



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

مقاله پژوهشی

آلودگی و منشأیابی عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در خاک سطحی شهرستان خرم‌آباد، ایران

معصومه سلاح‌ورزی^۱، سهیل سبحان اردکانی^{۲*}، امیرهومن حمصی^۳، لعبت تقوی^۱، جمال قدوسی^۱

- ۱- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
- ۳- گروه مهندسی صنعت و انرژی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی و انباشت فلزات سنگین در خاک مهمترین چالش و نگرانی مشترک محیط‌زیستی، اقتصادی و بهداشتی عمومی در سراسر جهان است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی و منشأیابی عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در خاک سطحی شهرستان خرم‌آباد در سال ۱۳۹۹ انجام یافت.

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی، پس از تفکیک منطقه مورد مطالعه به ۱۱ واحد کاری همگن، در مجموع ۶۵ نمونه خاک سطحی به روش منظم-تصادفی از عمق ۰-۲۰ cm برداشت شد. پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها در آزمایشگاه، مقادیر عناصر در آنها توسط روش طیف‌سنجی نوری پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-OES) خوانده شد. همچنین، مقادیر شاخص‌های غنی‌شدگی (EF)، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) محاسبه شدند. پردازش آماری نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام یافت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در نمونه‌های خاک به ترتیب برابر با ۳/۱۴، ۱/۱۳، ۰/۰۲۱ و ۰/۵۲۹ (mg/kg) بوده است. نتایج محاسبه شاخص EF نشان داد که غنی‌شدگی عناصر روی، کادمیم و کروم "بی‌نهایت شدید" و میانگین مقادیر EF برای عناصر از ترتیب نزولی کادمیم < کروم < روی تبعیت کرده است. میانگین مقادیر شاخص‌های CF و NIPI نیز به ترتیب در دامنه $10^{-3} \times 3/30$ تا ۰/۱۸۲ و ۰/۱۳۶-۰/۰۴۳ متغیر و بیانگر سطح "آلودگی کم" و شرایط کیفی "بدون آلودگی" در همه مکان‌های مورد مطالعه بود. براساس نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری چند متغیره (PCA، PCC و HCA) عنصر آهن منشأ زمین‌شناسی داشت؛ در حالی که مشخص شد منشأ انتشار عناصر روی، کادمیم و کروم عمدتاً با فرآیندهای زمین‌زایی و فعالیت‌های انسانی (کشاورزی و شهری) مرتبط بوده است.

نتیجه‌گیری: هرچند میانگین مقادیر شاخص‌های CF و NIPI نشان داد که در حال حاضر کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه قابل قبول است، ولی، نتایج محاسبه شاخص EF در نمونه‌های خاک بیانگر تأثیر منابع انسانی (به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی و شهری) بر مقادیر عناصر روی، کادمیم و کروم بود. از این‌رو، پایش منظم و دوره‌ای نمونه‌های خاک و همچنین مدیریت و کنترل منابع انتشار آلاینده‌ها به‌منظور حفظ سلامت محیط و انسان توصیه می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

واژگان کلیدی: خاک سطحی، فلزات سنگین، خرم‌آباد، کاربری اراضی، فرآیندهای زمین‌زایی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

s_sobhan@iauh.ac.ir

Please cite this article as: Selahvarzi M, Sobhanardakani S, Hemmasi AH, Taghavi L, Ghoddousi J. Contamination and source apportionment of iron, zinc, cadmium and chromium elements in surface soil of Khorramabad county, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;15(4):651-70.

مقدمه

آلاینده‌های فلزی که از منابع طبیعی و انسانی وارد محیط می‌شوند، به سبب ماندگاری طولانی در محیط، غیرقابل تجزیه زیستی بودن، تجمع و انباشت زیستی و اثرات سمیت حاد و مزمن، چالش و نگرانی مهم و مشترک محیط‌زیستی، اقتصادی و بهداشت عمومی در سراسر جهان به شمار می‌آید (۱، ۲). در این میان، آهن و روی به سبب توزیع گسترده در طبیعت و کادمیم و کروم به دلیل سمیت، به لحاظ بوم‌شناختی و زیستی حائز اهمیت ویژه‌ای هستند (۳). اگرچه، آهن، روی و کروم به عنوان عناصر ضروری شناخته می‌شوند، اما قرار گرفتن در معرض غلظت‌های بیشتر از حد مجاز آنها می‌تواند خطر ابتلا به دیابت و بیماری‌های قلبی-عروقی را افزایش دهد (۴، ۵). کادمیم نیز به عنوان عنصر غیر ضروری، نوروکسین قدرتمندی است که قرار گرفتن انسان در معرض آن، حتی در مقادیر بسیار کم، می‌تواند منجر به ابتلا به آلزایمر، ناهنجاری‌های کروموزومی، سرطان، آسیب و اختلال عملکرد طحال و کبد شود (۶).

در عصر حاضر، آلودگی زیست‌بوم شهری به فلزات سنگین به دنبال توسعه شهرها و فعالیت‌های صنعتی و گسترش ناوگان حمل و نقل، روند رو به رشدی را طی کرده و به معضل اساسی بهداشتی شهروندان در کلان‌شهرها تبدیل شده است. در این خصوص، آلودگی خاک به عناصر فلزی، به سبب پویایی کمتر و دوام و بقای طولانی‌تر عناصر در قیاس با هوا و آب، از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و به سبب نقش مهم خاک در ثبات اجتماعی، بوم‌شناختی و اقتصادی، به یک مانع مهم برای توسعه منطقه‌ای تبدیل شده است (۷، ۸). از طرفی، افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک نه تنها می‌تواند کیفیت خاک را کاهش دهند، بلکه می‌تواند به آلودگی هوا (از طریق تعلیق مجدد ذرات خاک)، آب (از طریق باران یا رواناب سطحی به ویژه در فصل بارندگی) و افزایش جذب فلزات توسط گیاهان منجر شده و به طور بالقوه تهدیدی مضر و غیرمستقیم برای حیوانات و انسان از طریق زنجیر غذایی محسوب شوند (۹). به علاوه، عناصر موجود در خاک سطحی می‌تواند از طریق بلع

مستقیم خاک، استنشاق ذرات خاک (از طریق بینی و دهان) و تماس پوستی سلامت انسان را تهدید کنند (۱۰، ۱۱). از این رو، ارزیابی و تعیین خطرات مرتبط با عناصر فلزی در خاک برای حفظ سلامت بوم‌سازگان و زیست‌مندان در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۱۲-۱۸). از سوی دیگر، برای درک، تجزیه و تحلیل، کنترل و مدیریت آلودگی ناشی از فلزات سنگین، شناسایی منابع عناصر فلزی در خاک ضروری است (۱).

علی‌رغم آنکه تاکنون در رابطه با ارزیابی آلودگی و شناسایی منشأ فلزات سنگین در خاک سطحی مطالعات مختلفی از جمله ارزیابی خطر سلامت انسان و شناسایی منشأ فلزات سنگین در خاک‌های شهری ایروان در ارمنستان (۱۹)، تاثیر مواد مادری بر توزیع عناصر بالقوه سمی در خاک دلتای رودخانه مروارید در جنوب چین (۲۰)، توزیع زمین‌شیمیایی برخی فلزات سنگین در خاک کشاورزی و اثرات محیط‌زیستی آنها در کرکوک عراق (۲۱)، توزیع مکانی و شناسایی منبع فلزات سنگین در خاک جنگل‌های راش کوهستانی اروپا (۲۲)، بررسی آلودگی برخی عناصر خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی (۲۳)، رابطه بین الگوی توزیع فلزات سنگین خاک با کاربری اراضی در دشت یزد- اردکان (۲۴)، بررسی آلودگی فلزات سنگین و منشأ آنها در شرق شهرستان ازنا واقع در استان لرستان (۲۵) و بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های شهرستان فریدون‌شهر در استان اصفهان (۲۶) انجام یافته است، اما مطالعه مشابه‌ای در این خصوص در شهرستان خرم‌آباد انجام نشده است. افزون بر این، نظر به نگرانی‌ها و مخاطرات محیط‌زیستی و بهداشتی مربوط به آلاینده‌های فلزی در خاک و اهمیت و ضرورت ارزیابی آلودگی و منشأیابی فلزات سنگین از یک سو، و از طرفی، توسعه فزاینده شهری، کشاورزی، زیرساخت‌ها و شبکه حمل و نقل جاده‌ای و افزایش حجم ترافیک در شهرستان خرم‌آباد، این پژوهش برای اولین بار و با هدف بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف بر آلودگی خاک سطحی جمع‌آوری شده از شهرستان خرم‌آباد با فلزات سنگین،

