دو فصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۸، شمارهٔ ٤ و ۳، پاییز و زمستان ۱٤۰۱

ص ٤۳۱ تا ٤٥٤

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های محدوده معدن سرب و روی گل زرد، شمال شرقی الیگودرز (استان لرستان)

گلناز کرمی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

آرتیمس قاسمی دهنوی*؛ استادیار، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه لرستان ، خرم آباد، ایران

امین جمشیدی؛ دانشیار، زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه لرستان ، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰٦/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۱/۲۷

چکیده

این تحقیق به‌منظور ارزیابی میزان آلودگی خاک‌های محدوده معدن سرب و روی گل زرد به فلزات سنگین انجام‌شده است. به همین منظور، فلزات سنگین ۳۳ نمونه خاک سطحی محدوده معدن با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی شعله-ای AAS آنالیز شدند. شاخص‌های منشأ یابی و تعیین درجه آلودگی شامل شاخص غنی‌شدگی (Ef)، شاخص زمین انباشت (Igeo) و شاخص آلودگی (Cf) برای ارزیابی آلودگی خاک به فلزات سنگین محاسبه گردید. بر اساس نتایج، میانگین غلظت فلزات سنگین شامل اسکاندیم، آرسنیک، ایتریم، کادمیوم، مس، نیکل، وانادیم، کروم، سرب، باریم، منگنز و روی به ترتیب۲۰/۹۳، ۲۸/۱۹، ۳٥/۸٤، ٥٦/۲، ٦۳/۹۰، ۷۱/٦۹، ۱٤۱/۳۹، ۱۷٦/۳۹، ۱۹۷/۲۲، ٤۰٤/۸۷، ٤۷٥/٥٥، ٤۹۲/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که عنصر روی بیشترین و اسکاندیم کمترین میانگین رادارند. همچنین نتایج نشان داد که منطقه موردمطالعه آلودگی کلی نسبت به فلزات سنگین ندارد. غلظت برخی از فلزات سنگین مانند سرب، روی و کادمیوم به‌صورت نقطه‌ای در برخی از نقاط بسیار زیاد است که سبب بالا رفتن آلودگی خاک شده است. این موضوع به دلیل نوع کانی‌های منطقه معدنی شامل اسفالریت و گالن می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی خاک، درجه آلودگی، فلزات سنگین.

*رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول ghasemi.a@lu.ac.ir

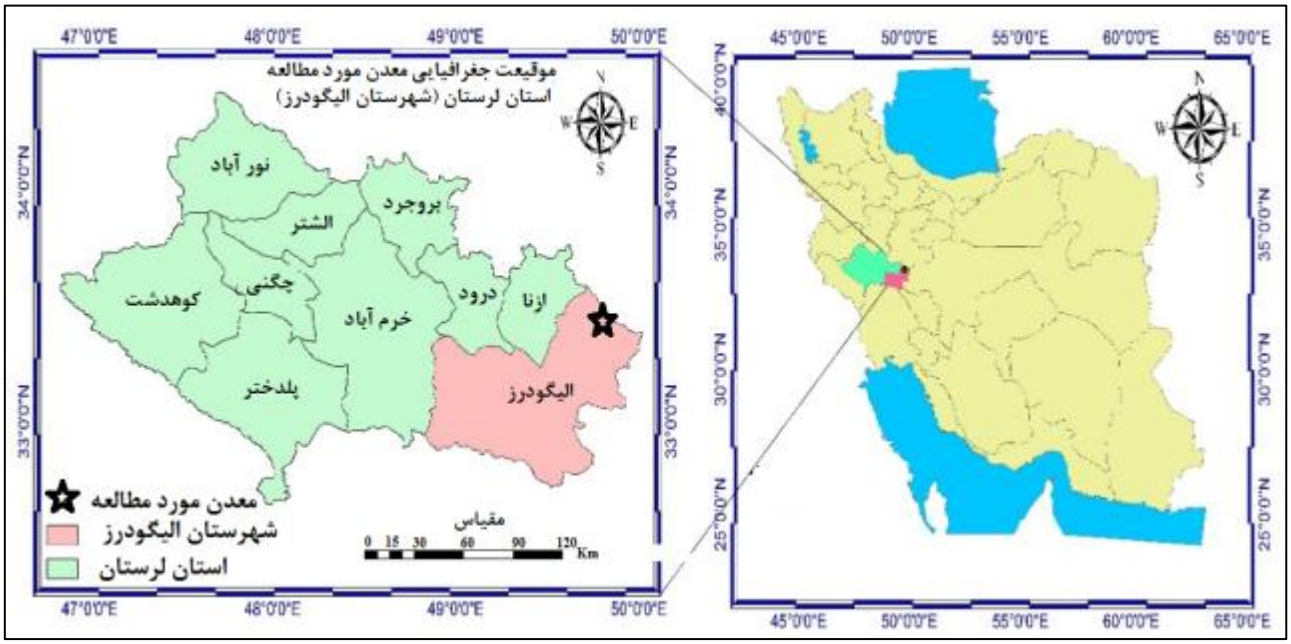
مقدمه

خاک، یکی از منابع زمین به شمار می‌رود که در اکثر نقاط محیط‌زیست پیرامون انسان وجود دارد. خاک علاوه بر تأمین مواد غذایی، نقش پالایندگی و تصفیه‌کنندگی نیز دارد (غضبان، ۱۳۹۳؛ صفاریان و همکاران، ۱۴۰۰). از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک که می‌تواند تأثیر زیادی بر سلامت موجودات زنده و مهم‌تر از همه انسان‌ها داشته باشد فلزات سنگین و عناصر کمیاب هستند. به دنبال رشد سریع صنعت در طی چند دهه گذشته، آلودگی خاک به فلزات سنگین گسترش‌یافته است. فعالیت‌های معدنی ازجمله عواملی هستند که باعث ورود این عناصر به چرخه طبیعت می‌شوند. آلاینده‌های منتشرشده از فعالیت‌های معدنکاری به‌عنوان یکی از پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، عامل محدودکننده مهمی برای توسعه پایدار بخصوص در صنایع تولیدی به شمار می‌رود (طاهری و همکاران، ۲۰۱۶؛ ساریخانی و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات زیادی در ارتباط با ورود فلزات سنگین به محیط خاک در مناطق مختلف و بیشتر در مناطق کانه‌زایی و معدنکاری کانسارهای فلزی انجام‌گرفته است. همچنین تاکنون پژوهش‌های متعددی درزمینهٔ پراکنش فلزات سنگین در خاک‌های مناطق شهری، صنعتی، کشاورزی و غیره صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که بر روی آلودگی فلزات سنگین در محدوده معدن فعال سرب–روی و مس کویول هیسار در ترکیه که توسط کسکین و توپتاس (۲۰۱۲) انجام گرفت، نشان داده شد که اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی باعث تولید آب‌های اسیدی با مقادیر بالای سولفات و آهن شده است. راست‌منش و همکاران (۲۰۱۳) به مطالعه تأثیر صنایع فولاد بر خاک نواحی اطراف این صنایع پرداخت. نتایج این محققان نشان داد که بیش‌ترین میزان آلودگی خاک مربوط به آهن، آرسنیک و کادمیوم بوده است. در بررسی آلودگی زیست‌محیطی معدن سرب و روی زه‌آباد قزوین توسط ستوهیان و همکاران (۱۳۹۳)، نتایج نشان‌دهنده بالا بودن غلظت عناصر سرب و روی در نمونه‌ها بود. بررسی آلودگی ۸ فلز سنگین در یک شهرک صنعتی واقع در شمال چین توسط لی (۲۰۱۵) نشان داد که غلظت فلزات سرب، کادمیوم و مس فراتر از میزان پس‌زمینه موردمطالعه است. سیستانی و همکاران (۱۳۹۶) آلودگی فلزات سنگین بر روی خاک‌های مجاور صنایع فولاد را مطالعه کردند. نتایج آنالیز و بررسی شاخص‌های آلودگی خاک‌نشان داد که ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط تا قابل‌توجه به عنصر سرب هستند.

همچنین مشخص گردید که غلظت بالای سرب و کادمیوم تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت سایر عناصر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. فلاح و همکاران (۱۳۹۸) خاک منطقه شهری کرج را ازنظر فلزات سنگین مورد ارزیابی قراردادند و نتایج نشان داد که مقدار سرب در نمونه‌های سطحی خاک بیشتر از سایر عناصر است. آرسنیک در مرکز و جنوب شهر کرج دارای بیشترین مقدار است. غلظت زیاد سرب و گوگرد در نمونه‌های سطحی برداشت‌شده از این محدوده مؤید این موضوع است که این عناصر منشأ انسان‌زاد دارند. نتایج مطالعه آلودگی عناصر سنگین معدنی در منطقه کوه زر (شمال شرق ایران) بر خاک‌های کشاورزی و منطقه معدنی نشان دادند که شاخص تجمع جغرافیایی برای عنصر کادمیوم در همه نمونه‌ها بسیار بالا و فاکتور غنی‌شدگی نیز مقدار بسیار بالایی را نشان می‌دهد که در اثر فعالیت‌های معدنی معدن طلا در منطقه می‌باشند (طهماسبی و همکاران، ۲۰۱۹). جمشیدی و همکاران (۱۳۹۹) آلودگی خاک‌های شرق شهرستان ازنا (استان لرستان) به فلزات سنگین را بررسی کردند. نتایج مطالعات این پژوهشگران نشان داد که منطقه بررسی‌شده، آلودگی کلی نسبت به فلزات سنگین ندارد ولی غلظت برخی از فلزات به‌صورت نقطه‌ای در برخی از نقاط بسیار بالاست. آن‌ها بیان کردند در صورت منشأ طبیعی آلودگی (سنگ و خاک)، می‌توان از این نقاط به‌عنوان نقاط دارای پتانسیل معدنکاری استفاده کرد. در پژوهش ساریخانی و همکاران (۱۳۹۹) غلظت فلزات سنگین و عناصر سمی بالقوه ۱۲۸ نمونه خاک از منطقه شمال غربی شهرستان چادگان (استان اصفهان) بررسی شد. نتایج شاخص‌های آلودگی خاک بیانگر این بود که خاک‌های موردمطالعه دارای آلودگی کم یا فاقد آلودگی‌اند. مطالعه این محققین همچنین نشان داد که به جزء عنصر سرب، که در برخی از نقاط نمونه‌برداری دارای غنی‌شدگی متوسط است، سایر عناصر دارای غنی‌شدگی ضعیف هستند. پژوهش حاضر باهدف تعیین غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک منطقه معدنی سرب و روی گل زرد (شمال شرقی الیگودرز، استان لرستان) جهت بررسی غنای خاک و میزان آلودگی آن به فلزات سنگین صورت گرفته است. نتایج این پژوهش، امکان ارزیابی مناسب آثار ناشی از ورود فلزات سنگین به محیط‌زیست را فراهم ساخته و پیشنهادهای مؤثری را جهت پایش محیط اطراف این معدن به‌منظور جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی تحت تأثیر این معدن ارائه کرده است.

