر عناصر همگن‌تر است، به طور کلی براساس تقسیم‌بندی ویلدینگ (۱۹۸۵) تمامی عناصر مورد مطالعه به جز روی و سرب در گروه تغییرپذیری کم قرار می‌گیرند.



شکل ٤: نقشه توزیع عناصر سنگین در خاک سطحی شهرستان شهرکرد

مطابق شکل ۴، بیشترین پراکندگی عنصر آرسنیک در دامنه ۷-۱/۷ میلی گرم بر کیلوگرم و در بخش های جاده ای متمرکز شده است. بیشترین تجمع عنصر کبالت در دامنه ۱۷-۸/۲ میلی گرم بر کیلوگرم و در بخش های شهری و جاده ای قرار دارد. عنصر مس در دامنه ۴۰-۱۴ میلی گرم بر کیلوگرم و با پراکندگی بیشتر در منطقه وجود دارد. بیشترین پراکندگی عنصر کروم در دو دامنه ۱۰۳-۷۸ و ۱۳۱-۱۰۴ با میلی گرم بر کیلوگرم در بخش شهری است. بالاترین تجمع عنصر سرب در دامنه ۱۵-۱ میلی گرم بر کیلوگرم و در بخش های جاده ای می باشد. بالاترین پراکندگی عنصر نیکل در دامنه ۹۹-۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم و در بخش های شهری و جاده ای است. تمرکز بالای عنصر روی در دامنه ۱۲۰-۲۴ میلی گرم بر کیلوگرم و در بخش های جاده ای است و محدوده بیشترین پراکندگی عنصر وانادیوم در دامنه ۱۰۴-۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم و در بخش های جاده ای و شهری می باشد.

محاسبه ضرایب همبستگی عناصر

ضریب همبستگی در واقع، ارتباط احتمالی بین فلزات مانند منشأ مشترک، توزیع واحد و رفتار مشابه را بیان می‌کند (دیوپ و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعات زیست محیطی به ویژه هنگامی‌که هدف، تعیین ارتباط بین عناصر و بیماری است، همبستگی و ارتباط عناصر کمک شایان توجهی به تحلیل صحیح شرایط موجود می‌کند. در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط میان عناصر جزئی استفاده شده است. در خاک سطحی بیشترین همبستگی بین عناصر مربوط به وانادیوم و کبالت با سطح همبستگی ۰/۹۲۲ درصد می‌باشد. عناصر وانادیوم، کبالت و نیکل نیز به ترتیب همبستگی بالایی دارند که نشان‌دهنده منشأ مشترک و رفتار مشابه این عناصر در محیط شهری (محدوده شهر شهرکرد) است. ضعیف‌ترین همبستگی مربوط به عنصر آرسنیک، روی و سرب است که همبستگی ضعیفی با دیگر عناصر نشان می‌دهند (جدول ۲).

جدول۲- ضریب همبستگی عناصر سنگین در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه

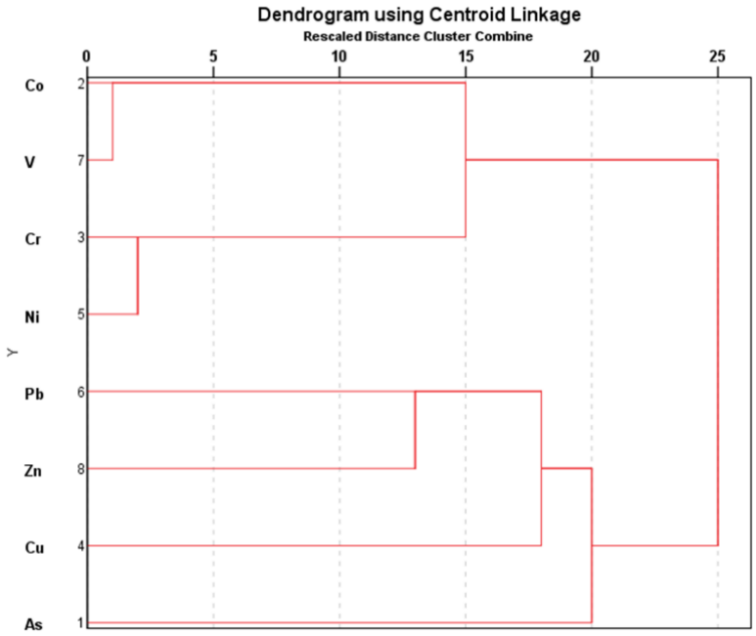
	آرسنیک	کبالت	کروم	مس	نیکل	سرب	وانادیم	روی
آرسنیک	۱							
کبالت	۰/۳۹۳	۱						
کروم	۰/۰۲۰	۰/۷۵۸	۱					
مس	۰/۱۳۵	۰/۳۸۵	۰/۳۵۳	۱				
نیکل	۰/۱۰۷	۰/۸۴۹	۰/۸۴۴	۰/۴۵۱	۱			
سرب	۰/۱۸۴	۰/۱۶۵	۰/۲۷۳	۰/۲۵۴	۰/۱۹۷	۱		
وانادیم	۰/۳۹۶	۰/۹۲۲	۰/۷۰۰	۰/۳۲۲	۰/۷۵۱	۰/۱۲۱	۱	
روی	۰/۳۲۴	۰/۳۵۳	۰/۲۷۱	۰/۲۹۹	۰/۳۴۵	۰/۳۹۸	۰/۲۶۵	۱