تقسیم‌بندی جامعه هدف به شبکه‌هایی با ابعاد یکسان و با نقطه شروع تصادفی، نقاط نمونه‌برداری با پراکندگی یکنواخت در سطح منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. بر این اساس، در پژوهش حاضر، به‌منظور کاهش عوامل مداخله‌گر احتمالی و ایجاد شرایط یکنواخت محیطی، پس از بررسی‌های میدانی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی، در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی و زمانی و از طرفی، براساس ویژگی‌های محیط‌زیستی، محدوده مطالعاتی به ۱۱ واحد همگن تفکیک و هر یک از آنها به‌عنوان یک واحد کاری در نظر گرفته شدند. نقشه واحدهای کاری همگن با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.6 تهیه شدند و ویژگی آنها در جدول ۱ آورده شده است. در داخل هر واحد کاری همگن، شبکه نمونه‌برداری ۵×۵ km به‌صورت منظم انتخاب شد. همچنین، براساس بررسی‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی، فاصله شبکه‌ها در مناطقی با شدت زیاد استفاده از زمین ۲/۵×۲/۵ km و در مناطق دشوارگذر ۱۰×۱۰ km در نظر گرفته شدند. سپس، در ۹ واحد کاری از مجموع ۱۱ واحد همگن، در مجموع ۴۵ نقطه و در دو واحد کاری باقیمانده با وسعت زیاد نیز در مجموع ۲۰ نقطه در محل تلاقی شبکه‌ها به‌عنوان مکان نمونه‌برداری (در مجموع ۶۵ مکان نمونه‌برداری) انتخاب شدند. موقعیت استقرار نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است. درنهایت، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب مکانی (Global Positioning System) به هر مکان نمونه‌برداری مراجعه و نمونه‌های خاک سطحی از عمق ۰-۲۰ cm براساس روش استاندارد با استفاده از بیلچه پلاستیکی به‌صورت ترکیبی از مرکز و رئوس پلات مربعی به ضلع ۱۰ m (محل تلاقی شبکه‌ها به‌عنوان مرکز پلات) برداشت و پس از مخلوط کردن و همگن‌سازی آنها، از هر مکان نمونه‌برداری، یک نمونه ترکیبی به وزن ۱ kg و در مجموع ۶۵ نمونه خاک سطحی در کیسه‌های پلی اتیلنی زیپ‌دار ذخیره و پس از برچسب‌گذاری، برای پردازش‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند (۱۲-۱۸).

ارزیابی آلودگی خاک به عناصر فلزی با استفاده از شاخص‌های غنی‌شدگی (EF)، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) و منشأیابی عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در نمونه‌های خاک سطحی در سال ۱۳۹۹ انجام شد.

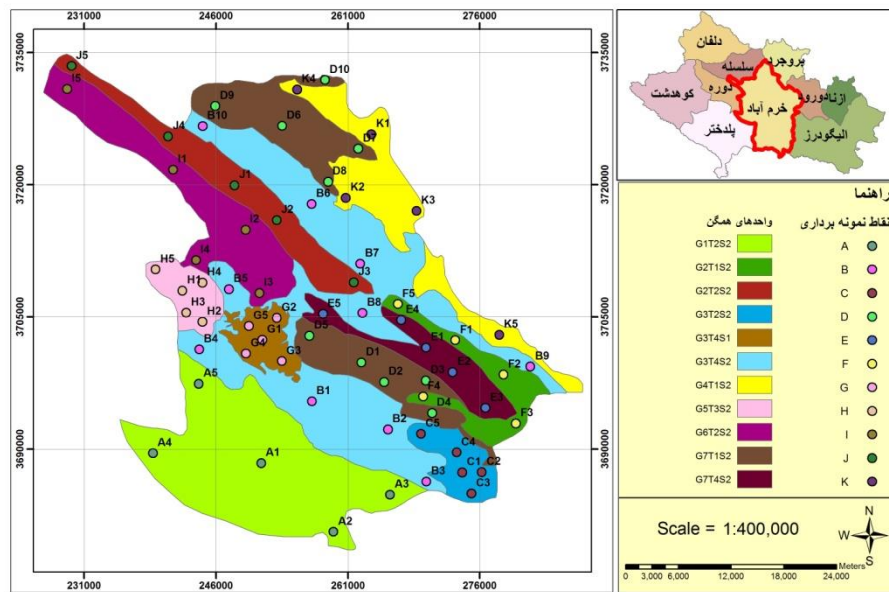
مواد و روش‌ها

– معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان خرم‌آباد با ارتفاع حدود ۱۱۴۸ m از سطح دریا بین مدارهای ۴۸° ۳۳' تا ۳۳° ۳۰' عرض جغرافیایی شمالی و بین مدارهای ۴۸° ۱۱' تا ۴۸° ۲۸' طول جغرافیایی شرقی در غرب ایران واقع شده است. مرکز این شهرستان یعنی شهر خرم‌آباد نیز بیشتر از ۳۷۳۴۰۰ نفر جمعیت ساکن دارد و میانگین بارندگی آن ۴۹۹ mm برآورد شده است (۲۷). از لحاظ زمین ریخت‌شناسی شهرستان خرم‌آباد در زون رسوبی زاگرس قرار دارد، به‌طوری‌که کوه‌های شرق و شمال‌شرقی این شهرستان بخشی از زاگرس مرتفع هستند و دیگر نواحی این شهرستان در زون زاگرس چین‌خورده قرار دارند. زون زاگرس مرتفع شامل سازندهای رسوبی مزوزوئیک و واحد آندزیتی چغلوندی و زون زاگرس چین‌خورده شامل رخنمونی از سازندهای مزوزوئیک و سنوزوئیک است. تشکیلات زمین‌شناسی غالب در منطقه شامل رسوبات آبرفتی مربوط به دوره زمین‌شناسی کواترنری و سازندهای شیلی، کنگلومرای، تبخیری، کربناته و رسوبات کواترنری با جنس شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک و مارن است (۲۸).

– نمونه‌برداری از خاک

در این پژوهش توصیفی، به‌منظور نمونه‌برداری از خاک ابتدا جامعه هدف به واحدهایی همگن با ویژگی‌های مشابه تقسیم و نمونه‌برداری در داخل هر یک از واحدهای همگن براساس تعداد نمونه محاسبه شده و به‌روش منظم-تصادفی انجام شد (۲۳). نمونه‌برداری کامل از تمام واحدهای همگن و پراکنش کاملاً متناسب و یکنواخت نمونه‌ها در سطح جامعه هدف از مزایای روش منظم-تصادفی است. بدین صورت که پس از



شکل ۱- نقشه واحدهای کاری همگن و موقعیت استقرار مکان‌های نمونه‌برداری

جدول ۱- ویژگی‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی در واحدهای کاری همگن شهرستان خرم‌آباد

مکان نمونه برداری	واحد همگن	سازند	سنگ بستر	نوع کاربری اراضی (درصد)			
				شهری	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	مرتع جنگل
A	G1T2S2	آسماری	سنگ آهک	-	۳۰	-	۷۰
B	G2T1S2	فلیشی امیران	کنگلو، ماسه‌سنگ، شیل، مارن	۱۰	۱۰	۱۰	۶۰
C	G2T2S2	فلیشی امیران	کنگلو، ماسه‌سنگ، شیل، مارن	-	۱۰	-	۶۰
D	G3T2S2	رسوبات کواترنری	کنگلو، ماسه‌سنگ	-	۲۰	-	۸۰
E	G3T4S1	رسوبات کواترنری	کنگلو، ماسه‌سنگ	۲۵	-	۴۵	۳۰
F	G3T4S2	رسوبات کواترنری	کنگلو، ماسه‌سنگ	-	۵۰	-	۵۰
G	G4T1S2	آهک‌دار اوربیتولین‌دار	شیل، مارن، آهک	-	۲۷	-	۴۳
H	G5T3S2	کنگلو، ماسه‌سنگ	کنگلو، ماسه‌سنگ، شیل، مارن، آهک	۵	-	۵۰	۳۵
I	G6T2S2	کژدمی	شیل، مارن، آهک رسی	۵	۱۰	۱۰	۷۵
J	G7T1S2	گوری	شیل، مارن، آهک	-	۵۰	۵۰	-
K	G7T4S2	گوری	شیل، مارن، آهک	-	۸۰	-	۲۰

اندازه‌گیری‌ها با استفاده از مرجع استاندارد خاک SQC-014، RTC خریداری شده مطالعه شدند (۳۲). بر این اساس، مقادیر حد تشخیص برای عناصر سرب، کادمیم، کروم و نیکل به‌ترتیب برابر با ۰/۱۷۰، ۰/۲۱۰، ۰/۱۹۰ و ۰/۳۲۰ mg/kg حاصل شدند. مقادیر محدودیت کمی عناصر (mg/kg) نیز برای آهن برابر با ۰/۵۰۰، برای روی برابر با ۰/۶۵۰، برای کادمیم برابر با ۰/۵۷۰ و برای کروم برابر با ۰/۹۸۰ به‌دست آمدند. نرخ بازیابی عناصر (درصد) مورد مطالعه نیز از ۹۴/۷ تا ۱۰۱/۵ متغیر و نشان‌دهنده آن بود که روش مورد استفاده برای تعیین غلظت عناصر مورد مطالعه از اطمینان کافی و دقت مناسب برخوردار بوده است.