منطقه موردمطالعه

معدن سرب و روی گل زرد در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان الیگودرز، در مسیر ارتباطی این شهرستان به شهرستان خمین قرار دارد. راه دسترسی به معدن از طریق جاده فرعی و خاکی الیگودرز به روستای گل زرد به فاصله ۴ کیلومتری به سمت شمال شرق می‌باشد (شکل ۱). معدن موردمطالعه بین ′۲۵ °۴۶ طول شرقی و ′۲۶ °۳۳ عرض شمالی قرار دارد. ازنظر زمین‌شناسی پهنه‌ای که معدن موردنظر در آن قرارگرفته است (پهنه سنندج – سیرجان) یکی از مناطق مهم کانه‌زایی سرب و روی در ایران می‌باشد. روند تکاملی یک کانسار به‌نوعی تابع ارتباط میان کانسار و محیط پیرامون آن می‌باشد. ازنظر زمین‌ریخت‌شناسی، بخشی از شهرستان که دارای معادن سنگ است در پهنه سنندج– سیرجان واقع‌شده است. پهنه سنندج – سیرجان در این ناحیه شامل سنگ‌های گرانیتوئیدی می‌باشد که در درون سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای مانند اسلیت، فیلیت و شیست تزریق‌شده‌اند (شکل ۲) (صامتی، ۱۳۹۰).شهرستان الیگودرز (که کانسار سرب و روی گل زرد در آن واقع است) ازنظر موقعیت جغرافیایی بین ′۴۲ °۴۹ طول شرقی و ′۲۴ °۳۳ عرض شمالی واقع‌شده است. این شهرستان از شمال با شهرستان‌های خمین، محلات، اراک، از جنوب با شهرستان‌های دزفول، فریدون‌شهر، کوهرنگ، از شرق با شهرستان‌های داران، گلپایگان، خوانسار و از غرب با شهرستان‌های ازنا، دورود، شازند، بروجرد و خرم‌آباد ارتباط دارد. شهرستان الیگودرز در ناحیه کوهستانی زاگرس مرکزی قرارگرفته و نزدیک به ۲۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. ازنظر آب و هوایی منطقه سردسیر محسوب می‌شود. میانگین نزولات جوی این شهرستان سالانه ۶۶۰ میلی‌متر که عمدتاً به‌صورت برف می‌باشد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار نزولات جوی سالانه به ترتیب مربوط به فصل‌های تابستان و زمستان است.

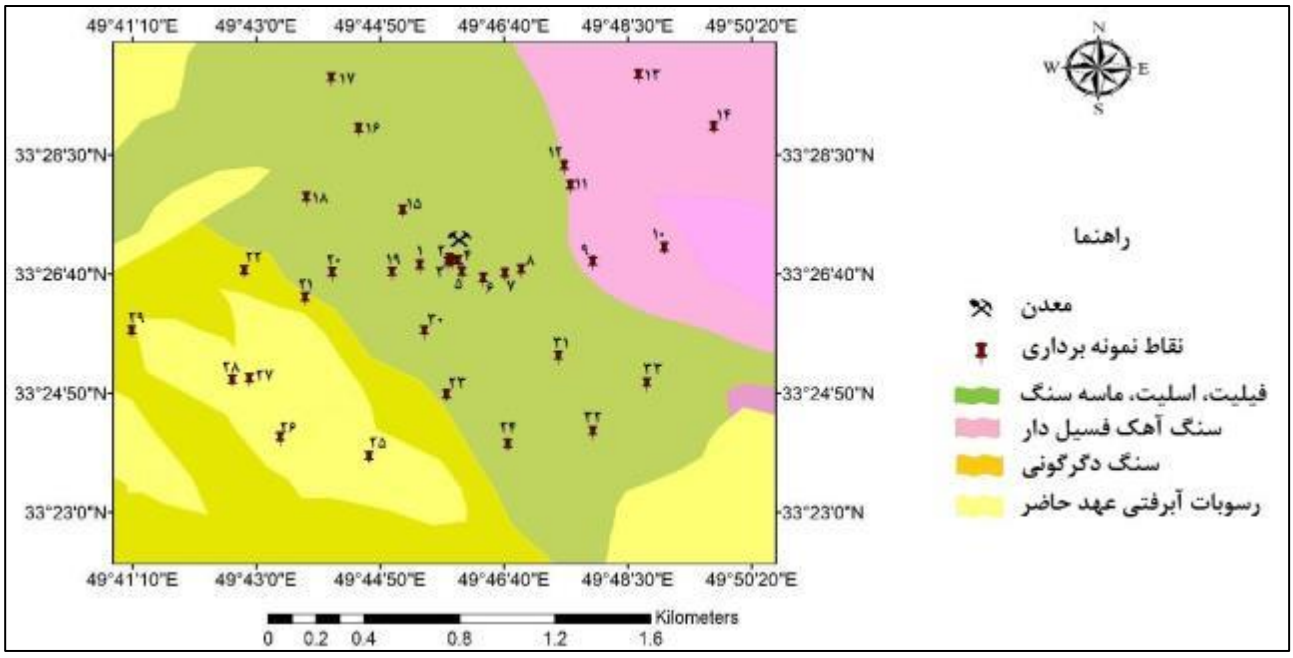


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

مواد و روش‌های تحقیق

با استفاده از منابع موجود و گزارش‌های تهیه‌شده، بازدیدهای میدانی و همچنین با استفاده از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرستان الیگودرز، موقعیت دقیق معدن سرب و روی گل زرد شناسایی و برنامه‌ریزی برای نمونه‌برداری خاک از مناطق محدوده معدن انجام شد. به‌منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی معدن بر خاک‌های منطقه، ۳۳ نمونه خاک از ایستگاه‌های مختلف تهیه گردید. نمونه‌های خاک از رگه‌های کانی‌سازی، باطله‌ها و زمین‌های کشاورزی روستاهای نزدیک منطقه معدنی جمع‌آوری شدند. برای تهیه یک نمونه خاک، سه‌نقطه با فواصل ۲ متری از همدیگر تعیین شدند. با کنار زدن خاک سطحی هر یک از این نقاط، از عمق ۵ تا ۲۵ سانتی‌متری سطح زمین نمونه‌های خاک با وزن تقریبی ۱/۵ کیلوگرم به‌وسیله یک بیلچه تمیز و بدون رنگ جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک تهیه‌شده از این سه‌نقطه روی نایلون تمیز باهم مخلوط و قلوه‌سنگ‌ها جدا شدند. در پایان مقدار ۳ کیلوگرم از خاک موردنظر در کیسه نایلونی تمیز و محکم ریخته و با ثبت موقعیت جغرافیایی نقطه نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS، به هر نمونه یک کد اختصاص داده شد. در پایان تمامی ۳۳ نمونه خاک تهیه‌شده از ۳۳ ایستگاه مختلف به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل

شدند. شکل (۲) نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. به‌منظور تعیین غلظت فلزات سنگین شامل اسکاندیم، آرسنیک، ایتریم، کادمیوم، مس، نیکل، وانادیم، کروم، سرب، باریم، منگنز و روی از فناوری طیف‌سنج جرمی جفت شده پلاسمای القایی (ICP-MS) استفاده شد. فناوری فوق‌الذکر یکی از بهترین روش‌ها جهت آنالیز فلزات سنگین در خاک بوده و دارای دقت بالا و حد تشخیص در حد ppm و دامنه تشخیص ۵۶ عنصری می‌باشد. بر اساس نتایج ICP-MS، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین توسط شاخص‌های زیست‌محیطی شامل شاخص غنی‌شدگی (Enrichment Factor, E_f)، شاخص زمین انباشت (Geoaccumulation Index, I_{geo}) و شاخص آلودگی (Contamination Factor, C_f) موردبررسی قرار گرفتند. همچنین برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای SPSS، Excel و ArcGIS استفاده‌شده است.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه (صامتی، ۱۳۹۰) و نقاط نمونه‌برداری

جدول ۱: میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (میترا و کبکوس، ۱۹۹۷)