تحلیل خوشه‌ای

آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چند متغیره است که در این مطالعه به منظور شناسایی منشأ عناصر استفاده شده است. نمودار خوشه‌ای، گزینه‌های هم وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگتر ایجاد شود و شباهت بین نمونه‌ها را سنجش و ارزیابی نماید (شایسته فر و رسا، ۲۰۰۶). تحلیل خوشه‌ای در این مطالعه توسط نرم افزار SPSS21 انجام شده است. در این تحلیل، از ضریب همبستگی تهیه شده توسط نرم‌افزار، برای دستیابی به ضرایب تشابه و رسم دندروگرام استفاده می‌شود.

نتایج آنالیز خوشه‌ای غلظت عناصر سنگین نمونه‌های خاک سطحی شهرکرد در شکل ۵ ارائه شده است. در روش آنالیز خوشه‌ای (شکل ۵) عناصر به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: گروه اول به دو زیرگروه تقسیم

می‌شود. زیر گروه اول شامل وانادیوم، کبالت و زیرگروه دوم شامل کروم و نیکل است. گروه دوم شامل سرب، روی، مس و آرسنیک می‌باشد. نتایج بدست آمده از روش تحلیل خوشه‌ای نشان‌دهنده منشأ مشترک عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۵- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین در خاک سطحی منطقه مورد مطالعه

شاخص های تعیین آلودگی

شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})

اساس شاخص زمین انباشتگی، مقایسه غلظت فلز با میزان آن در زمینهٔ ژئوشیمیایی منطقه است که با استفاده از معادله ۱ که در سال ۱۹۶۹ توسط مولر معرفی شد محاسبه می گردد(مولر، ۱۹۶۹).

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_i}{1.5B_i}\right)$$ معادله ۱)

I_{geo} شاخص زمین انباشتگی

C_i میزان عنصر در نمونه های خاک یا رسوب مورد مطالعه

B_i غلظت پس زمینه فلز سنگین مورد نظر در پوسته زمین

استفاده از میانگین پوسته به این علت صورت می پذیرد که خاک به عنوان بخشی از پوسته زمین در نظر گرفته شده و ترکیب شیمیایی آن به پوسته وابسته است (رحمان و همکاران، ۲۰۱۲). برای تصحیح اثرات مواد مادری خاک، نوسانات طبیعی و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت های انسانی از ضریب ۱/۵ استفاده شده است. همچنین فورستر (۱۹۹۰) این ضریب را به منظور به حداقل رساندن اثر تغییرات احتمالی در غلظت های پس زمینه است که معمولاً این اختلافات به دلیل تغییرات سنگ شناسی خاک‌ها است.

مولر بر اساس میزان شاخص، ۷ کلاس آلودگی را به صورت زیر مشخص کرده است (جدول ۳). شاخص زمین انباشت عناصر در خاک شهری شهرکرد مطابق جدول ۴ است.

جدول ۳: رده بندی خاک براساس شاخص زمین انباشت (Igeo)

میزان آلودگی	رده بندی	
غیرآلوده	رده صفر	Igeo ≤0
از غیرآلوده تا آلودگی متوسط	رده ۱	0<Ijeo≤1
آلودگی متوسط	رده ۲	1<Ijeo≤2
از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد	رده ۳	2<Ijeo≤3
آلودگی زیاد	رده ۴	3<Ijeo≤4
آلودگی زیاد تا آلودگی شدید	رده ۵	4<Ijeo≤5
آلودگی شدید	رده ۶	5<Ijeo≤6

جدول ٤: شاخص زمین انباشت (Igeo) عناصر در خاک شهری شهرکرد

شدت آلودگی	شاخص زمین انباشت (Igeo)	عنصر	شدت آلودگی	شاخص زمین انباشت (Igeo)	عنصر
غیرآلوده	-۰.۳۶	Pb(ppm)	آلودگی متوسط	۱.۲۹	As(ppm)
غیرآلوده	-۱.۶۶	Cu(ppm)	غیرآلوده	-۰.۷۷	Ni(ppm)
غیرآلوده	-۱.۱۴	V(ppm)	غیرآلوده	-۱.۴۹	Co(ppm)
غیرآلوده	-۰.۵۵	Zn(ppm)	غیرآلوده	-۱.۱۹	Cr(ppm)

متوسط میزان Igeo دارای روند نزولی Cu<Co<Cr<V<Ni<Zn<Pb<As بود به طوری که شاخص Igeo نیز نشان داد که بالاترین و پایین ترین میزان غنی شدگی خاک با فلزات مورد نظر مربوط به آرسنیک و مس است. نیکل، سرب، وانادیم و روی در تمام نقطه های بررسی شده منفی است که عدم آلودگی به این فلزات را نشان میدهد. مقدار شاخص زمین انباشت فلزات آرسنیک غیرآلوده تا آلودگی متوسط منطقه نسبت به فلزات بالا نشان داد. بنابراین براساس شاخص زمین انباشتگی خاک منطقه مورد مطالعه از نظر کیفیت زیست محیطی، در مجموع غیرآلوده است و صرفاً میزان اندکی آلودگی در ارتباط با آرسنیک دیده شده است.