– محاسبه شاخص غنی‌شدگی (EF)، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)

به‌منظور ارزیابی غنی‌شدگی و تشخیص منشا عناصر موجود در خاک به‌ویژه تأثیرات انسانی و آلودگی خاک در منطقه مورد مطالعه، شاخص EF با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (۱۰، ۱۵):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_m}{C_r}\right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{C_m}{C_r}\right)_{\text{background}}} \quad (1)$$

در معادله ۱، $(C_m/C_r)_{\text{sample}}$ بیانگر نسبت غلظت فلز مورد مطالعه به غلظت عنصر مرجع (آهن) در نمونه خاک برحسب mg/kg و نیز $(C_m/C_r)_{\text{background}}$ نشان‌دهنده نسبت غلظت زمینه عنصر مورد مطالعه به غلظت زمینه عنصر مرجع در شیل برحسب mg/kg است. مقادیر EF بین ۰/۵۰ تا ۱/۵ نشان‌دهنده آن است که عنصر مورد ارزیابی از فرآیندهای طبیعی یا مواد پوسته‌ای نشأت گرفته است، در حالی که، مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۵ این شاخص بیانگر تأثیر عوامل انسانی بر غلظت عناصر است (۱۳). جدول ۲ سطوح غنی‌شدگی و تفسیر آنها را براساس مقادیر EF نشان می‌دهد (۲۹).

در این پژوهش، برای ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه و در نتیجه طبقه‌بندی آلودگی عمومی نمونه‌های خاک

– آماده‌سازی و تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک

در آزمایشگاه، به‌منظور تبخیر رطوبت اضافی، نمونه‌های خاک به‌مدت ۷۲ h در هوای آزاد خشک شدند. سپس، برای حذف ذرات بزرگ و بقایای آلی، نمونه‌ها از الک ۲ mm عبور داده شدند. مقادیر pH و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌های خاک در عصاره گل اشباع (۱:۵ آب به خاک) به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های PH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند (۲۹). کربن آلی (OM) نمونه‌های خاک نیز به‌روش واکلی و بلک و با استفاده از بی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک (۳۰) و درصد ذرات معدنی اولیه خاک (شن، سیلت و رس) بر پایه قانون استوکس (جداسازی ذرات براساس چگالی) و به‌روش هیدرومتری تعیین شدند (۳۱). به‌منظور عصاره‌گیری از نمونه‌ها، به ۱ g از هر نمونه خاک، ۵ mL اسید نیتریک غلیظ افزوده و پس از آن، محلول حاصل به‌مدت ۱۰ min بر روی هیتر با دمای ۹۵ °C حرارت داده شد. نمونه‌ها پس از تغییر رنگ از روی هیتر برداشته شده و سرد شدند. در گام بعد، طی دو مرحله متوالی هر بار ۵ mL اسید نیتریک غلیظ را به نمونه‌ها افزوده و محلول حاصل به‌مدت ۳۰ min مجدداً رفلکس و روی هیتر با دمای ۹۵ °C حرارت داده شد. پس از آن، ۲ mL آب مقطر و ۳ mL پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به محلول افزوده و محتویات به‌مدت ۲-۳ min روی هیتر با دمای ۷۵ °C حرارت داده شدند. پس از خنک شدن نمونه‌ها، به هر یک از آنها ۱۰ mL اسید کلریدریک غلیظ افزوده شد و بعد از ۱۵ min رفلکس، عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و محلول‌ها با آب دوبار تقطیر به حجم ۱۰۰ mL رسانده شدند. درنهایت، پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه ICP-OES مدل ES-710، غلظت عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم به‌ترتیب در طول موج‌های ۲۵۸/۵۸۸، ۲۰۶/۲۰۰، ۲۲۶/۵۰۲ و ۲۶۷/۷۱۶ nm خوانده شدند. تضمین و کنترل کیفیت (Quality Assurance/Quality Control)

(۱۵). سطوح آلودگی و تفسیر آنها براساس مقادیر CF در جدول ۲ آورده شده است (۳۳).

$$NIPI = \sqrt{\frac{(PI_{ave})^2 + (PI_{max})^2}{2}} \quad (3)$$

در معادله ۳: PI_{ave} و PI_{max} به ترتیب بیانگر میانگین شاخص آلودگی برای فلزات سنگین و بیشترین شاخص آلودگی از بین فلزات هستند. جدول ۲ سطوح آلودگی و تفسیر آنها را براساس مقادیر NIPI نشان می‌دهد (۴).

شاخص‌های CF و NIPI به ترتیب با استفاده از معادلات ۲ و ۳ محاسبه شدند (۴، ۳۳):

$$CF = \left(\frac{C_p}{C_b}\right) \quad (2)$$

در معادله ۲، C_b و C_p به ترتیب نشان‌دهنده غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک و غلظت عنصر در خاک غیرآلوده یا پوسته زمین (برابر با ۴۰/۲، ۳۴/۲، ۰/۲۳۰ و ۲۰/۸ به ترتیب برای عناصر روی، سرب، کادمیم و کروم) بر حسب mg/kg است

جدول ۲- طبقه‌بندی مقادیر شاخص غنی‌شدگی (EF)، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)

شاخص غنی‌شدگی (EF)		شاخص فاکتور آلودگی (CF)		شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI)	
محدوده	طبقه توصیفی	محدوده	طبقه توصیفی	محدوده	طبقه توصیفی
$EF < 1$	بدون غنی‌شدگی	$CF < 1$	آلودگی کم	$NIPI \leq 0.70$	بدون آلودگی
$1 \leq EF < 3$	غنی‌شدگی کم	$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط	$0.70 < NIPI \leq 1$	خطر هشدار آلودگی
$3 \leq EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط	$3 \leq CF < 6$	آلودگی قابل توجه	$1 < NIPI \leq 2$	آلودگی کم
$5 \leq EF < 10$	غنی‌شدگی زیاد	$CF > 6$	آلودگی زیاد	$2 < NIPI \leq 3$	آلودگی متوسط
$10 \leq EF < 25$	غنی‌شدگی شدید	-	-	-	-
$25 \leq EF < 50$	غنی‌شدگی خیلی شدید	-	-	-	-
$EF \geq 50$	غنی‌شدگی فوق‌العاده شدید	-	-	-	-

... پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نسخه ۱۹ نرم‌افزار SPSS انجام یافت. بدین صورت که فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و فرض برابری واریانس‌ها نیز توسط آزمون لون (Levene Test) بررسی شدند. به منظور مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک بین محل‌های نمونه‌برداری از آزمون تحلیل واریانس بین آزمودنی یک‌طرفه (One-way ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن

(Duncan Multiple Range Test (DMRT)) در سطح معنی‌داری ۵ درصد و برای مقایسه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های مورد بررسی با مقادیر زمینه و مقادیر استاندارد از آزمون تی تک‌نمونه‌ای (One Sample t-Test) استفاده شد. برای شناسایی رابطه بین عناصر در نمونه‌های خاک سطحی و منابع بالقوه احتمالی آنها از روش آماری تحلیل چندمتغیره (Multivariate Analysis) شامل همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient (PCC))، تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis (PCA)) و

مقادیر فلزات سنگین خاک

آمار توصیفی مربوط به ویژگی‌های مهم فیزیکوشیمیایی و غلظت عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های خاک سطحی در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. با استناد به نتایج، مقادیر pH نمونه‌های خاک سطحی با میانگین ۷/۴۵ از ۶/۷۴ تا ۷/۷۶ متغیر و نشان‌دهنده خاصیت خنثی تا قلیابیت کم خاک در مکان‌های مورد مطالعه بود. مقادیر OM خاک با میانگین ۱۲/۹ درصد در محدوده ۱۱/۶ تا ۱۳/۴ درصد و مقادیر EC با میانگین ۳۷۶ $\mu\text{s/cm}$ از ۲۳۳ تا ۵۳۷ $\mu\text{s/cm}$ متغیر بود. درصد شن، سیلت و رس نیز به ترتیب با میانگین ۵۸/۸، ۳۳/۲ و ۸/۱۴ در دامنه ۴۹/۹-۶۹/۷، ۲۴/۶-۴۳/۸ و ۵/۶۲-۱۰/۰ متغیر و بیانگر دامنه تغییرات بافت نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه در محدوده بافت شنی-لومی تا لومی بود.

تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی (Hierarchica Cluster Analysis (HCA)) استفاده شد. به طوری که آزمون PCA با هدف یافتن متغیرهای کنترلی واجد بیشترین تغییرات در بین متغیرها و براساس مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک ($\text{Eigenvalues} > 1$) برای مؤلفه‌ها انجام یافت. بر این اساس، با اجرای آزمون PCA اطلاعات زیادی در رابطه با ساختار اولیه داده‌ها و روابط احتمالی بین آنها حاصل شد. آزمون HCA نیز به عنوان ابزاری برای کشف ساختار و روشی برای گروه‌بندی غیر کنترلی داده‌ها براساس معیارهای تشابه استفاده شد.