عنصر	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	V	Y	Zn
شیل جهانی	۱۳	۵۸	۰/۳	۹۰	۴۵	۸۵۰	۶۸	۲۰	۱۳	۱۳۰	۳۰	۹۵
خاک منطقه	۲۸/۱۹	۴۷۹/۸۱	۲۰۰/۸۲	۱۷۶/۳۹	۶۳/۹۰	۴۷۵/۵۵	۷۱/۶۹	۱۹۷/۲۲	۲۰/۹	۱۴۱/۳۹	۳۵/۸۴	۴۹۲/۲۸

آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)

شاخص‌های زیست‌محیطی برای بررسی آلودگی خاک منطقه موردمطالعه

- **شاخص غنی‌شدگی (Enrichment Factor, E_f)**

اساس این روش بر مبنای مقایسه غلظت فلز موردنظر در نمونه‌ها با غلظت همان فلز در ناحیه غیر آلوده است. این غلظت‌ها بر اساس غلظت عنصر مرجع که در این مبحث اسکاندیم می‌باشد، نرمال می‌شوند. انتخاب فلز اسکاندیم به‌عنوان فلز مرجع به این دلیل است که غلظت این فلز تحت تأثیر سایر عناصر نیست. رابطه (۱) چگونگی محاسبه شاخص غنی‌شدگی را نشان می‌دهد (ساتهرلند، ۲۰۰۰)؛

$$E_f = \frac{(C_m/C_s)x}{(C_m/C_s)c} \qquad (۱)$$

در این رابطه، C_m غلظت واقعی فلز سنگین موردنظر برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، C_s غلظت عنصر مرجع زمینی برحسب میلی–گرم بر کیلوگرم در خاک، c و x به ترتیب غلظت عناصر موردنظر در نمونه و پوسته زمین هستند. غلظت عنصر مرجع می‌تواند آهن، اسکاندیم، تیتان، منگنز یا آلومینیوم باشد که در این پژوهش عنصر اسکاندیم به‌عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته‌شده است (دیلی، ۱۹۹۴). ساتهرلند (۲۰۰۰) درجه سطوح آلودگی خاک‌ها را بر مبنای شاخص غنی‌شدگی به ۵ گروه مطابق جدول (۲) طبقه‌بندی کرده است.

جدول ۲: طبقه‌بندی میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک (ساتهرلند، ۲۰۰۰)

سطح آلودگی	E_f
عدم وجود آلودگی یا درجه غنای حداقل	$E_f<2$
درجه غنای متوسط	$2\leq E_f<5$
غنای قابل‌توجه	$5\leq E_f<20$
غنای شدید	$20\leq E_f\leq 40$
غنای بسیار شدید	$E_f\geq 40$

- **شاخص زمین انباشت (Geoaccumulation Index, I_{geo})**

روش متداول دیگر برای ارزیابی آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، مقایسه غلظت اندازه‌گیری شده هر فلز سنگین در نمونه با غلظت پس‌زمینه ژئوشیمیایی آن در خاک با استفاده از شاخص زمین انباشت است. این شاخص توسط (مولر، ۱۹۷۹) به‌صورت رابطه زیر پیشنهادشده است؛

$$I_{geo} = log_2\left(\frac{C_n}{1.5B_n}\right) \qquad (۲)$$

در این رابطه I_{geo} شاخص زمین انباشت، C_n غلظت فلز سنگین در خاک و B_n غلظت پس‌زمینه فلز سنگین موردنظر در پوسته زمین است. ضریب ثابت ۱/۵ به‌منظور به حداقل رساندن اثر تغییرات احتمالی در غلظت‌های پس‌زمینه است که معمولاً این اختلافات به دلیل تغییرات کانی‌شناسی خاک‌ها است. رده‌بندی شدت آلودگی خاک‌ها بر اساس این شاخص توسط مولر (۱۹۷۹) بر اساس جدول (۳) پیشنهادشده است.

جدول ۳: شاخص زمین انباشت برای ارزیابی شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین (مولر، ۱۹۷۹)

شدت آلودگی	I_{geo}
نسبتاً غیر آلوده	$I_{geo}<0$
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	$0\leq I_{geo}<1$
آلودگی متوسط	$1\leq I_{geo}<2$
آلودگی متوسط تا شدید	$2\leq I_{geo}<3$
آلودگی شدید	$3< I_{geo}<4$
آلودگی شدید تا بسیار شدید	$4\leq I_{geo}<5$
آلودگی بسیار شدید	$I_{geo} >5$

- **شاخص آلودگی (C_f ,Contamination Factor)**

شاخص آلودگی در سال ۱۹۸۰ میلادی توسط هاکانسون به‌عنوان روشی برای محاسبه شاخص کلی آلودگی بر مبنای ۷ فلز سنگین (سرب، جیوه، آرسنیک، کروم، روی، مس، کادمیوم) معرفی شد. برای محاسبه شاخص آلودگی، غلظت میانگین فلز در نمونه‌های خاک با سطح پس‌زمینه در پوسته زمین مطابق با رابطه (۴) مقایسه می‌گردد؛

$$C_f = C_x/C_b \qquad (۳)$$

در این رابطه، C_x و C_b به ترتیب میانگین غلظت فلز در خاک و پوسته زمین هستند. طبقه‌بندی شدت آلودگی بر اساس شاخص آلودگی توسط هاکانسون (۱۹۸۰) به‌صورت جدول (۴) است.

جدول ٤: ارزیابی درجه آلودگی خاک بر اساس شاخص آلودگی (هاکانسون، ۱۹۸۰)

درجه آلودگی	C_f
آلودگی پایین	$C_f<1$
آلودگی متوسط	$1\leq C_f<3$
آلودگی قابل‌توجه	$3\leq C_f<6$
آلودگی بسیار بالا	$C_f\geq 6$

نتایج و بحث

در جدول (۵)، محدوده E_f و I_{geo} و C_f محاسبه‌شده در خاک‌های نمونه‌برداری شده به‌صورت میانگین نمایش داده‌شده است. با توجه به مقادیر این جدول، مشخص شد که متوسط میزان E_f موردسنجش به‌صورت زیر افزایش‌یافته است: کادیم>اسکاندیم>ایتریم>وانادیم >سرب>باریم >روی>مس>کروم>آرسنیک>نیکل>منگنز. به عبارتی می‌توان گفت بالاترین میزان غنی شدگی خاک با فلزات بر اساس شاخص E_f مربوط به کادمیوم و کم‌ترین نیز مربوط به فلز منگنز است. متوسط میزان I_{geo} نیز دارای روند نزولی زیر بود:کادیم>کروم>سرب>اسکاندیم>ایتریم>روی>نیکل>وانادیم>آرسنیک>باریم>مس>منگنز. به طوری که شاخص I_{geo} نیز نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان غنی‌شدگی خاک به فلزات سنگین به ترتیب مربوط به کادمیوم و منگنز است. متوسط میزان C_f نیز به‌صورت زیر خود را نشان داد:

سرب>کادیم>باریم>روی>آرسنیک>کروم>اسکاندیم>مس>ایتریم>وانادیم>نیکل>منگنز. با توجه به میزان C_f بیش‌ترین درجه آلودگی مربوط به فلز سرب و کم‌ترین مربوط به فلز منگنز بود.

جدول ۵: مقادیر شاخص‌های موردمطالعه برای فلزات سنگین منطقه موردمطالعه

عنصر	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	V	Y	Zn
E_f	۰/۱۰	۰/۳۸	۴/۹۷	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۴	۱	۰/۶	۰/۷	۰/۲۱
I_{geo}	−۰/۷۲	−۱/۰۸	۰/۴۰	۰/۳۲	−۳/۸۴	−۸/۲۲	−۰/۵۵	۰/۰۲	۰/۰۱	−۰/۵۶	−۰/۵۰	−۰/۵۵
C_f	۲/۱۷	۶/۹۸	۸/۴۱	۱/۹۶	۱/۴۲	۰/۵۶	۱/۰۵	۹/۸۶	۱/۶۱	۱/۰۹	۱/۱۹	۵/۱۸

آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)

آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک منطقه موردمطالعه به‌صورت حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد و چولگی در جدول شماره (۶) ارائه شده‌اند. با توجه به جدول (۶) در بین فلزات سنگین موردسنجش بالاترین میانگین غلظت فلزات در خاک محدوده موردمطالعه مربوط به فلز روی (X=۴۹۲/۲۷) و کم‌ترین غلظت فلزات مربوط به اسکاندیم (X=۲۰/۹۳) می‌باشد و میانگین سایر عناصر به ترتیب از زیاد به کم شامل منگنز>باریم>سرب>کروم>وانادیم>نیکل>مس>کادمیوم>ایتریم>آرسنیک می‌باشند. انحراف استاندارد غلظت فلزات در خاک‌های منطقه موردمطالعه با روند نزولی روی>سرب>منگنز>باریم> مس> کروم>آرسنیک>وانادیم>ایتریم>نیکل>کادمیوم>اسکاندیم کاهش یافت. مقادیر زیاد انحراف استاندارد نشان‌دهنده گستره تغییراتی وسیع در غلظت‌های فلزی خاک‌های منطقه موردمطالعه است که این موضوع برای عناصر روی، سرب، منگنز، باریم و مس بیشتر از سایر فلزات سنگین می‌باشد. میزان چولگی اکثر فلزات مثبت بود که نمایان‌گر این است که فلزات میل به سمت غلظت‌های پایین‌تر دارند. جهت بررسی توزیع و نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از آزمون کلموگروف–اسمیرنوف استفاده شد (جدول ۷). با توجه به مقدار استاندارد ۰/۰۵ برای تعیین نرمال بودن داده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که مقدار داده‌های عناصر آرسنیک، کادمیوم، مس، منگنز، ایتریم و روی معنی‌دار بوده و بقیه عناصر دارای توزیع نرمال بودند.