ضریب غنی شدگی (EF)

در ضریب غنی شدگی غلظت فلز در نمونه با غلظت فلز در مرجع مقایسه می گردد. این ضریب در تحلیل های محیط زیستی به عنوان یکی از عوامل مهم ارزیابی ریسک آلودگی خاک به عناصر سنگین شناخته می شود و براساس معادله ۳ قابل محاسبه است(لوسکا و همکاران، ۲۰۰۸). تعیین فاکتور غنی شدگی سطح آلودگی فلزات در خاک را نشان می دهد و شاخص مفیدی برای جدا کردن منابع طبیعی و انسانی برای فلزات از یکدیگر می باشد (اقبال، ۲۰۱۱). محاسبه این ضریب، روشی مناسب جهت تعیین منشأ طبیعی و بشرزاد آلودگی است(ادامو، ۲۰۰۵).

$$EF = \frac{(\frac{C_X}{C_{ref}})_{sample}}{(\frac{C_X}{C_{ref}})_{Background}}$$ معادله ۲)

Cx غلظت عنصر در نمونه مورد بررسی

Cref غلظت عنصر مرجع

sample مقدار عنصر در نمونه ها

background غلظت عنصر در زمینه

برای عنصر مرجع از غلظت فلزاتی مانند آهن، آلومینیوم و اسکاندیم که در منطقه از نظر غلظت تغییرات زیادی ندارند استفاده می شود. در این مطالعه از آلومینیوم و به دلیل توزیع نسبتاً نرمال استفاده شد. میانگین Al به عنوان فلز مینا در پوسته زمین برابر با ۸۲۰۰۰ppm (یا ۸/۲ درصد) در نظر گرفته می شود. براساس میزان ضریب محاسبه شده، طبقه بندی ضریب غنی شدگی به ۵ کلاس آلودگی به شرح زیر تعیین شده است (جدول ۵).

جدول ۵- رده بندی خاک براساس ضریب غنی شدگی (EF)

سطح آلودگی	دامنه تغییرات EF
غنی شدگی کم	EF<2
غنی شدگی متوسط	2⩽EF<5
غنی شدگی قابل ملاحظه	5⩽EF<20
غنی شدگی بسیار بالا	20⩽EF<40
غنی شدگی بسیار شدید	EF⩾40

ضریب غنی شدگی برای نمونه های خاک منطقه محاسبه و مقادیر فاکتور غنی شدگی میانگین عناصر مورد بررسی (جدول۷) رسم شده است. مقادیر ضریب غنی شدگی برای آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیم و روی به ترتیب برابر با ۳/۲۹، ۰/۸۳، ۱/۰۱، ۰/۷۳، ۱/۱۵، ۱/۲۹، ۰/۶۷ و ۱/۳۸ است (جدول ۷). براساس طبقه بندی (چن و همکاران، ۲۰۱۷)؛ در خاک های منطقه، آرسنیک غنی شدگی متوسط و سایر عناصر مورد بررسی، غنی شدگی کم نشان می دهند. همچنین با توجه به این که مقادیر فاکتور غنی شدگی خاک های منطقه، کمتر از ۱۰ می باشند، طبیعی بودن (زمین زادی) منشأ این عناصر مورد تأیید قرار می گیرد (ری و همکاران، ۲۰۰۹). روند تغییرات فاکتور آلودگی در فلزات سنگین خاک های منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد.

V<Cu<Co<Cr<Ni<Pb<Zn<As

جدول ٦: ضریب غنی شدگی (EF) عناصر در خاک شهری شهرکرد

عنصر	شاخص غنی شدگی (EF)	شدت آلودگی	عنصر	شاخص غنی شدگی (EF)	شدت آلودگی
As(ppm)	۳.۲۹	غنی شدگی متوسط	Cu(ppm)	۰.۷۳	غنی شدگی کم
Ni(ppm)	۱.۱۵	غنی شدگی کم	Pb(ppm)	۱.۲۹	غنی شدگی کم
Co(ppm)	۰.۸۳	غنی شدگی کم	V(ppm)	۰.۶۷	غنی شدگی کم
Cr(ppm)	۱.۰۱	غنی شدگی کم	Zn(ppm)	۱.۳۸	غنی شدگی کم

درصد شاخص غنی شدگی (EF)

شاخص غنی شدگی (E_f) بر روی تمایز منشأء انسانی از منشأء طبیعی تمرکز دارد. اساساً هنگامی که میزان (E_f) افزایش می یابد، سهم منابع غیر پوسته ای هم افزایش می یابد. بنابراین، آلودگی خاک با استفاده از شاخص درصد فاکتور غنی شدگی ارزیابی می گردد (معادله ۳):

معادله ۳)

$$\%E_f = \frac{C - C_{min}}{C_{mau} - C_{min}} \times 100$$

C میانگین غلظت کل فلز در خاک

C_{min} حداقل غلظت

C_{max} حداکثر غلظت فلز در خاک است (جدول ۷) (زونتا و لوسکا، ۲۰۰۳).