یافته‌ها

آمار توصیفی مربوط به تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و

جدول ۳- میانگین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک سطحی در نقاط همگن

مکان نمونه برداری	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)	OM(%)	توزیع اندازه ذرات (درصد)		
				رس	سیلت	شن
A	۷/۰۹ ^b	۴۷۶ ^{ab}	۱۲/۲ ^b	۶۲۲	۳۱/۶	۶۲/۲
B	۷/۵۳ ^d	۴۱۲ ^{ab}	۱۲/۹ ^d	۸۳۲	۳۲/۹	۵۸/۸
C	۷/۷۶ ^f	۳۴۴ ^{ab}	۱۳/۴ ^f	۷۴۶	۲۴/۶	۶۷/۹
D	۷/۶۵ ^{def}	۲۳۳ ^a	۱۳/۳ ^{cef}	۹۳۶	۳۴/۸	۵۵/۷
E	۷/۷۱ ^{ef}	۲۳۸ ^a	۱۳/۳ ^{cef}	۹۱۲	۳۸/۴	۵۲/۴
F	۷/۳۳ ^c	۵۳۷ ^b	۱۲/۶ ^c	۱۰/۰	۳۴/۸	۵۵/۲
G	۷/۷۵ ^{ef}	۲۴۷ ^a	۱۳/۴ ^{ef}	۹/۲۴	۴۳/۸	۴۶/۹
H	۶/۷۴ ^a	۵۳۲ ^b	۱۱/۶ ^a	۷/۷۴	۳۳/۷	۵۷/۳
I	۷/۲۴ ^{bc}	۴۳۱ ^{ab}	۱۲/۵ ^{bc}	۶/۸۸	۲۵/۴	۶۹/۷
J	۷/۶۱ ^{def}	۴۳۵ ^b	۱۳/۱ ^{def}	۹/۵۸	۳۳/۹	۵۶/۵
K	۷/۵۸ ^{de}	۲۵۵ ^a	۱۳/۱ ^{def}	۵/۶۲	۳۰/۸	۶۳/۵
کمینه	۶/۷۴	۲۳۳	۱۱/۶	۵/۶۲	۲۴/۶	۴۶/۹
بیشینه	۷/۷۶	۵۳۷	۱۳/۴	۱۰/۰	۴۳/۸	۶۹/۷
میانگین	۷/۴۵	۳۷۶	۱۲/۹	۸/۱۴	۳۳/۲	۵۸/۷
انحراف معیار	۰/۳۲۲	۱۱۸	۰/۵۷۵	۱/۴۷	۵/۳۷	۶/۶۹
ضریب تغییرات (درصد)	۴/۳۲	۳۱/۴	۴/۴۶	۱۸/۰	۱۶/۲	۱۱/۴

حروف غیر مشترک (a, b, c, ...) در هر ستون، بیانگر وجود تفاوت معنی دار آماری ($p < 0/05$) میانگین مقادیر pH، EC و OM در نمونه‌های خاک براساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن هستند.

با ۶/۰۸ و ۳/۱۸ (mg/kg) مربوط به نمونه‌های خاک سطحی جمع‌آوری شده از محل نمونه‌برداری E و بیشینه میانگین غلظت عناصر کادمیم و کروم به ترتیب با ۰/۰۴۲ mg/kg و ۱/۵۳ mg/kg مربوط به نمونه‌های برداشت شده از مکان I بود. میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها از روند نزولی آهن < روی < کروم < کادمیم تبعیت کرد.

آمار توصیفی مربوط به تعیین مقادیر فلزات سنگین آمار توصیفی مربوط به غلظت عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌های خاک سطحی در جدول ۴ آورده شده است. با استناد به نتایج، میانگین غلظت عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم به ترتیب برابر با ۳/۱۴، ۱/۱۳، ۰/۰۲۱ و ۰/۵۲۹ mg/kg بوده است. از طرفی، بیشینه میانگین غلظت عناصر آهن و روی در نمونه‌ها به ترتیب

جدول ۴- میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک سطحی برداشت شده از نقاط همگن

عناصر (mg/kg)				مکان نمونه‌برداری
کروم	کادمیم	روی	آهن	
۰/۱۲۵ ^a	۰/۰۳۱ ^{ab}	۰/۷۱۶ ^a	۲/۶۸ ^a	A
۱/۰۹ ^{ab}	۰/۰۱۸ ^{ab}	۱/۵۰ ^{ab}	۳/۹۷ ^{ab}	B
۰/۶۸۴ ^{ab}	۰/۰۱۲ ^a	۰/۴۹۶ ^a	۳/۳۵ ^{ab}	C
۰/۰۹۲ ^a	۰/۰۱۴ ^{ab}	۰/۷۶۲ ^a	۲/۸۹ ^a	D
۰/۰۷۶ ^a	۰/۰۱۴ ^{ab}	۳/۱۸ ^b	۶/۰۸ ^b	E
۰/۴۲۸ ^{ab}	۰/۰۱۳ ^a	۰/۹۶۷ ^a	۲/۷۰ ^a	F
۰/۱۳۶ ^a	۰/۰۲۶ ^{ab}	۰/۵۴۴ ^a	۱/۵۴ ^a	G
۰/۴۰۶ ^{ab}	۰/۰۲۴ ^{ab}	۱/۶۳ ^{ab}	۲/۶۲ ^a	H
۱/۵۳ ^b	۰/۰۴۲ ^b	۰/۹۰۰ ^a	۱/۹۸ ^a	I
۱/۰۸ ^{ab}	۰/۰۲۴ ^{ab}	۰/۹۴۰ ^a	۴/۳۰ ^{ab}	J
۰/۱۷۲ ^a	۰/۰۱۴ ^{ab}	۰/۸۱۰ ^a	۲/۳۹ ^a	K
۰/۰۷۶	۰/۰۱۲	۰/۴۹۶	۱/۵۴	کمینه
۱/۵۳	۰/۰۴۲	۳/۱۸	۶/۰۸	بیشینه
۰/۵۲۹	۰/۰۲۱	۱/۱۳	۳/۱۴	میانگین
۰/۵۰۱	۰/۰۰۹	۰/۷۶۵	۱/۲۶	انحراف معیار
۹۴/۷	۴۲/۶	۶۸/۰	۴۰/۱	ضریب تغییرات (درصد)

حروف غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری ($p < ۰/۰۵$) میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک براساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است.

فاکتور EF برای عناصر روی، کادمیم و کروم نمونه‌های خاک سطحی منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱۶۸۴، ۴۱۹ و ۴۳۵ بود و بر این اساس، ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در طبقه غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید دسته‌بندی شدند. از طرفی، مقادیر EF برای عناصر روی، کادمیم و کروم در مکان‌های نمونه‌برداری مورد مطالعه بزرگ‌تر از ۱/۵ بودند. همچنین، روند نزولی میانگین مقادیر شاخص غنی‌شدگی برای عناصر به شرح کادمیم < کروم < روی بود.

با استناد به مقادیر محاسبه شده ضریب تغییرات (Coefficient of variation (CV))، مقادیر CV برای عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم به ترتیب برابر با ۰/۴۰، ۰/۶۸، ۰/۹۴ و ۰/۴۲ درصد بود (جدول ۴). همچنین، روند نزولی مقادیر CV برای عناصر به شرح کروم < روی < کادمیم < آهن بود.

نتایج ارزیابی کیفیت خاک

نتایج مندرج در جدول ۵ بیانگر آن است که میانگین مقادیر

جدول ۵- مقادیر شاخص غنی‌شدگی (EF)، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص جامع آلودگی نمره (NIPI) عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک سطحی خرم‌آباد

NIPI	CF				EF				محل نمونه‌برداری
	کروم	کادمیم	روی	آهن	کروم	کادمیم	روی	آهن	
۰/۰۹۹	۰/۰۰۶	۰/۱۳۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۰۵۷	۱۰۶	۲۳۶۰	۳۱۴	۱	A
۰/۰۶۲	۰/۰۵۲	۰/۰۷۸	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰۸۴	۶۶۹	۹۲۵	۴۴۵	۱	B
۰/۰۷۶	۰/۰۳۳	۰/۰۵۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۰۷۱	۴۶۰	۷۳۱	۱۷۴	۱	C
۰/۰۴۳	۰/۰۰۴	۰/۰۵۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۶۱	۷۲/۳	۹۸۸	۳۱۰	۱	D
۰/۰۶۱	۰/۰۰۴	۰/۰۶۰	۰/۰۷۹	۰/۰۰۰۰۱۳	۲۸/۴	۴۶۹	۶۱۵	۱	E
۰/۰۶۹	۰/۰۲۱	۰/۰۵۶	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۰۵۷	۳۶۰	۹۸۲	۴۲۱	۱	F
۰/۰۸۳	۰/۰۰۷	۰/۱۱۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۰۳۳	۲۰۱	۳۵۳۷	۴۱۶	۱	G
۰/۰۷۹	۰/۰۱۹	۰/۱۰۴	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰۰۵۵	۳۹۹	۱۸۶۹	۷۳۲	۱	H
۰/۱۳۶	۰/۰۷۴	۰/۱۸۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۰۴۲	۱۷۵۶	۴۳۲۹	۵۳۵	۱	I
۰/۰۸۱	۰/۰۵۲	۰/۱۰۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۹۱	۵۷۱	۱۱۳۹	۲۵۱	۱	J
۰/۰۴۴	۰/۰۰۸	۰/۰۵۸	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰۰۵۱	۱۶۴	۱۱۹۵	۳۹۹	۱	K
۰/۰۷۶	۰/۰۲۵	۰/۰۹۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۰۶۶	۴۳۵	۱۶۸۴	۴۱۹	۱	میانگین

میانگین مقادیر عنصر کادمیم نیز رابطه مثبت معنی‌دار با عنصر کروم ($r = 0/488$, $p < 0/01$) نشان داد. نتایج خروجی مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک سطحی شهرستان خرم‌آباد (PCA) (جدول ۶) بیانگر استخراج دو مؤلفه اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) با واریانس مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک و به ترتیب برابر با ۴۹/۱ و ۳۳/۳ درصد بود که در مجموع ۸۲/۴ درصد از واریانس تجمعی را تشکیل داده و هر چهار عنصر را شامل می‌شوند. عناصر آهن و روی به ترتیب با ۰/۹۴۲ و ۰/۹۴۵ درصد همبستگی با مؤلفه اصلی اول (PC1) در یک دسته قرار گرفتند. دومین مؤلفه (PC2) نیز شامل عناصر کادمیم و کروم بود که به ترتیب ۰/۸۴۴ و ۰/۸۷۴ درصد با این مؤلفه همبستگی داشتند.