جدول ۶: آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین خاک منطقه موردمطالعه

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	چولگی
As	۴/۸۲	۳۴۲	۲۸/۱۹	۶۰/۳۳	۴/۶۹
Ba	۱۷۰	۸۲۳	۴۰۴/۸۷	۱۶۲/۷۱	۱/۰۱
Cd	۰/۱۰	۳۳/۷۰	۵۶/۲	۷/۰۸	۳/۷۹
Cr	۹۰	۴۵۰	۱۷۶/۳۹	۶۴/۲۷	۲/۵۶
Cu	۱۹	۷۲۲	۶۳/۹۰	۱۲۰/۹۰	۵/۳۵
Mn	۰/۰۵	۱۵۸۷	۴۷۵/۵۵	۵۸۵/۰۶	۰/۵۵
Ni	۴۰	۱۱۰	۷۱/۶۹	۱۶/۶۴	−۰/۰۶
Pb	۰/۳۹	۵۳۷۰	۱۹۷/۲۲	۹۲۹/۰۲	۵/۷۳
Sc	۶	۳۶	۲۰/۹۳	۶/۷۰	−۰/۰۵
V	۶۰	۲۷۰	۱۴۱/۳۹	۵۲/۸۰	۰/۶۸
Y	۱۳	۶۶	۳۵/۸۴	۱۶/۹۱	۰/۳۴
Zn	۱/۶۶	۱۱۷۷۶	۴۹۲/۲۷	۲۰۳۸/۹۸	۵/۶۰

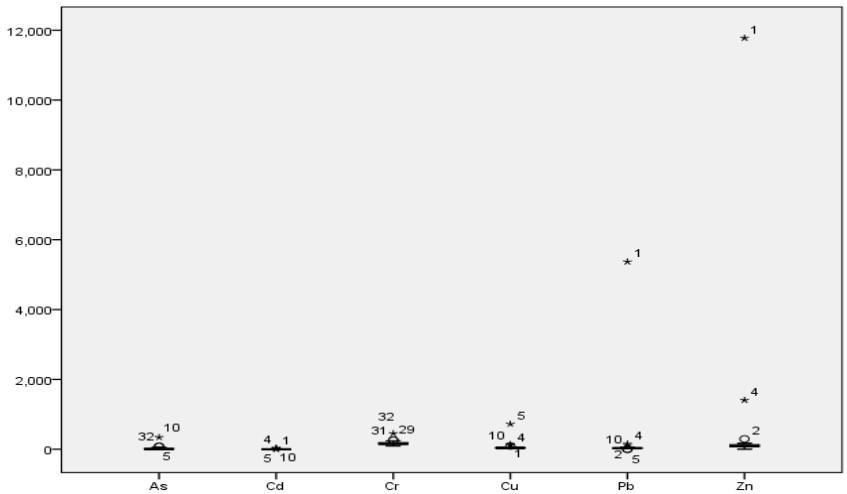
آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)

جدول ۷: بررسی نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون کلموگروف–اسمیرنوف

عنصر	میانگین	انحراف استاندارد	سطح معنی‌داری آزمون کلموگروف–اسمیرنوف
As	۴/۸۲	۶۰/۳۳	۰
Ba	۱۷۰/۰۰	۱۶۲/۷۱	۰/۲۰
Cd	۰/۱۰	۷/۰۸	۰
Cr	۹۰/۰۰	۶۴/۲۷	۰/۰۱
Cu	۱۹/۰۰	۱۲۰/۹۰	۰
Mn	۰/۰۵	۵۸۵/۰۶	۰
Ni	۴۰/۰۰	۱۶/۶۴	۰/۲۰
Pb	۰/۳۹	۹۲۹/۰۲	۰
Sc	۶/۰۰	۶/۷۰	۰/۲۰
V	۶۰/۰۰	۵۲/۸۰	۰/۲۰
Y	۱۳/۰۰	۱۶/۹۱	۰/۰۰۴
Zn	۱/۶۶	۲۰۳۸/۹۸	۰

آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)

بر اساس شکل (۳)، مشاهده می‌شود عنصر آرسنیک در ایستگاه‌های شماره ۵ و ۳۲ با مقدارهای به ترتیب ۸۳/۳ و ۸۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای مقادیر پرت و در ایستگاه ۱۰ با غلظت ۳۴۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای مقدار غیرعادی بودکه حاکی از آلودگی خاک این ایستگاه با این عنصر می‌باشد. عنصر کادمیوم در ایستگاه‌های شماره ۱۰، ۵، ۱ و ۴ به ترتیب با داشتن مقدارهای ۳۳/۷، ۲۴/۳، ۸/۷ و ۲/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم داده غیرعادی محسوب شدند که نشان‌دهنده آلودگی بالای نقاط موردنظر با این عنصر است. فلز کروم با داشتن غلظت ۲۶۰/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه‌های ۲۹ و ۳۱ دارای مقادیر پرت و در ایستگاه شماره ۳۲ با مقدار ۴۵۰/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم داده غیر عادی بود. فلز مس با غلظت‌های ۷۲۲/۰، ۱۳۹/۰ و ۱۱۵/۰ به ترتیب در ایستگاه‌های ۵، ۱ و ۱۰ داده‌های غیر عادی و در ایستگاه ۴ با غلظت ۹۲/۰ داده پرت بود. سرب در ایستگاه‌های ۱ و ۴ با دارا بودن مقدار ۵۳۷۰/۰ و ۱۵۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم داده غیرعادی و در ایستگاه‌های ۲، ۵ و ۱۰ با مقدارهای ۱۱۴/۰، ۰/۹۷ و ۰/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم داده پرت محسوب شدند. ایتریوم در ایستگاه‌های ۱۴ و ۱۳ با دارا بودن مقادیر ۹/۴۸ و ۸/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مقادیر غیر عادی بودند. عنصر روی با دارا بودن غلظت‌های ۱۱۷۷۶/۰ و ۱۴۰۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه‌های ۱ و۴ داده‌های غیرعادی و با داشتن غلظت ۲۹۵/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۲ داده پرت محسوب شدند.



شکل ۳: نمودار جعبه‌ای عناصر آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، سرب (Pb) و روی (Zn) در خاک منطقه موردمطالعه

نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که همبستگی قوی بین عناصر آرسنیک و کادمیوم (r =۰/۸۷)، باریم و وانادیوم (r =۰/۷۸) و سرب و روی (r =۰/۹۹) وجود دارد که ممکن است نشانه دهنده منشأ یکسان آن‌ها باشد. بین عناصرآرسنیک و نیکل (r =۰/۵۱)، باریم و نیکل (r =۰/۵۱)، کادمیوم و مس (r =۰/۶۵)، وانادیوم و کروم (r =۰/۶۰) و اسکاندیم و ایتریم (r =۰/۵۳) همبستگی متوسط وجود دارد. سایر عناصر دارای همبستگی پایینی باهمدیگر هستند (جدول ۸).

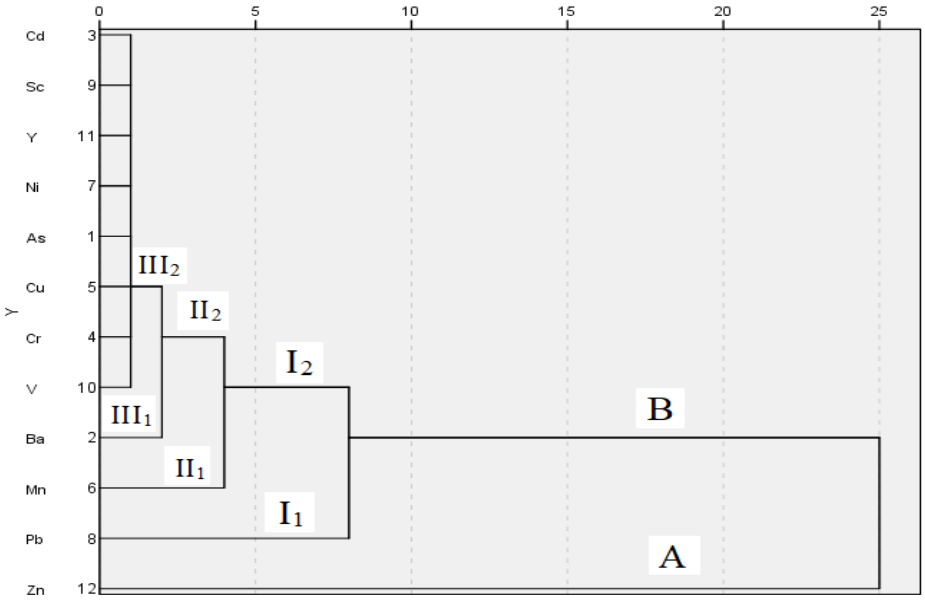
جدول ۸: همبستگی پیرسون فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه

	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sc	V	Y	Zn
آرسنیک	۱											
باریم	۰/۲۵	۱										
کادمیوم	۰/۸۷	۰/۲۱	۱									
کروم	−۰/۰۶	۰/۲۰	−۰/۱۹	۱								
مس	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۶۵	−۰/۱۲	۱							
منگنز	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۳۹	−۰/۳۸	۰/۳۲	۱						
نیکل	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۳۸	۱					
سرب	۰/۰۹	۰/۳۷	۰/۱۴	−۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۸	۱				
اسکاندیم	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۷	−۰/۲۶	۰/۱۵	۱			
وانادیم	۰/۲۷	۰/۷۸	۰/۱۹	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۴۶	۰/۲۲	۰/۳۸	۱		
ایتریم	−۰/۲۱	−۰/۲۷	−۰/۲۲	۰/۴۷	−۰/۲۵	−۰/۶۴	−۰/۵۱	−۰/۱۷	۰/۵۳	۰/۰۷	۱	
روی	۰/۰۹	۰/۴۲	۰/۱۴	−۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۹۹	.۰/۱۶	۰/۲۴	−۰/۱۹	۱

آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)

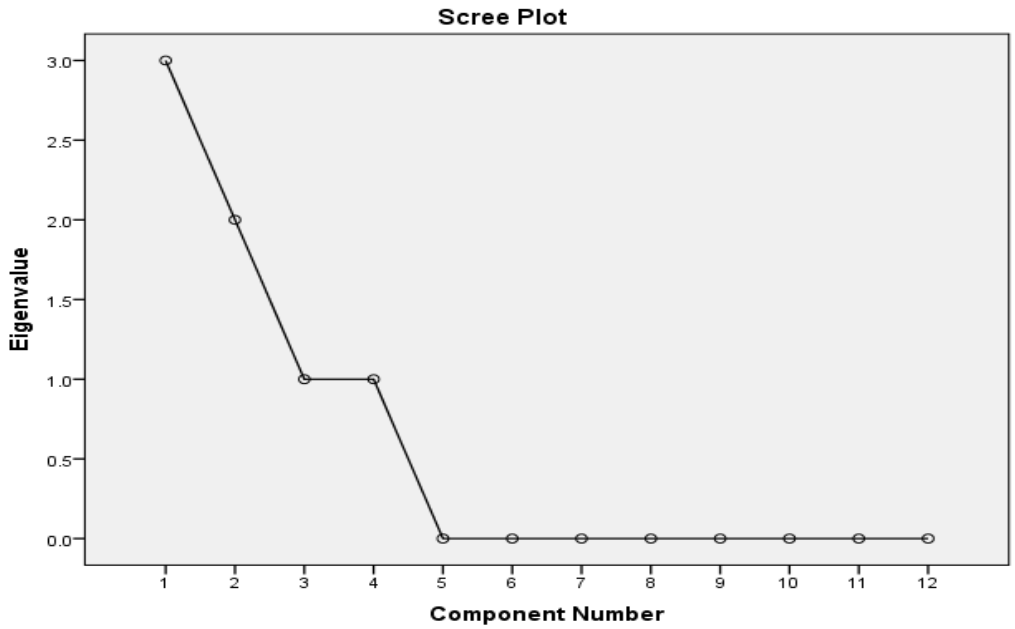
نمودار خوشه‌ای فلزات سنگین در شکل (۴) نمایش داده‌شده است. همان‌طور که این نمودار نشان می‌دهد عناصر در ۵ خوشه قرار می‌گیرند. خوشه‌های A و B شاخص‌تر از سایر خوشه‌ها هستند. خوشه A شامل عنصر روی است که با توجه غالب بودن کانی اسفالریت (ZnS) در منطقه معدنی، شاخص بودن عنصر روی طبیعی می‌باشد. خوشه B شامل دو زیرگروه I_1 و I_2 است که زیر گروه I_1 شامل عنصر سرب است. نزدیکی این خوشه با عنصر روی با توجه به حضور کانی‌های منشأ این دو فلز [کانی گالن (PbS) منشأ سرب و کانی اسفالریت (ZnS) منشأ روی] در کنار همدیگر است. این موضوع در معادن سرب و روی امری بدیهی و طبیعی محسوب می‌شود. خوشه I_2 به دو زیرگروه II_1 وII_2 تقسیم شده که در خوشه II_1 عنصر منگنز قرارگرفته و خوشه II_2 شامل دو زیرگروه III_1 و III_2 بود که عنصر باریم در

خوشه III_1 قرار داشته و در خوشه III_2 عناصر وانادیم، کروم، مس، آرسنیک، نیکل، ایتریم، اسکاندیم و کادمیوم قرارگرفته‌اند.



شکل۴: نمودار خوشه‌ای فلزات سنگین موردمطالعه [آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)]

آنالیز فاکتوری ترکیب شیمیایی نمونه‌های خاک منطقه با استفاده از نمودار اسکری انجام شد. نمودار اسکری اطلاعات با ارزشی در رابطه با تفسیر فاکتورها و عوامل کنترل کننده غلظت فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه می‌دهد. نمودار اسکری برای فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد که ۴ عامل اصلی در غلظت عناصر سنگین نقش اساسی دارند (شکل ۵).



شکل ۵: نمودار اسکری فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه

جدول آنالیز عاملی (جدول ۹) ۱۲ فاکتور را معرفی می‌کند که ۴ فاکتور ابتدایی (فاکتورهای ۱، ۲، ۳ و ۴) ۸۰/۳۴٪ واریانس کل را شامل می‌شوند و سایر فاکتورها (فاکتورهای ۵ تا ۱۲) ۱۹/۶۶٪ از درصد واریانس کل به خود اختصاص دادند. با توجه به نتایج همبستگی عناصر با عامل‌های شناسایی شده در جدول (۱۰)، فاکتور اول ۳۳/۰۵٪ واریانس کل را تشکیل می‌دهد که همبستگی بالایی با عناصر باریم، کادمیوم و منگنز دارد. این موضوع می‌تواند نشانه هم منشأ بودن کانی‌های حاوی این عناصر باشد. فاکتور دوم ۲۰/۰۶٪ از واریانس را به خود اختصاص داد که این عامل همبستگی بالایی با عناصر کروم، اسکاندیم، وانادیم و ایتریم دارد که می‌تواند بیانگر هم منشأ بودن غلظت این فلزات با ترکیب نفت خام در اثر فعالیت‌های انسانی در خاک منطقه باشد. عامل سوم ۱۵/۱۲٪ از واریانس کل را تشکیل می‌دهد. این عامل همبستگی خوبی با عناصر آرسنیک و کادمیوم دارد که می‌تواند نشان‌دهنده هم منشأ بودن غلظت این فلزات باشد. عامل چهارم ۱۲/۰۹٪ واریانس کل را شامل می‌شود که دارای همبستگی بالایی با اسکاندیم و کادمیوم دارد. با توجه به اینکه اسکاندیم کمترین تأثیر را در افزایش غلظت از عوامل بیرونی می‌پذیرد نشان‌دهنده غلظت زمین‌زاد در این فاکتور است.

جدول ۹: نتایج آنالیز تحلیل بار عاملی فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه

فاکتور	مقادیر ویژه اولیه		
	جمع	درصد واریانس	درصد انباشته
۱	۳/۹۶	۳۳/۰۵	۳۳/۰۵
۲	۲/۴۰	۲۰/۰۶	۵۳/۱۲
۳	۱/۸۱	۱۵/۱۲	۶۸/۲۵
۴	۱/۴۵	۱۲/۰۹	۸۰/۳۴
۵	۰/۹۱	۷/۵۸	۸۷/۹۳
۶	۰/۷۶	۶/۳۵	۹۴/۲۸
۷	۰/۳۰	۲/۵۰	۹۶/۷۸
۸	۰/۱۹	۱/۶۵	۹۸/۴۴
۹	۰/۱۰	۰/۸۸	۹۹/۳۲
۱۰	۰/۰۷	۰/۵۸	۹۹/۹۱
۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۷	۹۹/۹۸
۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۱۰۰/۰۰

جدول ۱۰: همبستگی فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه با مؤلفه‌های اصلی

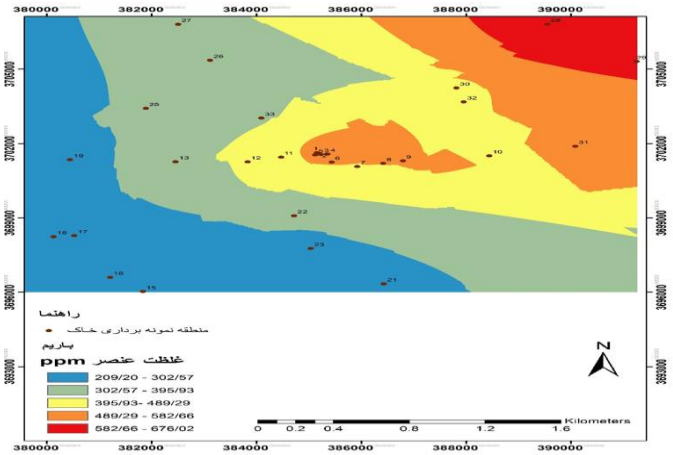
عنصر	مؤلفه‌های عاملی			
	۱	۲	۳	۴
As	۰/۲۰	۰/۴۶	−۰/۱۴	۰/۶۸
Ba	−۰/۲۶	−۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۷۲
Cd	۰/۴۱	۰/۴۳	−۰/۲۲	۰/۷۰
Cr	−۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۷۶	−۰/۰۹
Cu	۰/۳۴	۰/۲۷	−۰/۱۶	۰/۵۲
Mn	−۰/۰۰۱	−۰/۰۱	−۰/۳۲	۰/۷۰
Ni	−۰/۵۳	۰/۱۴	−۰/۰۷	۰/۶۹
Pb	۰/۲۰	−۰/۷۴	۰/۲۴	۰/۵۲
Sc	۰/۵۷	۰/۱۱	۰/۶۳	۰/۱۲
V	−۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۶۹	۰/۵۷
Y	۰/۳۸	۰/۲۲	۰/۶۴	−۰/۵۳
Zn	۰/۱۹	−۰/۷۴	۰/۲۴	۰/۵۴