جدول ۷: درصد شاخص غنی شدگی (E_f) عناصر در خاک شهری شهرکرد

عنصر	درصد شاخص غنی شدگی (Ef)	عنصر	درصد شاخص غنی شدگی (Ef)
As(ppm)	۳۰.۲	Pb(ppm)	۳۲.۴
Ni(ppm)	۵۸.۲	Cu(ppm)	۲۵.۳
Co(ppm)	۵۰.۹	V(ppm)	۵۰.۳
Cr(ppm)	۵۸.۳	Zn(ppm)	۱۴.۲

شاخص آلودگی (PI)

این شاخص در سال ۱۹۸۰ توسط هاکنسون معرفی شد و در آن میانگین غلظت عنصر اندازه گیری شده با میزان همان عنصر در مرجع منطقه مقایسه می شود و براساس معادله ۴ محاسبه می شود(هاکانسون، ۱۹۸۰).

معادله ۴)

$$PI_i = \frac{C_i}{B_i}$$

C_i غلظت آلاینده iام

B_i غلظت پایه ناشی از سنگ مادری (Base Line Concentration) آلاینده

PI شاخص آلودگی مربوط به آلاینده iام.

براساس میزان شاخص PI، ۴ کلاس آلودگی به صورت زیر مشخص می گردد (جدول ۸).

جدول ۸: رده بندی خاک براساس شاخص آلودگی

شدت آلودگی	دامنه تغییرات PI
آلودگی کم	PI<1
آلودگی متوسط	1⩽PI<3
آلودگی زیاد	3⩽PI<6
آلودگی خیلی زیاد	PI⩾6

براساس میانگین شاخص PI محاسبه شده، سطح آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه برای ۸ فلز مورد بررسی در کلاس آلودگی کم تا آلودگی متوسط قرار گرفت. ضمن اینکه از ۶۱ نمونه خاک مورد بررسی، شاخص PI آرسنیک در ۴ نمونه (۶/۵ درصد) و در ۳ نمونه (۴/۹) درصد در کلاس آلودگی متوسط قرار داشت. ضمن اینکه آرسنیک با PI برابر ۲/۰۹ و کبالت با PI برابر ۰/۴۴ به ترتیب بیشینه و کمینه میانگین شاخص PI را داشتند و ترتیب عناصر مورد بررسی از نظر میانگین شاخص PI نیز به صورت آرسنیک >روی >سرب>نیکل>وانادیم>کروم>مس>کبالت بود. (جدول ۹)

جدول ۹: شاخص آلودگی (PI) عناصر در خاک شهری شهرکرد

شدت آلودگی	شاخص آلودگی (PI)	عنصر	شدت آلودگی	شاخص آلودگی (PI)	عنصر
آلودگی کم	۰.۴۷	Cu(ppm)	آلودگی متوسط	۲.۰۹	As(ppm)
آلودگی کم	۰.۸۴	Pb(ppm)	آلودگی کم	۰.۷۸	Ni(ppm)
آلودگی کم	۰.۶۸	V(ppm)	آلودگی کم	۰.۴۴	Co(ppm)
آلودگی کم	۰.۹۱	Zn(ppm)	آلودگی کم	۰.۶۶	Cr(ppm)

بررسی مقادیر فلزات سنگین در خاک شهر شهرکرد

اولین هدف در نقشه‌برداری ژئوشیمی شهری، شناسایی محدوده‌ها و کانون‌های خطر آلودگی و مستندکردن تغییرات محلی برای همه متغیرهاست. بهترین تکنیک تهیه نقشه، استفاده از نقشه‌هایی است که غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده در آنها تنها با یک سمبل نشان داده شده و تغییرات غلظت با افزایش اندازه سمبل نمایش داده شود (گوستاوسون و همکاران، ۱۹۸۷). تهیه نقشه‌های رنگی بهترین نقشه برای نمایش پراکنش عناصر در محدوده‌های شهری است. استفاده هم‌زمان از نقشه‌های نقطه‌ای و رنگی در کنار هم به فرآیند تفسیر داده‌ها کمک می‌نماید (شکل ۶).