با استناد به نتایج مندرج در جدول ۵، میانگین مقادیر محاسبه شده CF در دامنه $10^{-5} \times 3/3$ تا ۰/۱۸۲ متغیر و در همه مکان‌های نمونه‌برداری (۱۰۰ درصد نمونه‌ها)، کوچک‌تر از یک بود. از طرفی، مقادیر محاسبه شده شاخص NIPI در دامنه ۰/۱۳۶-۰/۴۳ متغیر بود.

نتایج منشأیابی عناصر

نتایج روش‌های آماری تحلیل چندمتغیره به منظور تعیین منشأ احتمالی انتشار عناصر مورد مطالعه در خاک‌های سطحی مورد مطالعه در جدول ۶ و شکل ۲ آورده شده است. علاوه بر این، نتایج ضرایب همبستگی پیرسون دو متغیره نشان داد که میانگین مقادیر عنصر آهن به‌طور معنی‌دار و مثبت با عنصر روی ($r = 0/796$, $p < 0/01$) همبستگی داشته است. از طرفی،

جدول ۶- نتایج تحلیل PCA عناصر مورد مطالعه در خاک‌های سطحی

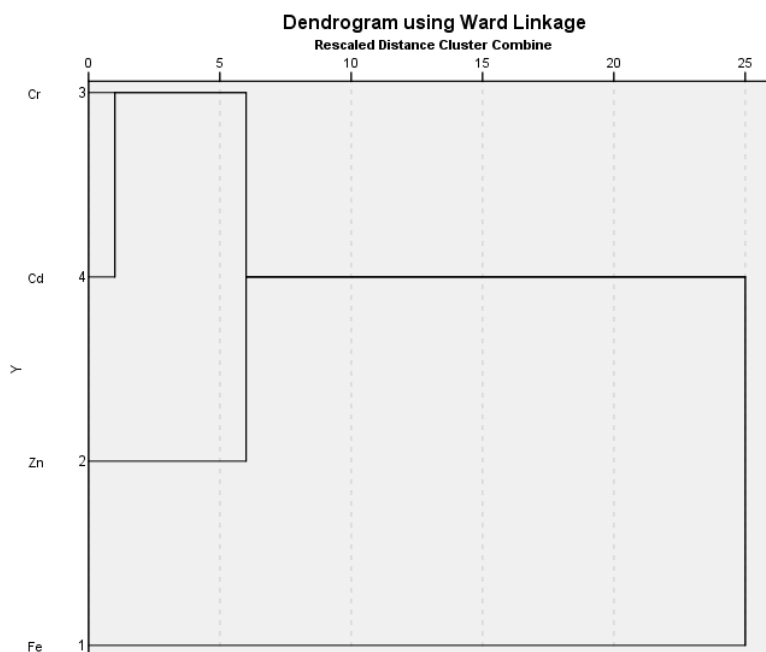
ماتریس عاملی چرخیده شده		عنصر
مؤلفه دوم (PC2)	مؤلفه اول (PC1)	
۰/۰۷۵	۰/۹۴۲	آهن
۰/۰۸۱	۰/۹۴۵	روی
۰/۸۴۴	۰/۱۶۱	کادمیم
۰/۸۷۴	-۰/۰۱۱	کروم
۱/۳۳	۱/۹۶	مقدار ویژه
۳۷/۲	۴۵/۱	درصد واریانس
۸۲/۴	۴۵/۱	درصد تجمعی

شامل آهن و دومین خوشه شامل عناصر روی، کادمیم و کروم بود.

نتایج آزمون تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (شکل ۲) دو خوشه اصلی را نشان داد. خوشه اول فقط

۳۳/۳ درصد بود که در مجموع ۸۲/۴ درصد از واریانس تجمعی را تشکیل داده و هر چهار عنصر را شامل می‌شوند. عناصر آهن و روی به ترتیب با ۰/۹۴۲ و ۰/۹۴۵ درصد همبستگی با مؤلفه اصلی اول (PC1) در یک دسته قرار گرفتند. دومین مؤلفه (PC2) نیز شامل عناصر کادمیم و کروم بود که به ترتیب ۰/۸۴۴ و ۰/۸۷۴ درصد با این مؤلفه همبستگی داشتند.

میانگین مقادیر عنصر کادمیم نیز رابطه مثبت معنی‌دار با عنصر کروم ($r = 0/488$, $p < 0/010$) نشان داد. نتایج خروجی مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک سطحی شهرستان خرم‌آباد (PCA) (جدول ۶) بیانگر استخراج دو مؤلفه اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) با واریانس مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک و به ترتیب برابر با ۴۹/۱ و



شکل ۲- دندوگرام تحلیل خوشه‌ای غلظت عناصر مورد مطالعه در خاک‌های سطحی

داشته است ($p < 0/05$). از طرفی، بین مکان‌های نمونه‌برداری I, E, B و K از حیث میانگین غلظت عنصر آهن نمونه‌های خاک اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد ($p > 0/05$). همین تفاسیر را می‌توان برای سایر متغیرهای مورد ارزیابی ملحوظ داشت.

بحث

توزیع و تجمع فلزات سنگین در انواع مختلف خاک بسته

نتایج پردازش آماری داده‌ها

نتایج آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد با توجه به سطح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵، همه داده‌های مربوط به مقادیر EC، OM، pH، درصد ذرات معدنی اولیه (رس، سیلت و شن) و غلظت عناصر در نمونه‌های خاک از توزیع نرمال برخوردار بودند. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نیز نشان داد که بین مکان‌های نمونه‌برداری A، B، C، F و H از حیث مقادیر pH نمونه‌های خاک اختلاف معنی‌دار آماری وجود

به سنگ مادر، شرایط آب و هوایی و از طرفی نوع و میزان فعالیت‌های انسانی، متفاوت است (۱۱). نتایج پژوهش حاضر که با هدف ارزیابی آلودگی و منشأیابی عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در خاک سطحی شهرستان خرم‌آباد انجام شد، نشان داد که بیشینه میانگین غلظت عناصر آهن و روی در نمونه‌های خاک به ترتیب با ۶/۰۸ و ۳/۱۸ (mg/kg) مربوط به مکان E (واحد همگن G3T4S1) و بیشینه میانگین غلظت عناصر کادمیم و کروم نیز به ترتیب با ۰/۰۴۲ و ۱/۵۳ mg/kg (واحد همگن G6T2S2) بوده است. مکان E بر روی سنگ بستر گنگلومرا و ماسه‌سنگ واقع شده و کاربری اراضی در این منطقه کشاورزی (آبی و دیم) و شهری است. مکان I نیز دارای ساختار زمین‌شناسی شیل، مارن و آهک رسی بوده و کاربری عمده در این منطقه جنگل، کشاورزی (آبی و دیم) و شهری است. ثابت شده است که غلظت آهن و روی به ترتیب در سنگ بستر گنگلومرا و ماسه‌سنگ به‌طور طبیعی زیاد بوده و سنگ‌های شیل و آهک نیز دارای مقادیر قابل توجهی از عناصر کادمیم و کروم هستند (۳۴). از طرفی، فعالیت‌های کشاورزی (مصرف بی‌رویه کودهای دامی و شیمیایی) و شهری به‌ویژه ترافیک نیز از منابع مهم و عمده انسان‌پدید انتشار آلاینده‌های فلزی به‌شمار می‌آیند. از این‌رو، بیشینه غلظت این عناصر در مکان‌های E و I را می‌توان با فرآیندهای طبیعی (زمین‌زایی) و عوامل انسان‌پدید مرتبط دانست. در مطالعات مشابه و در تأیید نتایج حاصل، Azimzadeh و همکار (۲۰۱۳) نیز بیشینه مقدار میانگین عنصر روی در خاک‌های سطحی کاربری شهری در بخشی از استان مازندران را با فعالیت‌های انسانی به‌ویژه ترافیک مرتبط دانسته‌اند (۳۵). همچنین، Afshari و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که بیشینه غلظت عناصر کادمیم و روی در خاک اراضی مرکزی استان زنجان مربوط به کاربری‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و تحت تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی بوده است (۳۶). نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین مقادیر