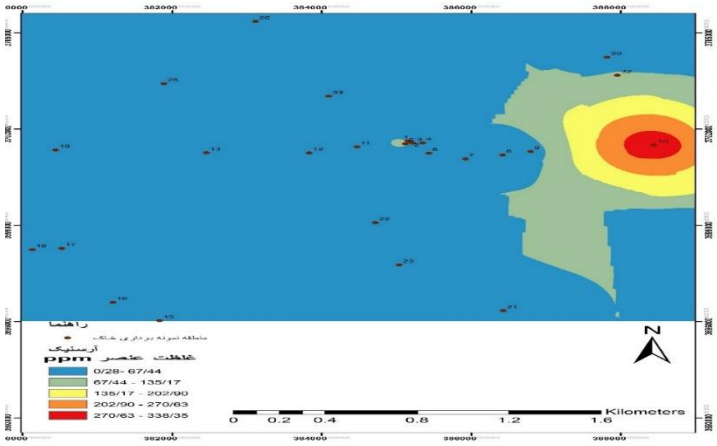
آرسنیک (As)، باریم (Ba)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، اسکاندیم (Sc)، وانادیم (V)، ایتریم (Y)، روی (Zn)

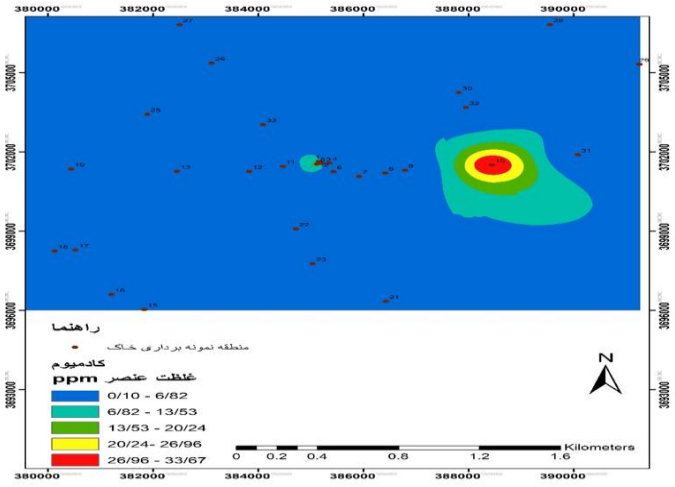
برای تهیه توزیع مکانی آلودگی خاک منطقه موردمطالعه به فلزات سنگین از نرم افزار ArcGIS استفاده شد. از آنجا که روش‌های کریجینگ (معمولی، ساده و گسسته) دارای پتانسیل بالایی برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک

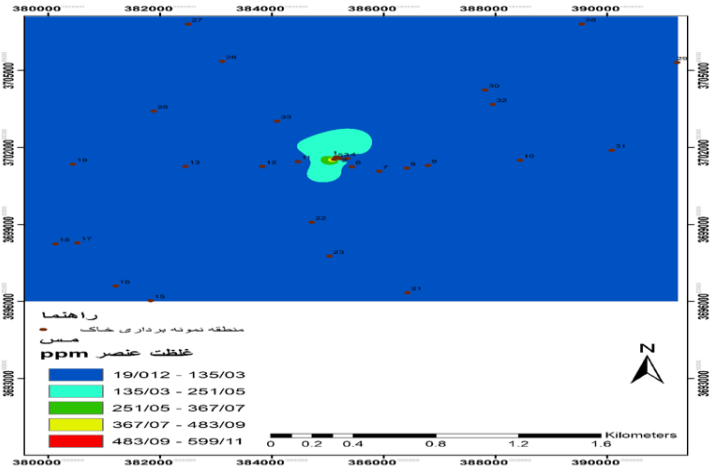
هستند؛ لذا به‌عنوان روش‌هایی مناسب برای درون یابی و تهیه نقشه آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند (کریمی نژاد و طهماسبی، ۲۰۱۵). توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در محدوده موردمطالعه در شکل (۶) نشان داده‌شده‌اند. نقشه توزیع مکانی عنصر باریم نشان‌دهنده غلظت بالای این عنصر در ایستگاه ۲۸ در محدوده ۶۷۶/۰۲ – ۲۸۲/۶۶ می‌باشد. ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ نیز با قرار گرفتن درمحدوده ۵۸۲/۶۶ – ۴۸۹/۲۹ مقادیر بالایی از این عنصر را دارند. می‌توان گفت غلظت عنصر باریم در کل ایستگاه‌ها نسبت به استاندارد شیل جهانی بالا می‌باشد. با توجه به نقشه توزیع مکانی عنصر آرسنیک، بیشترین غلظت این عنصر در ایستگاه ۱۰ و در محدوده ۳۳۸/۳۵ – ۲۷۰/۶۳ بوده و در ایستگاه‌های ۵ و ۳۲ که در محدوده ۱۳۵/۱۷ – ۶۷/۴۴ می‌باشند، غلظت این عنصر نیز بالاست. در هر سه ایستگاه ۱۰، ۵ و ۲۳ غلظت آرسنیک نسبت به شیل جهانی (۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر می‌باشد. عنصر کادمیوم با توجه به نقشه توزیع مکانی این عنصر در ایستگاه ۱۰ در محدوده ۳۳/۶۷ – ۲۶/۹۶ دارای بالاترین غلظت می‌باشد. با توجه به نقشه توزیع مکانی عنصر مس در منطقه، بالاترین غلظت مربوط به ایستگاه ۵ بوده که در محدوده ۵۹۹/۱۱ – ۴۸۳/۰۹ قرارگرفته است. نقشه توزیع مکانی عنصر سرب نشان می‌دهد که ایستگاه‌های مرکزی معدن دارای غلظت بالایی از این عنصر در محدوده ۵۳۷۰ – ۴۰۲/۲۴ می‌باشند. غلظت این عنصر با فاصله از معدن رابطه معکوس دارد به طوری که با دور شدن از بخش فعال معدن غلظت این عنصر کم‌تر شده است. بررسی وضعیت توزیع مکانی عنصر روی نشان‌دهنده بالاترین غلظت این عنصر در بخش مرکزی معدن بوده که از این نظر شباهت زیادی به توزیع مکانی عنصر سرب دارد. بیشترین غلظت عنصر روی مربوط به ایستگاه‌های نزدیک به بخش فعال معدن می‌باشد و با فاصله گرفتن از معدن، از غلظت این عنصر کاسته شده است. عنصر نیکل با توجه به نقشه ارزیابی توزیع مکانی، بیشترین غلظت را در ایستگاه‌های اطراف و دورتر معدن داشته که شامل ایستگاه‌هایی است که در محدوده ۱۱۰/۰۰ – ۸۱/۱۵ قرارگرفته‌اند. ارزیابی توزیع مکانی عنصر منگنز نشان می‌دهد که ایستگاه‌های نزدیک معدن بیشترین غلظت از این عنصر در محدوده ۱۴۳۷/۴۸ – ۱۱۶۲/۰۸ را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نقشه توزیع مکانی عنصر کروم، ایستگاه ۳۲ بیشترین غلظت این عنصر را دارد که در محدوده ۴۴۰/۱۰ – ۳۷۰/۹۸ قرار دارد. ارزیابی توزیع مکانی عنصر ایتریم نشان داد که بیشترین غلظت این عنصر مربوط به ایستگاه‌های ۱۷، ۱۸، ۲۷ و ۳۲ می‌باشد که در محدوده ۶۶/۰۷ – ۵۵/۵۰ قرارگرفته‌اند. عنصر اسکاندیم در ایستگاه‌های ۱۷ و ۱۸ بیشترین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند

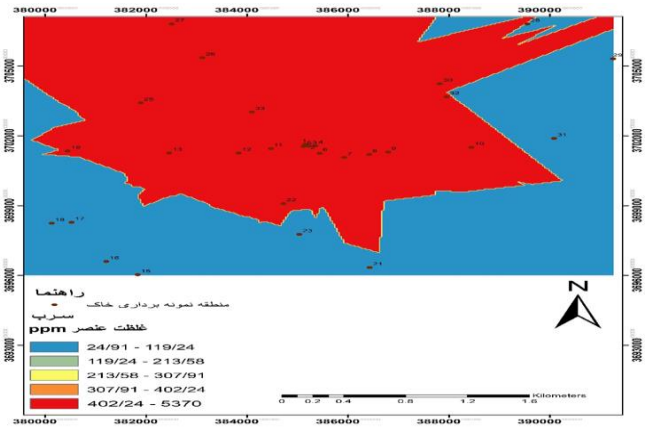
که در محدوده ۳۵/۰۸ – ۲۹/۴۱ قرارگرفته‌اند. عنصر وانادیم در ایستگاه شماره ۲۹ دارای بیشترین غلظت در محدوده ۲۵۸/۷۵ – ۲۲۱/۷۱ می‌باشد. بین غلظت عنصر وانادیم و بخش فعال معدن رابطه مستقیم وجود دارد به این صورت که با دور شدن از معدن غلظت این عنصر نیز بیشتر شده است.