با توجه به نقشه‌های ترسیم شده توزیع مکانی غلظت عناصر در خاک شهرکرد نشان می‌دهد که بیشتر آلودگی‌ها در محیط شهری بیشتر از مناطق کشاورزی می‌باشد. در ادامه به بررسی نحوه توزیع عناصر سنگین سرب (Pb)، کروم (Cr)، آرسنیک (As)، روی (Zn)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، کبالت (Co) و وانادیوم (V)، در خاک سطحی شهرکرد می‌پردازیم:

میانگین آرسنیک برای خاک سطحی شهرکرد برابر ۴/۳۹ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت آرسنیک در خاک سطحی منطقه ۱۰/۶۰ mg/kgو حداقل ۱/۷۰ mg/kg است. با توجه به مقدار استاندارد این عنصر در خاک شهری (۱۱ mg/kg) تمامی نمونه‌های خاک شهرکرد پایین‌تر از حد استاندارد قرار دارند که با توجه

به واحدهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی آلودگی از این عنصر در شهرکرد مشاهده نشد. همچنین عنصر آرسنیک در شهرکرد نسبت به شهرهای ایران و جهان مقادیر کمتری دارد. میانگین کبالت برای خاک سطحی شهری شهرکرد برابر ۱۳/۳۴ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت کبالت در خاک سطحی منطقه ۱۸/۳۰ mg/kg و حداقل ۸/۲۰ mg/kg است. با توجه به حد آلودگی اعلام شده توسط استاندارد خاک شهری در کانادا (۵۰ mg/kg)، حدود (۶۵/۵ درصد) نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد می‌باشند. اما نسبت به استاندارد ایران در حد مجاز می‌باشد. میانگین کروم برای خاک سطحی شهرکرد برابر ۹۱/۸۲ mg/kg می‌باشد. در بررسی صورت گرفته بیشترین غلظت کروم در خاک سطحی منطقه ۱۳۱ mg/kg و حداقل ۳۷ mg/kg است. با در نظرگرفتن مقدار استاندارد کانادا این عنصر در نمونه‌های خاک شهری (۱۶۰ mg/kg) در حد مطلوب قرار دارند در صورتی که با مقایسه با استاندارد خاک ایران (۱۱۰ mg/kg) حدود ۱۳ درصد نمونه‌ها بالاتر از استاندارد می‌باشد. بیش‌ترین آلودگی عنصر کروم در محیط شهری دیده شده است که احتمالا نشان‌دهنده فعالیت‌های انسانی می‌باشد. همچنین عنصر کروم در مقایسه با شهر کرج و دنیا به جز تورینو ایتالیا و شانگهای چین بالاتر می‌باشد (جدول ۶). میانگین مس برای خاک سطحی شهری شهرکرد برابر ۳۲/۱۸ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت مس در خاک سطحی منطقه ۸۶ mg/kg و حداقل ۱۴ mg/kg است. حد آلودگی مس طبق استاندارد خاک شهری کانادا ۹۱ mg/kg در نظر گرفته شده که با توجه به غلطت مس در خاک سطحی شهرکرد در حد استاندارد می‌باشد (جدول ۶).

میانگین نیکل برای خاک سطحی شهری شهرکرد برابر ۷۰/۵۷ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت نیکل در خاک سطحی منطقه ۹۹ mg/kg و حداقل ۳۱ mg/kg است. با توجه به حد آلودگی اعلام شده توسط استاندارد خاک شهری در کانادا (۱۰۰ mg/kg) و نسبت به استاندارد ایران در حد مجاز می‌باشد. همچنین عنصر نیکل در مقایسه با شهرهای ایران و دنیا به جز تورینو ایتالیا بالاتر می‌باشد. میانگین سرب برای خاک سطحی در کاربری‌های مختلف شهرکرد برابر ۱۱/۷۴ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت سرب در خاک سطحی منطقه ۳۴ mg/kg و حداقل ۱ mg/kg است. مقدار حد غلظت بحرانی برای سرب طبق استاندارد خاک شهری برابر ۸۰ mg/kg می‌باشد. میانگین جهانی سرب در خاک (۲۷ mg/kg) و میانگین غلظت سرب در پوسته زمین (۱۵ mg/kg) است (لیندزی، ۱۹۷۹؛ سالمینن و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به استاندارد و میانگین خاک جهانی و میانگین پوسته زمین تمام نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در حد مجاز می‌باشد. به طور کلی می‌توان منطقه مورد مطالعه را از نظر آلودگی به سرب محدوده استاندارد اعلام کرد. میانگین وانادیوم برای خاک سطحی شهری شهرکرد برابر ۸۱/۶۴ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت ولنادیوم در خاک سطحی منطقه ۱۰۴ mg/kg و حداقل ۵۹ mg/kg است. با توجه به حد آلودگی اعلام شده توسط استاندارد خاک شهری در کانادا (۸۶ mg/kg)، حدود (۶۵/۵ درصد) بالاتر از حد استاندارد می‌باشند. اما نسبت به استاندارد ایران در حد مجاز می‌باشد.