عناصر روی، کادمیم و کروم در نمونه‌های خاک سطحی با بیشینه رواداری فلزات در خاک‌های غیر اسیدی ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط ایران به ترتیب برابر با ۵۰۰، ۸/۰ و ۵۳۵ mg/kg برای روی، کادمیم و کروم (سه ظرفیتی) نشان داد که میانگین غلظت همه عناصر مورد ارزیابی با بیشینه رواداری اختلاف آماری معنی‌دار داشته ($p < 0/05$) و کمتر از بیشینه رواداری بوده است. در مطالعه Siyahati Ardakani و همکاران (۲۰۱۸) میانگین غلظت کروم از بیشینه رواداری کمتر گزارش شد (۳۷). از طرفی، نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین مقادیر عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های خاک سطحی با مقادیر زمینه فلزات به ترتیب برابر با ۴۰/۲، ۴۷۲۰۰، ۰/۲۳۰ و ۲۰/۸ mg/kg برای آهن، روی، کادمیم و کروم نشان داد که میانگین غلظت همه عناصر مورد ارزیابی با مقادیر زمینه اختلاف آماری معنی‌دار داشته ($p < 0/05$) و کمتر از مقادیر زمینه بوده است. در مطالعه مشابه، Saedpanah و همکاران (۲۰۱۸) نیز مقادیر میانگین عناصر آهن و روی در خاک سطحی شهر سنندج را کمتر از مقادیر زمینه گزارش کردند (۳۸). به‌علاوه، در پژوهش Soltani-Gerdefaramarzi و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شد که میانگین غلظت عناصر آهن و کروم در خاک شهری یزد کمتر و میانگین غلظت عناصر روی و کادمیم بیشتر از مقادیر زمینه بوده‌اند (۳۹). ثابت شده است که ضریب تغییرات به‌عنوان ابزاری کمی، میزان تنوع و پراکندگی آلاینده‌ها در محیط‌زیست را نشان داده و در صورتی‌که نرخ آن کمتر از ۲۰ درصد باشد، بیانگر "تغییرپذیری کم"، در محدوده ۲۰ تا ۵۰ درصد نشان‌دهنده "تغییرپذیری متوسط"، در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده "تغییرپذیری خیلی زیاد" و بیشتر از ۱۰۰ درصد بیانگر تنوع و پراکندگی بار آلاینده‌های فلزی در منطقه مورد مطالعه براساس درصد تغییرات عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم مورد بررسی قرار گرفت. با استناد به نتایج درصد تغییرات عناصر در نمونه‌های خاک، عناصر کروم (۹۴/۷ درصد) و روی (۶۸

حاکمی از تأثیر عوامل انسانی بر مقادیر فلزات سنگین است (۴۲). نظر به اینکه عمده فعالیت‌های انسانی در منطقه مورد مطالعه کشاورزی و شهری است؛ از این‌رو، می‌توان اذعان داشت که استفاده از کودهای دامی و شیمیایی، احتراق سوخت‌های فسیلی (توسط صنایع، منازل، خودروها)، حمل و نقل (درون و برون شهری) و فعالیت‌های مرتبط با آن و فعالیت‌های ساختمانی و تجاری از منابع عمده انتشار عناصر فلزی در منطقه مورد مطالعه بوده است. Kaydan و همکاران (۲۰۱۹) غنی‌شدگی زیاد عناصر روی و کروم در خاک شهر اهواز را با فعالیت‌های انسان‌پدید (کود و ترافیک) مرتبط دانستند (۴۳). Soltani-Gerdefaramarzi و همکاران (۲۰۲۱) نیز غنی‌شدگی متوسط و زیاد خاک شهری یزد نسبت به عناصر روی و کادمیم با مقدار میانگین فاکتور EF به ترتیب برابر با ۳/۳۳ و ۹/۱۲ را تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی (صنعتی و ترافیکی) گزارش کردند (۴۴). همچنین، Rezapour و همکاران (۲۰۲۲) با استناد به میانگین مقادیر شاخص EF، غنی‌شدگی عناصر روی و کادمیم در خاک سطحی با کاربری شهری در استان آذربایجان غربی را در سطح متوسط ($5 < EF \leq 2$) و تحت تأثیر فعالیت‌های شهری گزارش کردند (۴۵).

شاخص‌های CF و NIPI ابزارهایی مناسب برای تعیین سطح آلودگی بوده و برآوردی جامع از میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین را به دست می‌دهند (۴، ۱۳). مقادیر محاسبه شده شاخص CF از دامنه $10^{-5} \times 3/30$ تا $0/182$ متغیر و بیانگر سطح "آلودگی کم" در همه مکان‌های مورد مطالعه بود (جدول ۵). همچنین، مقادیر محاسبه شده شاخص NIPI در دامنه $0/136-0/43$ متغیر و نشان‌دهنده شرایط کیفی "بدون آلودگی" در همه مکان‌های مورد مطالعه بود (جدول ۵). از طرفی، بیشینه میانگین مقادیر CF برای عناصر آهن و روی به ترتیب با $10^{-4} \times 1/30$ و $0/079$ مربوط به مکان نمونه‌برداری E (واحد همگن G3T4S1) و بیشینه میانگین مقادیر CF برای عناصر کادمیم و کروم نیز به ترتیب با $0/182$ و $0/074$ مربوط به مکان نمونه‌برداری I (واحد همگن G6T2S2) بود.

درصد) در خاک‌های سطحی شهرستان خرم‌آباد تغییرات زیاد تا خیلی‌زیاد را نشان دادند. در این رابطه، می‌توان اذعان داشت که غلظت این عناصر به‌طور قابل توجهی در مکان‌های نمونه‌برداری متفاوت بوده و احتمالاً بیشترین تأثیرپذیری را از فعالیت‌های انسانی داشته‌اند. به‌علاوه، عناصر آهن و کادمیم با نرخ تغییرات به ترتیب برابر با $40/1$ و $42/6$ درصد از نرخ تغییرپذیری متوسط در همه مکان‌های نمونه‌برداری برخوردار بودند که می‌تواند بیانگر سهم اندک عوامل انسانی در آلودگی نمونه‌های خاک مورد مطالعه به این عناصر باشد. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد بررسی، به‌ویژه نوع خاک و سنگ بستر، مقدار pH، ترکیب دانه‌بندی خاک و عوامل انسانی، تغییرات متوسط تا خیلی‌زیاد در غلظت فلزات سنگین قابل انتظار بود. Afshari و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استناد به مقادیر ضریب تغییرات عناصر روی (۸۴ درصد) و کادمیم (۸۴ درصد)، توزیع این عناصر در خاک سطحی اراضی مرکزی استان زنجان را ناهمگن و تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی گزارش کردند (۴۱). نتایج پژوهش Jamshidi و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که عنصر کروم با ضریب تغییرات برابر با ۴۳۰ درصد، از بیشینه تأثیرپذیری عوامل انسانی در نمونه‌های خاک سطحی برداشت شده از شرق شهرستان ازنا در استان لرستان برخوردار بوده است (۲۵).

شاخص EF از جمله ابزارهای مفید و مناسب برای ارزیابی میزان تأثیر احتمالی فعالیت‌های انسان‌پدید بر مقادیر فلزات سنگین خاک است (۴۱). نتایج محاسبه EF (جدول ۵) بیانگر آن بود که نمونه‌های خاک مورد ارزیابی نسبت به عناصر روی، کادمیم و کروم به ترتیب با میانگین شاخص برابر با ۴۱۹، ۱۶۸۴ و ۴۳۵ دارای غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید بوده‌اند. از طرفی، بیشینه میانگین مقدار EF محاسبه شده برای عنصر روی (۷۳۱) مربوط به نمونه‌های خاک سطحی مکان H (واحد همگن G5T3S2) و بیشینه میانگین مقدار EF محاسبه شده برای عناصر کادمیم (۴۳۲۹) و کروم (۱۷۵۶) مربوط به مکان I (واحد همگن G6T2S2) بود. مقادیر زیاد غنی‌شدگی

علاوه بر این، بیشینه میانگین مقدار NIPI نیز مربوط به مکان I (واحد همگن G6T2S2) بود. با توجه به ویژگی‌های طبیعی (ساختار زمین‌شناسی) و نوع کاربری‌های موجود (به‌طور عمده کشاورزی آبی، دیم و شهری) در این مناطق، افزایش غلظت و آلودگی فلزات سنگین می‌تواند تهدیدی بالقوه برای سلامت بوم‌سازگان و انسان محسوب شود. در این رابطه، احتمال افزایش جذب و انباشت عناصر فلزی در بافت‌های گیاهی محصولات کشاورزی کشت شده در این مناطق خطری غیرمستقیم از طریق زنجیر غذایی است. افزون بر این، افزایش غلظت و آلودگی آلاینده‌های فلزی در خاک شهری به‌طور مستقیم از طریق بلع خاک، استنشاق ذرات خاک (از طریق بینی و دهان) و تماس پوستی تهدیدی بهداشتی برای انسان به‌ویژه کودکان به‌شمار می‌آید. از این‌رو، در مناطقی که احتمال آلودگی خاک به فلزات سنگین وجود دارد، باید نسبت به کنترل منابع احتمالی عناصر به‌منظور تدوین راهبردهای مدیریتی مؤثر اقدام شود. Barzin و همکاران (۲۰۱۵) نیز با استناد به بیشینه میانگین مقادیر شاخص CF، منشا عناصر سرب، روی، مس و نیکل در نمونه‌های خاک سطحی کاربری کشاورزی استان همدان را با فعالیت‌های انسانی مرتبط دانسته و اقدامات کنترلی از جمله کاهش مقدار مصرف کودهای دامی و شیمیایی را به‌منظور کاهش ورود عناصر به خاک ضروری دانستند (۲۳). همچنین، Liu و همکاران (۲۰۲۱) با استناد به میانگین مقادیر شاخص NIPI، آلودگی عناصر روی و کروم در خاک سطحی شهر ژانگژو در چین با کاربری‌های شهری و کشاورزی را در سطح متوسط ($NIPI > 2$) و تهدیدی بالقوه برای سلامت شهروندان گزارش کردند (۴۶).