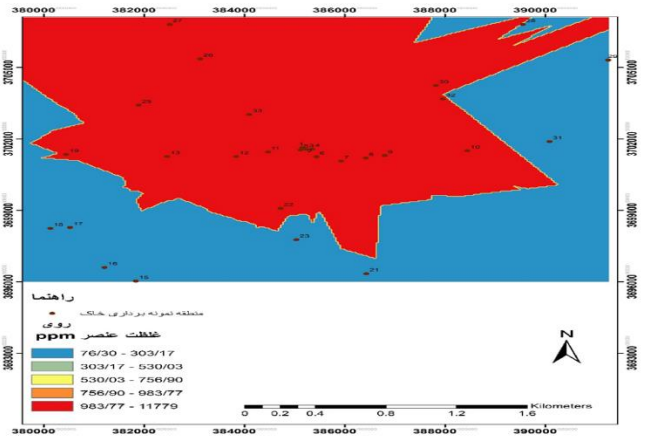


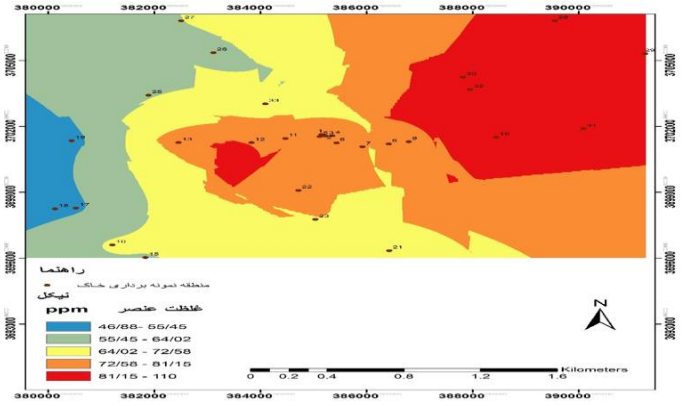


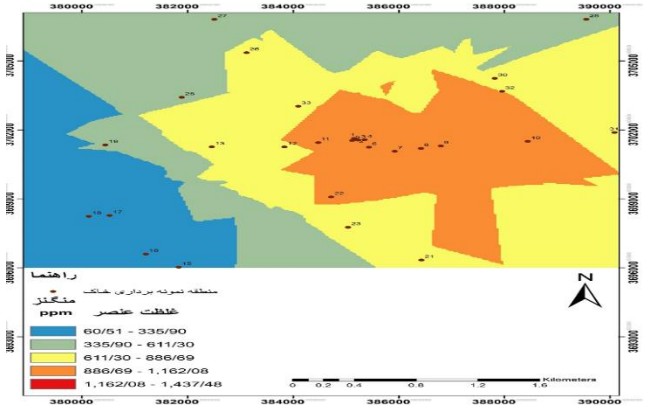


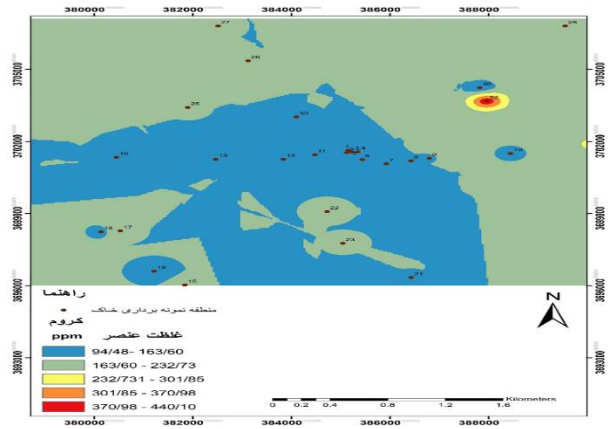


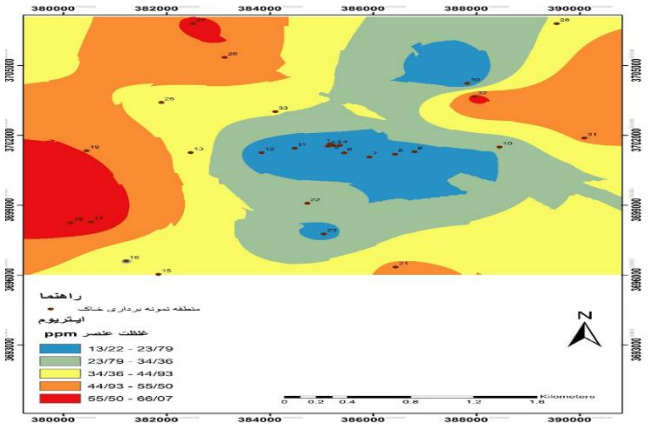

راهنما
سرب
غلظت عنصر ppm
24/91 - 119/24
119/24 - 213/58
213/58 - 307/91
307/91 - 402/24
402/24 - 5370
Kilometers

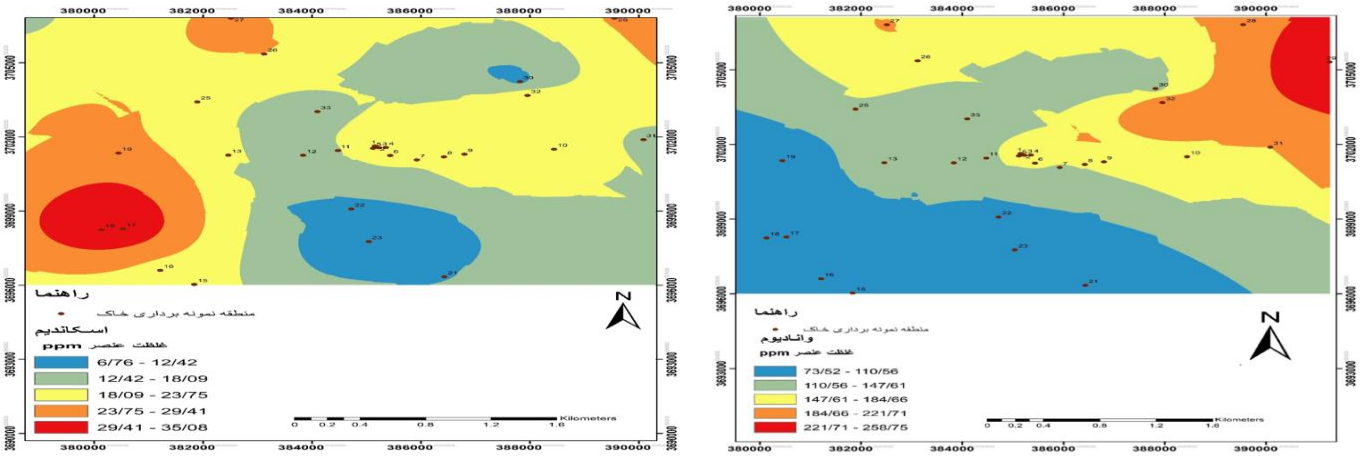

راهنما
روی
غلظت عنصر ppm
76/30 - 303/17
303/17 - 530/03
530/03 - 756/90
756/90 - 983/77
983/77 - 11779
Kilometers


راهنما
نیکل
غلظت عنصر ppm
46/88- 55/45
55/45 - 64/02
64/02 - 72/58
72/58 - 81/15
81/15 - 110
Kilometers


راهنما
منگنز
غلظت عنصر ppm
60/51 - 335/90
335/90 - 611/30
611/30 - 886/69
886/69 - 1,162/08
1,162/08 - 1,437/48
Kilometers


راهنما
کروم
غلظت عنصر ppm
94/48- 163/60
163/60 - 232/73
232/731 - 301/85
301/85 - 370/98
370/98 - 440/10
Kilometers

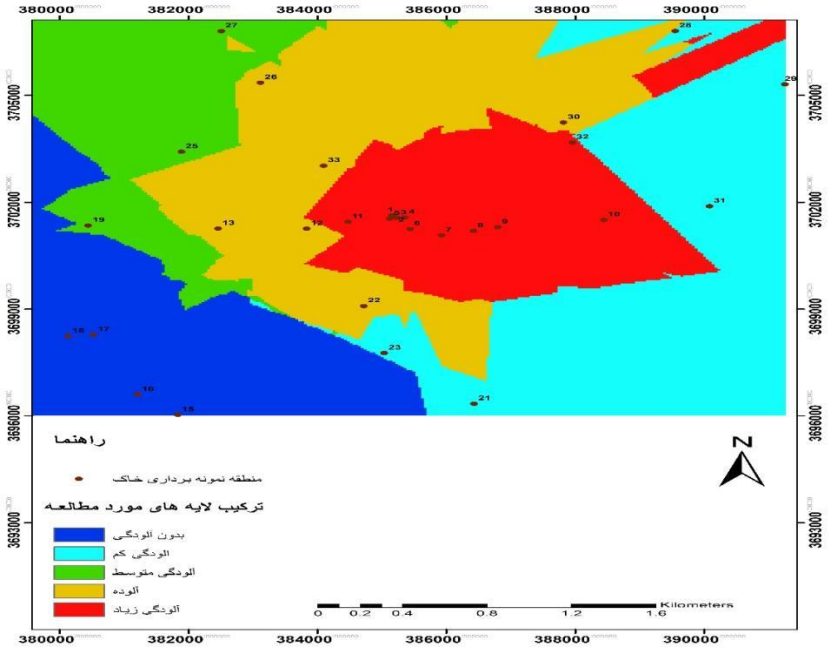

راهنما
ایتریوم
غلظت عنصر ppm
13/22 - 23/79
23/79 - 34/36
34/36 - 44/93
44/93 - 55/50
55/50 - 66/07
Kilometers