میانگین روی برای خاک سطحی شهری شهرکرد برابر ۷۱/۵۱ mg/kg می‌باشد. بیش‌ترین مقدار غلظت روی در خاک سطحی منطقه ۳۵۹ mg/kg و حداقل ۲۴ mg/kg است. بالاترین میزان روی اندازه‌گیری شده در منطقه ۳۵۹ mg/kg در نمونه SH-S-38 در منطقه شهرک صنعتی شهرکرد قرار دارد. با توجه به استاندارد کانادا و ایران غلظت روی در خاک های سطحی شهرکرد در حد استاندارد می‌باشد. تمرکز عنصر روی در بخش سطحی نمونه SH-S-38، احتمالا تحت تاثیر فعالیت‌های صنعتی می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۱۰- میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در منطقه مورد مطالعه و مقادیر استاندارد کیفیت خاک ایران و برخی نقاط جهان

موقعیت	Co	Cr	Ni	As	Cu	Pb	Zn	V	Refrence
استاندارد خاک کانادا	50	160	100	18	140	120	340	86	Ontario 2020
استاندارد خاک ایران	40	110	155	40	400	80	500	100	Doe 2014
توتینو، ایتالیا		303	277	*	107	277	235	*	Biasioli et al. 2006
سویلا، اسپانیا		32	31	*	55	223	157	*	Biasioli et al. 2006
پالرمو، ایتالیا		*	22.15	*	82.27	306.3	164.3	*	Manta el al. 2002
بالتیمور، امریکا		*	27	*	45	231	141	*	Pouyat et al. 2007
برلین، آلمان		28.7	8.1	4.4	53.7	85.8	166	*	Brike and Rauch 1994
شانگهای، چین		107.9	31.14	*	59.25	70.69	301.4	*	Shi et al. 2008
کرج، ایران		58.8	29.7	17.4	38.1	76.9	56.6	*	Falah et al. 2019
زاهدان، ایران		*	51.1	*	*	27.37	184.3	*	Kamani et al. 2017
بجنورد، ایران		*	*	*	40.54	9.1	148.06	*	Solgi et al. 2015
شهرکرد، ایران	13.34	91.82	70.57	4.39	32.18	11.74	71.51	81.64	This study

نتیجه‌گیری

منطقه مورد مطالعه در محدوده زون سنندج–سیرجان و بر روی گسل زاگرس قرار گرفته است و بیش‌ترین رخنمون منطقه مربوط به تشکیلات آهکی دوره مزوزوئیک (آهک‌های کرتاسه) است. در این مقاله با توجه اهمیت سلامت خاک از دیدگاه زیست محیطی، حضور و پراکنش این عناصر در خاک منطقه مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه بررسی تعیین میزان و نحوه توزیع عناصر سنگین براساس نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر و همبستگی بین آنها در محیط خاک بود که با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت. میانگین غلظت کل عناصر سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه برای عنصر آرسنیک (۴/۳۹)، کروم (۹۱/۸۲)، کبالت (۱۳/۳۴)، مس (۳۲/۱۸)، نیکل (۷۰/۵۷)، سرب (۱۱/۷۴)، وانادیوم (۸۱/۶۴) و روی (۷۱/۵۱) به دست آمد. با بررسی‌های صورت گرفته و مقایسه غلظت عناصر در منطقه مورد مطالعه با استاندارد کانادا و ایران مشخص شد که عناصر آرسنیک، مس، نیکل، کروم، وانادیوم، سرب و روی در حد استاندارد ولی عنصر کبالت در مقایسه با استاندارد کانادا حدود ۶۵ درصد نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد هستند که این نشان‌دهنده منشأ انسان‌زاد دارد. همچنین بر اساس شاخص زمین انباشتگی خاک منطقه مورد مطالعه از نظر کیفیت زیست محیطی، در مجموع غیر آلوده است و صرفاً میزان اندکی آلودگی در ارتباط با آرسنیک دیده شده است. براساس طبقه بندی در خاک های منطقه، آرسنیک غنی شدگی متوسط و سایر عناصر مورد بررسی، غنی شدگی کم نشان می دهند. همچنین با توجه به این که مقادیر فاکتور غنی شدگی خاک های منطقه کمتر از ۱۰ می باشند، طبیعی بودن (زمین زادی) منشأ این عناصر مورد تأیید قرار می گیرد . همچنین براساس میانگین شاخص PI محاسبه شده، سطح آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه برای ۸ فلز مورد بررسی در کلاس آلودگی کم تا آلودگی متوسط قرار گرفت.

با توجه به نتایج حاصل از شاخص های ژئوشیمیایی و فاکتور غنی شدگی بیشترین غلظت مربوط به حضور این عناصر منشأ طبیعی و تا حدودی منشأ انسانی داشته است. عنصر آرسنیک به طور گسترده ای در مقادیر