ضرایب همبستگی، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی به‌طور گسترده و با موفقیت در گروه‌بندی فلزات سنگین و شناسایی منبع آنها در خاک استفاده شده‌اند (۱۵). در این رابطه، همبستگی زیاد و مثبت نشان‌دهنده وابستگی متقابل، منشأ مشابه و عامل کنترل‌کننده مشترک فلزات در نظر گرفته می‌شود (۱۰). نتایج آزمون همبستگی

پیرسون بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آهن با روی و همچنین کادمیم با کروم بود. در این خصوص، می‌توان منابع ورود این عناصر به خاک را مشترک و احتمالاً با فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی مرتبط دانست. در مطالعات مشابه و در تأیید نتایج حاصل، Baltas و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استناد به مقادیر ضریب همبستگی پیرسون گزارش کردند که منابع انتشار عناصر کروم و نیکل یکسان و به‌طور عمده ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده است (۱۱). از طرفی، نتایج خروجی PCA نیز منشأ یکسان عناصر آهن و روی را تأیید کرد و بر این اساس گزارش شد که این عناصر احتمالاً تحت تأثیر ترکیب فعالیت‌های طبیعی مشابه به خاک وارد شده‌اند. به علاوه، منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی به‌عنوان منشا احتمالی عناصر کادمیم و کروم شناخته شدند که این یافته‌ها توسط خروجی HCA نیز تأیید شدند. به‌طوری‌که خوشه اول فقط آهن را شامل شد که طبق نتایج PCA این عنصر بیشتر از فرآیندهای زمین‌زایی نشأت گرفته بود و دومین خوشه نیز شامل عناصر روی، کادمیم و کروم بود که می‌توان آن‌را با منابع طبیعی (فعالیت‌های زمین‌زایی) و فعالیت‌های انسانی (فعالیت‌های کشاورزی و شهری) انتشار این عناصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه مرتبط دانست (۴۷). Chabukdhara و همکاران (۲۰۱۶) نیز با استناد به خروجی آزمون PCA، منشا آهن در خاک سطحی مناطق شهری غازی‌آباد هند را منشأ روی و کروم را ترکیبی از منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی گزارش کردند (۴۸). همچنین، Hoshyari و همکاران (۲۰۲۳) با استناد به نتایج حاصل از PCA، منشا عناصر روی و کادمیم در خاک سطحی شهر شیراز را ترکیبی از منابع طبیعی (فرآیندهای زمین‌زایی) و انسان‌پدید (کشاورزی و ترافیک) گزارش کردند (۴۹).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که غلظت عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در خاک سطحی شهرستان خرم‌آباد تحت تأثیر ساختار

همچنین مدیریت و کنترل منابع انتشار آلاینده‌ها توصیه می‌شوند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست مصوب واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی با عنوان "توزیع مکانی و ارزیابی مخاطرات بوم‌شناختی و سلامت مناطق داغ فلزات سنگین در خاک سطحی (مورد مطالعه: شهرستان خرم‌آباد)" با کد ۱۲۳۱۳۹۸۱۷۴۰ است.

زمین‌شناسی (کنگومرا، ماسه‌سنگ، شیل و سنگ آهک)، فعالیت‌های کشاورزی (مصرف کودهای دامی و شیمیایی) و همچنین انتشارات شهری (احتراق سوخت فسیلی و ترافیک) بوده است. از طرفی، نتایج محاسبه شاخص EF در نمونه‌های خاک بیانگر غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید برای عناصر روی، کادمیم و کروم و تأثیر منابع انسانی (فعالیت‌های کشاورزی و شهری) بر آلودگی خاک با این عناصر بود. نتایج منشایابی عناصر نیز نشان داد که فلزات در خاک‌های سطحی منطقه مورد مطالعه به احتمال زیاد از منشأ زمین‌شیمیایی و انسان‌پدید برخوردار بوده‌اند. هرچند که داده‌های به‌دست آمده برای مدیریت و سیاست‌های محیط‌زیستی از طریق اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی مفید خواهند بود، اما با توجه به اثرات محیط‌زیستی و بهداشتی فلزات سنگین بر سلامت محیط و انسان، پایش منظم و دوره‌ای نمونه‌های خاک و

References

1. Sobhan Ardakani S, Jafari SM. Assessment of heavy metals (Cu, Pb and Zn) in different tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) caught from Shirinsu Wetland, Western Iran. *Journal of Chemical Health Risks*. 2018;4(2):47-54.
2. Sobhanardakani S, Kianpour M. Heavy metal levels and potential health risk assessment in honey consumed in the west of Iran. *Avicenna Journal of Environment Health Engineering* 2016;3(2):e7795.
3. Sobhan Ardakani S. Health risk assessment of As and Zn in canola and soybean oils consumed in Kermanshah, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2016;4(2):62-7.
4. Mohebian M, Sobhanardakani S, Taghavi L, Ghoddousi J. Analysis and potential ecological risk assessment of heavy metals in the surface soils collected from various land uses around Shazand Oil Refinery Complex, Arak, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021;14(19):1-16.
5. Sobhanardakani S. Non-carcinogenic risk assessment of heavy metals through exposure to the household dust (Case study: City of Khorramabad, Iran). *Annals of Medical and Health Science Research*. 2018;16(4):e86594.
6. Hosseini NS, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H. Heavy metal concentrations in roadside plants (*Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba*) and soils along some highways in Hamedan, west of Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 2020;27(12):13301-

- 14.
7. Hosseini NS, Sobhan Ardakani S. Evaluation of the impact of traffic volume on pollution and potential ecological risk of Zn, Pb, and Ni in suburban roadside soils in Hamedan, Iran. *Iranian Journal of Soil Research*. 2021;35(2):119-34 (In Persian).
8. Mohammadi Galangash M, Ghasemi Zolpirani R, Naimi Joubani M. Evaluation of roadside soils pollution with heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn) in the Rasht-Qazvin old road (Guilan province). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2020;13(3):409-20 (In Persian).
9. Hosseini NS, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H. Feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* for biomonitoring and bioremediation of heavy metals (Zn, Pb and Ni) in the roadside environments. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;13(4):607-20 (In Persian).
10. Hosseini NS, Sobhanardakani S. Concentration, sources, potential ecological and human health risks assessment of trace elements in roadside soil in Hamedan metropolitan, west of Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022:1-24.
11. Baltas H, Sirin M, Gökbayrak E, Ozcelik AE. A case study on pollution and a human health risk assessment of heavy metals in agricultural soils around Sinop province, Turkey. *Chemosphere*. 2020;241:125015.
12. Hazratzadeh S, Sobhanardakani S. Assessment of Zn, Pb, Cd, and Cu contamination in surface soils of urban parks in city of Hamedan. *Iranian Journal of Soil Research*. 2018;32(3):417-30 (In Persian).
13. Hosseini NS, Sobhanardakani S. Pollution and Potential Ecological risk assessment of Pb, Cd, Cr and Ni in surface soils along some roads of city of Hamedan. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2022;9(3):349-64 (In Persian).
14. Mohammadi Roozbahani M, Sobhan AS, Karimi H, Sorooshnia R. Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. *Iranian Journal of Toxicology*. 2015;9(29):1336-41.
15. Mohammadi SM, Lorestani B, Sobhan Ardakani S, Cheraghi M, Tayebi L. Source identification and ecological risk assessment of some heavy metals in surface soils collected from the vicinity of Arad-Kouh processing and disposal complex, Tehran, Iran. *Environmental Sciences*. 2021;19(3):1-22 (In Persian).
16. Moradi B, Sobhanardakani S, Cheraghi M. Ecological risk of heavy metals in surface soils of urban parks. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;10(4):429-42 (In Persian).
17. Sabet Aghlidi P, Cheraghi M, Lorestani B, Sobhanardakani S, Merrikhpour H. Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, case study: South of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2020;18(2):665-76.
18. Sobhan Ardakani S. Assessment of Pb and Ni contamination in the topsoil of ring roads' green spaces in the city of Hamadan. *Pollution*. 2018;4(1):43-51.
19. Tepanosyan G, Sahakyan L, Belyaeva O, Maghakyan N, Saghatelyan A. Human health risk assessment and riskiest heavy metal origin identification in urban soils of Yerevan, Armenia. *Chemosphere*. 2017;184:1230-40.