شکل ۶: توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک منطقه موردمطالعه

پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در منطقه موردمطالعه به‌وسیله درون‌یابی کریجینگ ترسیم شد. نتایج نشان می‌دهد حداکثر آلودگی در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۳۲ است. این ایستگاه‌ها نزدیک‌ترین نقاط به بخش فعال معدن هستند و با دور شدن از معدن شدت آلودگی کاسته شده است (شکل ۷). نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های سایر محققین در گذشته مقایسه شده است. قدیمی و مقیمی (۱۳۹۰) ارزیابی زیست‌محیطی معدن سرب و روی انگوران را انجام دادند. در پژوهش این محققین با استفاده از مطالعات سطحی و مغزه‌های حفاری به بررسی اثرات معدن‌کاری بر محیطزیست و مردم بومی منطقه پرداخته شد. بر این اساس، ۱۴۷ نمونه از مغزه‌ها، ۲۱ نمونه آبی و ۱۱ نمونه از باطله‌های منطقه برداشت شد. نتایج حاصل از آنالیزهای مختلف با استانداردهای جهانی مقایسه گردید. آن‌ها مشاهده کردند که میزان آلودگی در کانسار انگوران نسبت به سایر مناطق در حد بالایی بوده و رابطه معکوس بین فاصله از کانسار و میزان آلودگی مشاهده می‌شود. آلودگی‌ها در سایر مناطق اندک بوده و تأثیر آن در ایجاد تغییرات جزئی در کیفیت آب‌های سطحی می‌باشد. دهر آزما و همکاران (۱۳۹۳) آلودگی خاک منطقه معدن متروکه سرب و روی آی قلعه سی در جنوب خاور تکاب را بررسی کردند. در این مطالعه ۴ نمونه از باطله‌های اطراف معدن و ۲۳ نمونه از خاک‌های برجا با در نظر گرفتن موقعیت معدن و جنس سازندهای زمین‌شناسی جهت ارزیابی کیفیت خاک در منطقه کانه‌زایی شده با منطقه غیر کانه‌زایی از بالادست تا پایین‌دست منطقه موردمطالعه برداشت شد. با توجه به نوع کانسار

و تغییر غلظت عناصر در خاک منطقه، فلزات سرب، روی، آرسنیک، کادمیوم، مس و جیوه جهت ارزیابی انتخاب گردیدند. نتایج نشان دادند که خاک حاصل از باطله‌ها و خاک‌های منطقه در محدوده بسیار اسیدی و کمی قلیایی قرار می‌گیرند. نمونه‌های حاصل از باطله و خاک برجا غلظت بالایی از عناصر سرب، روی، کادمیوم، مس و آرسنیک را نشان دادند. نمونه خاک‌های نزدیک به محدوده معدن دارای غلظت فلزات سنگین بسیار بالایی بودند که نشان‌دهنده وابستگی آلودگی خاک به فعالیت‌های معدن‌کاری است. طالبی و همکاران (۲۰۱۴) آلودگی‌های زیست‌محیطی و ژئوشیمی معدن سرب و روی لاریخانی جنوب سیاهکل، استان کردستان را مطالعه کردند. براساس مطالعات ژئوشیمیایی بر روی آب چشمه‌های منطقه هیچگونه ناهنجاری عنصری در سنگ‌های منطقه مشاهده نشد ولی نتایج آنالیز خاک بیانگر غلظت بسیار بالای عناصر سرب، روی، کادمیوم و آرسنیک بود. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از معدن سرب و روی گل زرد (شهرستان الیگودرز، استان لرستان) میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین کم‌تر شده است که در تطابق با نتایج سایر پژوهشگران است.



شکل ۷: پهنه‌بندی آلودگی خاک منطقه موردمطالعه به فلزات سنگین

نتیجه گیری

تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک محدوده معدن سرب و روی گل زرد، شمال شرقی الیگودرز (استان لرستان) انجام شد. به همین منظور، فلزات سنگین ۳۳ نمونه خاک سطحی محدوده معدن با دستگاه طیف سنج جذب اتمی شعله‌ای AAS آنالیز و نتایج زیر حاصل شدند:

– بر اساس نتایج شاخص غنی‌شدگی، عنصر کادمیوم دارای غنای متوسط و سایر عناصر دارای غنای حداقل می‌باشند.

– با توجه به شاخص زمین انباشت در بررسی خاک منطقه، عناصر کادمیوم، کروم، سرب و اسکاندیم در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند.

– نتایج ارزیابی شاخص آلودگی نشان داد که عناصر باریم، کادمیوم، سرب و روی در محدوده آلودگی بسیار بالا و عناصر آرسنیک، کروم، مس، نیکل، اسکاندیم، وانادیم و ایتریم در محدوده آلودگی متوسط قرار دارند.

– کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت به ترتیب مربوط به عناصر اسکاندیم و روی بود. عناصری که دارای غلظت‌های بالا بودند عمدتاً مربوط به ایستگاه‌های نزدیک به بخش فعال معدن بودند که غلظت عناصر مذکور در این ایستگاه‌ها به‌صورت غیر عادی بالا بود.

– عنصر روی بیشترین حضور و تأثیر را در منطقه داشته که نشان‌دهنده غالب بودن کانی اسفالریت در منطقه معدنی مذکور است. دومین عنصر غالب در خاک منطقه موردمطالعه سرب می‌باشد که حاکی از بالا بودن کانی گالن در منطقه بعد از اسفالریت است.

منابع

جمشیدی، ا.، ساریخانی، ر.، کرمی، گ.، قاسمی دهنوی، آ.، ۱۳۹۹، بررسی آلودگی فلزات سنگین و منشاء آن‌ها در شرق شهرستان ازنا، استان لرستان، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۸، ص ۴۳–۲۹.

دهر آزما، ب.، آذر پیکان، آ.، ,مدبری، س.، ,سیاره، ع.، ۱۳۹۳، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه معدن متروکه سرب–روی آی قلعه سی، جنوب خاور تکاب، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۴، شماره۹۴، ص ۱۳۸–۱۲۹.

ساریخانی، ر.، جمشیدی، ا.، بهرامی، ش.، قاسمی دهنوی، آ.، ۱۴۰۰، بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های شهرستان فریدون شهر، استان اصفهان، نشریه رسوب شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۷، ص ۱۵۷–۱۴۴.

ساریخانی، ر.، قاسمی دهنوی، آ.، پرویزپور، ش.، مرادپور، ع.، ۱۳۹۹، ارزیابی شاخص‌های آلودگی عناصر سمی بالقوه در خاک‌های شهرستان چادگان اصفهان، با نگرشی به اطراف مناطق مسکونی، .فصلنامه کواترنری ایران، جلد ۶، شماره ۲، ص ۳۴۱–۳۲۵.

ستوهیان، ف.، حجتی، لیلا.، و شریفی، س.، ۱۳۹۳، تأثیرات محیطزیستی سرب و روی زه‌آباد قزوین، فصلنامه انسان و محیطزیست، دوره ۱۲، شماره ۱، ص ۲۹–۱۸.

سیستانی، ن.، معین الدینی، م.، خراسانی، ن.، حمیدیان، ا.، طالشی، م.، عظیمی، ر.، ۱۳۹۶، آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولادکرمان، فصلنامه سلامت و محیطزیست، دوره ۱۰، شماره ۱، ص ۸۶–۷۵.

صامتی، م.، ۱۳۹۰، بررسی پتروگرافی و کانی شناسی کانسار سرب و روی گل زرد الیگودرزلرستان، سومین همایش و انجمن زمین‌شناسی اقتصادی.

صفاری، م.، جعفریان، ع.ر.، گنجویان، م.ع.، اسماعیلی، ج.، ۱۴۰۰، بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های سطحی، فصلنامه کواترنری ایران، جلد ۷، شماره ۳ و ۴، ص ۱۰۲۳–۱۰۰۶.

طالبی، ن.، حق‌نظر، ش.، بازوبندی، م.، ۱۳۹۴، مطالعه آلودگی‌های زیست‌محیطی و ژئوشیمی معدن سرب و روی لاریخانی جنوب سیاهکل، فصلنامه زمین‌شناسی محیطزیست، دوره ۹، شماره ۳۰، ص ۸۹–۷۱.

غضبان، ف.، ۱۳۹۳، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، انتشارات دانشگاه تهران.

فلاح، س.، مدبری، ع.، سیاره، ع.، طباخ شعبانی، ا.، ۱۳۹۸، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک شهری کرج (ایران)، فصلنامه علوم زمین، دوره ۱۹، شماره ۱۱۴، ص ۲۴۰–۲۳۱.

قدیمی، س.، مقیمی، ه.، ۱۳۹۰، مطالعه زیست‌محیطی معدن روی و سرب انگوران زنجان، پنجمین همایش تخصصی زمین‌شناسی.

Deely, J.M., Fergusson, J.E., 1994, Heavy metal and organic matter concentration and distributions in dated sediment of small adjacent to a small urban area, Science of the Total Environment, No. 153, PP. 97–111.

Hakanson, L., 1980, Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimento logical approach, Water Research, No.14, PP. 975-1001.

Keskin, T., Toptas, E., 2012, Heavy metal pollution in the surrounding ore deposits and mining activity: a case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey), Environmental Earth Science, No. 67, PP. 859–866.

Lee, C.H., 2015, Assessment of contamination load on water, soil and sediment affected by the Kongjujeil mine drainage, Republic of Korea, Environmental Geology, No. 44, PP. 501–515.

Mitra, S., Kebbekus, B.B., 1997, Environmental chemical Analysis, CRC Press.

Muller, G., 1979, Index of geoaccumulation of Sediments of the Rhine River, Geology Journal, No. 2, PP.108–120.

Rastmanesh, F., Zarosvandi., A, Hormozinejad, F., 2013, An investigation on Khuzestan steel industry in soil pollution around it, First International Congress of Earth Sciences, Tehran, Iran.

Sutherland, R., 2000, Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, Environmental Geology, No. 39, PP. 611–627.

Taheri, M., Mehrzad, J., Mahmudy Gharaie, M.H., Afshari, R., Dadsetan, A., Hami, Sh., 2016, High soil and ground water arsenic levels induce high body arsenic loads, health risk and potential anemia for inhabitants of northeastern Iran, Environmental Geochemistry and Health, No. 38, PP. 469–482.

Tahmasebi, P., Mahmudy Gharaie, M.H., Ghasemzadeh, F., Karimi Karouyeh, A., 2019, A survey on heavy metals pollution in water resources of Kouhe Zar Mining area (The West of Torbat Heydarieh, Iran), Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, No. 7, PP. 244–253.