بسیار کم در سنگ ها و خاک ها، آب های طبیعی و جانداران توزیع شده است. با توجه به نتایج حاصل از فاکتور غنی شدگی و شاخص های استفاده شده؛ منشأ طبیعی این عنصر در خاک منطقه مورد مطالعه، هوازدگی وفعالیت های میکروبی است. منشأ افزایش روی در خاک سطحی، فعالیت های صنعتی و فاضلاب شهری روستایی می باشد. به نظر می رسد عامل اصلی غلظت طبیعی این عنصر در خاک، مواد مادری و فعالیت کشاورزی می باشد. نتایج حاصل از تجزیه نمونه های ژئوشیمیایی، نه تنها امکان آلودگی روی در هیچ کدام از مناطقی که مورد نمونه برداری قرار گرفت، وجود ندارد، بلکه پیشنهاد می شود به خاک مناطق کشاورزی و دامپروری این منطقه کودهای دارای روی اضافه شود تا موجب بازدهی و رشد بسیار مناسب محصولات کشاورزی و گیاهان شود. عامل اصلی بالا بودن غلظت عنصر مس در منطقه، مصرف کودهای شیمیایی، سموم و آفت کش ها است. همچنین منشأ افزایش زمین زادی این عنصر سنگ بستر منطقه مورد مطالعه است. آلودگی انسانی خاک منطقه به عنصر کروم به دلیل فعالیت های صنعتی و غلظت طبیعی این عنصر در خاک، مواد مادری بوده است. از آنجا که نیکل با ضریب تشابه بسیار معنادار و مثبتی به عنصر کروم متصل شده است پس منشأ نیکل و کروم مشترک است. به طور کلی عامل اصلی در افزایش غلظت سرب در بخش هایی از منطقه مورد مطالعه زمین شناسی می باشد اما مصرف بالای کود در کشاورزی نیز در تجمع بیشتر این فلز در خاک بی تأثیر نبوده است.غلظت بالای کبالت به دلیل استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی و حیوانی و فعالیت های صنعتی و معدنی است. همچنین غلظت طبیعی این عنصر به علت سنگ بسترهای منطقه مورد مطالعه است. وانادیوم منشأ نفتی دارد اما با توجه به نفتی نبودن منطقه مورد مطالعه و ضریب تشابه بالای وانادیوم و کبالت منشأ این عناصر فعالیت های کشاورزی و صنعتی می باشد.

نتایج حاصل از همبستگی بین عناصر نشان داد؛ در خاک سطحی بیشترین همبستگی بین عناصر وانادیوم و کبالت با سطح همبستگی ۰/۹۲۲ درصد می‌باشد. عناصر وانادیوم، کبالت و نیکل نیز به ترتیب همبستگی بالائی دارند که نشان‌دهنده منشأ مشترک و رفتار مشابه این عناصر در محیط شهری است. ضعیف‌ترین همبستگی مربوط به عنصر آرسنیک، روی و سرب است که همبستگی ضعیفی با دیگر عناصر نشان می‌دهند. خاک شهرستان شهرکرد در مقایسه با خاک برخی شهرهای جهان به طور کلی تمرکز غلظت عناصر کروم، نیکل و وانادیوم بیش‌تری دارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از زحمات آقای مهندس حسن دیداری عباس‌آباد قدردانی می‌نمایند.

منابع

استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن.(۱۳۹۱). معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب و خاک. ۱۶۰ ص.
نقشه زمین شناسی شهرکرد در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسین نیایی، ص.، جعفری، م.، طویلی، ع.، زارع، س.(۱۴۰۰). ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست محیطی برخی از فلزات سنگین خاک اطراف معدن سرب و روی در شمال غرب ایران، مجله سلامت و محیط زیست، دوره چهاردهم، ش ۱، صفحات ۱۵۹ تا ۱۷۲.

موسویان، م.، کرباسی، ع.، سبزعلیپور،س . امیرنژاد، ر.، دانشیان، ج. (۱۴۰۱). تعیین شدت آلودگی و استاندارد منطقه ای تالاب هورالعظیم با بررسی سه شاخص ژئوشیمیایی مولر، پل و فاکتور تجمع، مجله علوم وتکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، ش۸، صفحات ۴۸-۲۶.

Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., and Stanzione, D., (2005) Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naplescity Por. Chemosphere, 61,800-809.

Biasioli, R., Barberis, R. and F.A., Marson., (2006) The influence of a large city on some soil properties and metal content. The Science of the Total Environment, 356,154-164.

Birke, M., and U., Rauch., (1997) Geochemical investigations in the Berlin metropolitan area. Z. Angew. Geol, 43,58-65.

Boruvka, L., Vacek, O., and J., Jehlicka., (2005) Principal component analysis as a tool to indicative the origin of potentially toxic elements in soils. Geoderma, 128,289-300.

Diop, Ch., Dewaelé, D., Cazier, F., Diouf, A., Ouddane, B., (2015) Assessment of trace metals contamination level, bioavailability and toxicity in sediments from Dakar coast and Saint Louis estuary in Senegal, West Africa. Chemosphere, 138, 980-987.

Dolezalova Weissmannova, H., Pavlovsky, J. Chovanec, P., (2015) Heavy metal contaminations of urban soils in Ostrava, Czech Republic: assessment of metal pollution and using principal component analysis. Int J Environ Res, 9(2),683-696.

Fallah, A., Modabberi. S., Sayyareh, A.R., Tabakh shabani, A., (2019) Assessment of heavy metal pollution in urban soil in Karaj. Scientific Quarterly Journal, Geosciences, 29(114), 231-240.