20. Hou Q, Yang Z, Yu T, You Y, Dou L, Li K. Impacts of parent material on distributions of potentially toxic elements in soils from Pearl River Delta in South China. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1-13.
21. Ali AR, Al-Mufti TM, Taqi CM. Geochemical Distribution of Some Heavy metals in agricultural soil and their environmental impacts in Kirkuk, Northern Iraq. *The Iraqi Geological Journal*. 2021:75-92.
22. Štrbac S, Ranđelović D, Gajica G, Hukić E, Stojadinović S, Veselinović G, et al. Spatial distribution and source identification of heavy metals in European mountain beech forests soils. *Chemosphere*. 2022;309:136662.
23. Barzin M, Kheirabadi H, Afyuni M. An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in Hamadan province using pollution index. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 2015;19(72):69-80 (In Persian).
24. Fathizad H, Hakimzadeh Ardakani MA, Taghizadeh-Mehrjardi R, Sodaiezadeh H. Investigating the relationship between the distribution pattern of heavy metals in soil and land use in the Yazd-Ardakan Plain. *Desert Management*. 2020;8(15):1-20 (In Persian).
25. Jamshidi A, Sarikhani R, Karami G, Ghasemi A. Investigation of heavy metal contamination and their origin in eastern Azna city, Lorestan province. *New Findings in Applied Geology*. 2020;14(28):29-44.
26. Sarikhani R, Jamshidi A, Bahrami S, Ghasemi Dehnavi A. Investigation of heavy metal contamination in soils of Fereydoon City, Isfahan Province. *Applied Sedimentology*. 2021;9(17):131-44.
27. Sabzevari E, Sobhanardakani S. Analysis of selected heavy metals in indoor dust collected from city of Khorramabad, Iran: A case study. *Jundishapur Journal of Health Sciences*. 2018;10(3):e67382.
28. Sharafi S, Areiantabar H. Using airborne magnetometer data and geomorphic evidence to study the hidden fault path in Khorram Abad Plain. *Geography and Development*. 2019;17(56):1-20 (In Persian).
29. Gujre N, Mitra S, Soni A, Agnihotri R, Rangan L, Rene ER, et al. Speciation, contamination, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils dumped with municipal solid wastes. *Chemosphere*. 2021;262:128013.
30. Walkley A, Black IA. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 1934;37(1):29-38.
31. Yavari M, Mohammadi MH, Shahbazi K. Comparison of some methods for measuring primary soil particle size distribution and introducing appropriate times for the four-reading method for determining soil texture. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2021;51(12):2999-3015 (In Persian).
32. Davodpour R, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Abdi N, Lorestani B. Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a potential bioindicator for detection of toxic and essential elements in the environment (case study: Markazi Province, Iran). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019;77(3):344-58.
33. Hosseini NS, Sobhan Ardakani S. Evaluation of the impact of traffic volume on pollution and potential ecological risk of Zn, Pb, and Ni in suburban roadside soils in Hamedan, Iran. *Iranian Journal of*

- Soil Research. 2021;35(2):119-34 (In Persian).
34. Shafavi F, Sobhan Ardakani S. Groundwater quality assessment using MI and PoS indices in Razan Watershed, Hamedan, Iran. *Environment and Water Engineering*. 2020;6(3):257-72 (In Persian).
35. Azimzadeh B, Khademi H. Estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran province, Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013;27(3):548-59 (In Persian).
36. Afshari A, Khademi H, Delavar MA. Heavy metals contamination assessment in soils of different land uses in central district of Zanjan province using contamination factor. *Water and Soil Science*. 2016;25(4/2):41-52 (In Persian).
37. Ardakani GR, Mirsanjari M, Azimzadeh H, Solgi E. The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;11(3):449-64 (In Persian).
38. Saedpanah M, Ghorbani F, Amanoollahi J. Source determination, contamination level and predicting of some inorganic contaminants concentration in the top soils of Sanandaj City. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2018;5(3):233-50 (In Persian).
39. Soltani-Gerdefaramarzi S, Ghasemi M, Gheysouri M. Pollution, human health risk assessment and spatial distribution of toxic metals in urban soil of Yazd City, Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 2021;43(9):3469-84.
40. Bhuiyan MAH, Karmaker SC, Bodrud-Doza M, Rakib MA, Saha BB. Enrichment, sources and ecological risk mapping of heavy metals in agricultural soils of dhaka district employing SOM, PMF and GIS methods. *Chemosphere*. 2021;263:128339.
41. Afshari A, Khademi H. Spatial distribution patterns of heavy metals (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Cu and Cd) in the central area of Zanjan. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;18(4):145-62.
42. Yan G, Mao L, Liu S, Mao Y, Ye H, Huang T, et al. Enrichment and sources of trace metals in roadside soils in Shanghai, China: a case study of two urban/rural roads. *Science of the Total Environment*. 2018;631:942-50.
43. Kaydan Z, Ghanavati N, Nazarpour A. Evaluation of soil pollution with heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni and V) in Ahvaz parks. *Journal of Health*. 2019;10(2):228-39 (In Persian).
44. Soltani-Gerdefaramarzi S, Ghasemi M, Ghanbarian B. Geogenic and anthropogenic sources identification and ecological risk assessment of heavy metals in the urban soil of Yazd, central Iran. *Plos one*. 2021;16(11):e0260418.
45. Rezapour S, Siavash Moghaddam S, Nouri A, Khosravi Aqdam K. Urbanization influences the distribution, enrichment, and ecological health risk of heavy metals in croplands. *Scientific Reports*. 2022;12(1):1-16.
46. Liu X, Zhu H, Zhang B, Xu C, Li L, Xing W. Heavy metals (HMs) in soils of different land-use types in Zhengzhou, China: Occurrence, source and ecological risk. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 2022:1-21.
47. Otari M, Dabiri R. Geochemical and environmental assessment of heavy metals in soils and sediments of Forumad Chromite mine, NE of Iran. *International Journal of Mining and Environmental*. 2015;6(2):251-61.

48. Chabukdhara M, Munjal A, Nema AK, Gupta SK, Kaushal RK. Heavy metal contamination in vegetables grown around peri-urban and urban-industrial clusters in Ghaziabad, India. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2016;22(3):736-52.
49. Hoshyari E, Hassanzadeh N, Keshavarzi B, Jaafarzadeh N, Rezaei M. Spatial distribution, source apportionment, and ecological risk assessment of elements (PTEs, REEs, and ENs) in the surface soil of shiraz city (Iran) under different land-use types. Chemosphere. 2023;311:137045.



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

Original Article



Contamination and source apportionment of iron, zinc, cadmium and chromium elements in surface soil of Khorramabad county, Iran

Masoumeh Selahvarzi¹, Soheil Sobhanardakani^{2*}, Amir Hooman Hemmasi³, Lobat Taghavi¹, Jamal Ghoddousi¹

1- Department of Environmental Science and Engineering, College of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Science and Engineering, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

3- Department of Industry and Energy Engineering, College of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 26 November 2022

Revised: 25 January 2023

Accepted: 25 January 2023

Published: 15 March 2023

ABSTRACT

Background and Objective: Soil contamination with heavy metals is the most important challenge and common environmental, economic, and public health issue in the world. Therefore, this research was conducted to evaluate the contamination and source identification of Fe, Zn, Cd, and Cr in the surface soils of Khorramabad county, west of Iran in 2020.

Materials and Methods: In this descriptive study, after dividing the study area into 11 homogeneous units, a total of 65 surface soil samples were collected. After preparing the samples, the content of the elements was determined using inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES). Also, enrichment factor (EF), pollution factor (CF), and Nemrow integrated pollution index (NIPI) were calculated. Statistical analyses of the data were performed using SPSS statistical software.

Results: The results showed that the average content of Fe, Zn, Cd, and Cr (mg/kg) in soil samples were 3.14, 1.13, 0.021, and 0.529, respectively. The EF values showed that the enrichment of Zn, Cd, and Cr was "extremely severe" and the average values of EF for the elements followed the descending order of Cd > Cr > Zn. The average values of CF and NIPI varied from 3.30×10^{-5} to 0.182 and 0.043-0.136, respectively, indicating the level of "low pollution" and quality conditions of "no pollution" in all the studied stations. Based on the results of multivariate statistical analysis (PCC, PCA and HCA), Fe has a geological origin; while, Zn, Cd, and Cr mainly originated from a combination of geological processes and anthropogenic activities.

Conclusion: Although the average values of CF and NIPI showed that the study area has an acceptable soil quality, the values of EF indicated the impact of anthropogenic activities on soil contamination. Therefore, regular and periodic monitoring of soil samples as well as management and control of pollutant emission sources is recommended for maintaining environmental and human health.

Keywords: Topsoil, Heavy metals, Khorramabad, Land use, Geological processes

***Corresponding Author:**

s_sobhan@iauh.ac.ir

Please cite this article as: Selahvarzi M, Sobhanardakani S, Hemmasi AH, Taghavi L, Ghoddousi J. Contamination and source apportionment of iron, zinc, cadmium and chromium elements in surface soil of Khorramabad county, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2023;15(4):651-70.