Gustavsson, N., Lampio, E., and T., Tarvainen., (1987) Visualization of geochemical data on maps at the Geological Survey of Finland. Journal of Geochemical Exploration, 59, 97-207.

Hakanson, L., (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control, A sedimentological approach. Water Research, 14(8),975-1001.

Iqbal, J., and Shah, M.H., (2011) Distribution, correlation and risk assessment of selected metals in urban soils from IslamAbad, Pakistan. J. Hazard. Mater, 192,887- 898.

Johnson, C.C. Demetriades. A., (2011) Urban geochemical mapping: A review of case studies in thisvolume. Chapter 2 In: Johnson, C.C., Demetriades, A., Locutura, J. and Ottesen, R.T. (Editors), Mapping the chemical environment of urban areas. Wiley-Blackwell. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, U.K., 7-27.

Kamani, H., Hoseini, M., Safari, G.S., Jaafari, J., Ashrafi, S.D., Mahvi. A.H., (2017) Concentrations of Heavy Metals in surface soil of Zahedan City. Journal of Haelth and Hygiene, 8 (2),182-190.

Lindsay, W.L., (1979) Chemical equilibrium in soils. In: Principles and applications of geochemistry: a comprehensive textbook. John Wiley & Sons, New York.

Loska, K., Wiechuła, D., Pelczar, J., (2005) Application of enrichment factor to assessment of zinc enrichment/ depletion in farming soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(9-10),1117-28.

Manta, D.S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., and M., Sprovieria., (2002) Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. Science of the Total Environment, 300, 229-243.

Moghtaderi, T., Mahmoud, Sh., Shaker, A. Masihabadi, M.H., (2013) Contamination evaluation, health and Ecological Risk Index Assessment of Potential Toxic Elements in the Surface Soils (case study: Central Part of BandarAbbas County). Journal of Soil and Water Resources Protection, 8(4),51-65.

Muller, G., (1969) Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal, 2(3),108-18.

Nazarpour, A., Ghanavati, N. Babaenejad, T., (2017) Evaluation of the level of Pollution and Potential Ecological Risk of Some Heavy Metals in Surface Soils in the Ahvaz Oil-Field. Iran. J. Health & Environ, 10(3),391-400.

Pouyat, R.V., Yesilonis, I.D., Russell-Anelli, J. and N.K., Neerchal., (2007) Soil chemical and physical properties that differentiate urban landuse and cover type. Soil Science Society of America Journal, 71,1010-1019.

Queen's Printer for Ontario., (2020) Rules for Soil Management and Excess Soil Quality Standards, Ontario Ministry of Environment, Conservation and Parks.

Rahman, S., Khanam, D., Adyel, T., Islam, M.Sh., Mohammad Ahsan, A., Akbor, M. A., (2012) Assessment of Heavy Metal Contamination of Agricultural Soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: Implication of Seasonal Variation and Indices. Appl. Sci, 2(3), 584-601.

Rahman, M.S., Hossain, M.B., Babu, S.O.F.,Rahman, M., Ahmed, AS., Jolly, Y., (2019) Source of Metal Contamination in Sediment, their Ecological Risk, and Phytoremediation ability of the Studied Mangrove Plants in Ship Breaking area, Bangladesh. Marine Pollution Bulletin, 141,137-46.

Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Regorauskiene,V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazrek, U. A., Connor, P.J., Olsson, S.A., Ottesen, R.T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandstrom, H., Siewers, U., Steenfelt, A. and T., Tarvainen., (2005) Geochemical Atlas of Europe, part 1-background information, methodology and maps. Geochemical atlas of Europe, Geological Survey of Finland.

Sidhu, G.P.S., (2016) Heavy metal toxicity in soils: Sources, remediation technologies and challenges. Adv. Plants Agric. Res. 5, 00166.

Shayestehfar, M.R., Rasa. I., (2006) Multivariate data analysis of Qanat Marvan lead-zinc deposit, Kerman. Scientific Research Quarterly Journal of Geoscience, 57,134-145.

Shi, S., Chen, Z., Xu, S., Zhang, J., Wang, L., Bi, C. and J., Teng., (2008) Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China. Environmental Pollution, 156(2008),251-260.

Solgi, E., Keramaty. M., (2015) Assessment of Health Risks of Urban Soils Contaminated by Heavy Metals (Bojnourd City). Journal of North Khorasan University of Medical sciences, 7(4),813-827.

United Nations., (2012) World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. U.N. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York,

Wilding, L.P., (1985) Spatial variability: its documentation accommodation and implication to soil -surveys. In: Nielsen D. R. and Bouma J. Soil Spatial Variability. Wageningen, Netherlands, 166-194

Wuana, R.A. Okieimen, F.E., (2011) Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation, Isrn Ecology.

Zhuo, H., Wang, X., Liu, H., Fu, S., Song, H. Ren, L., (2020) Source analysis and risk assessment of heavy metals in development zones: a case study in Rizhao, China. Environmental Geochemistry and Health, 42(1),135-146.