مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره چهاردهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۰، صفحات ۱۵۹ تا ۱۷۲



Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست‌محیطی برخی از فلزات سنگین خاک اطراف معدن سرب و روی در شمال‌غرب ایران

صادق حسین‌نیایی، محمد جعفری، علی طویلی، سلمان زارع*

گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، ضریب غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ضریب همبستگی پیرسون

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
Zaresalman@ut.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: امروزه آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین یکی از چالش‌های مهم در سراسر جهان است. هدف از این مطالعه بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های اطراف یک معدن سرب و روی است.

روش بررسی: در تابستان ۱۳۹۸ تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از اطراف معدن برداشت و خصوصیات بافت، اسیدیته، شوری، کلسیم کربنات، ماده آلی و فلزات سنگین کروم، کبالت، روی، سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شدند. شاخص‌های فاکتور آلودگی (PI)، ضریب غنی‌شدگی (EF)، انباشت ژئوشیمیایی (Igeo)، احتمال سمیت (MERMQ)، بار آلودگی (PLI)، غنی‌شدگی زمینه (PIN)، امنیت آلودگی (CSI) و نمرو (PINemerow) فلزات سنگین محاسبه شدند. همبستگی بین متغیرهای خاک و تعیین منشأ فلزات با استفاده از همبستگی پیرسون و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت کروم، کبالت، روی، سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۹۲، ۲۱/۳۳، ۴۵۳/۹۸، ۳۵۱/۲۴ و ۴/۲۸ mg/kg است. میزان آلایندگی فلزات براساس شاخص‌های PI، EF و I_{geo} برای عناصر کروم و کبالت (متوسط)، روی (قابل توجه) و سرب و کادمیوم (خیلی شدید) است. نتایج شاخص‌های MERMQ، PLI، PIN، CSI و PINemerow آلودگی بالای خاک منطقه به فلزات سنگین را نشان داد. براساس آنالیز PCA عناصر سرب، روی و کادمیوم در یک گروه قرار می‌گیرند که دارای منشأ انسان‌زاد هستند. کروم و کبالت نیز با همبستگی ۸۸ درصد دارای منشأ زمین‌شناسی یکسان هستند.

نتیجه‌گیری: فعالیت‌های معدن‌کاوی بایستی با احتیاط بیشتری صورت گیرد و تمهیداتی جهت کاهش آلودگی صورت بگیرد.

Please cite this article as: Hosseinniaee S, Jafary M, Tavili A, Zare S. Geochemical and ecological assessment of some heavy metals in the soil around the lead and zinc mine in northwestern of Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):159-72.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

مقدمه

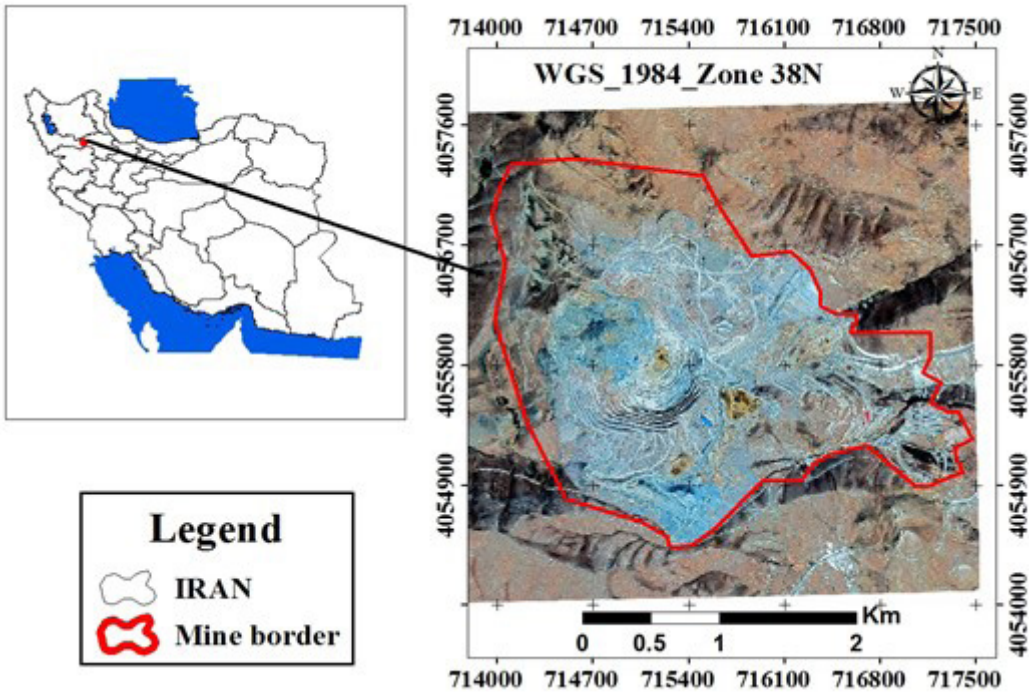
امروزه آلودگی‌های زیست محیطی به یك معضل مهم در سطح جهان تبدیل شده و توسعه صنایع و فعالیت‌های انسانی عامل اصلی آن است. در حال حاضر توجه خاص به این موضوع و یافتن منابع ایجاد آلودگی‌ها، مشخص کردن اثرات زیست محیطی و روش‌های کاهش و کنترل آنها از اولویت‌های اصلی تحقیقاتی در بسیاری از کشورها است. آلودگی خاک به آلاینده‌های آلی و معدنی که مهمترین آنها فلزات بالقوه سمی و خطرناک (فلزات سنگین) است، ناشی از فعالیت‌های کارخانجات، معدن‌کاوی، ذوب فلزات، پسماندهای صنعتی و... است. فلزات سنگین به دلیل خاصیت زیست تخریب ناپذیری و تجمع‌پذیری در زنجیره غذایی یکی از دلایل نگرانی‌ها در ارتباط با آلودگی‌ها هستند (۱). عدم وجود مکانیسم دفع مؤثر باعث شده است که این فلزات حتی در غلظت‌های پایین به ماده‌ای مضر برای انسان تبدیل شوند (۲). همچنین فلزات سنگین تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های طبیعی هستند، زیرا بعضی از آنها در اکوسیستم به گردش در می‌آیند و به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم‌ها تجمع می‌یابند (۳). فلزات سنگین علاوه بر خطراتی که برای محیط زیست و سلامتی انسان ایجاد می‌کنند، مقادیر بالای آنها در خاک‌های آلوده، فعالیت‌های زیستی و حاصلخیزی خاک را کاهش داده و در نتیجه عملکرد محصولات کشاورزی را نیز کاهش می‌دهند (۴). این گونه فلزات با توجه به داشتن خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک، خطرات جدی را بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده وارد می‌نمایند (۵). مطالعات متعددی در رابطه با فلزات سنگین در خاک صورت گرفته است. Taheri و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای غلظت قابل جذب و کل فلزات سنگین و برخی شاخص‌های آلودگی را بررسی نمودند، نتایج مطالعه آنها بیانگر این بود که عنصر کادمیوم به لحاظ شاخص زمین‌انباشتگی در درجه آلودگی کم و بقیه عناصر در کلاس بدون آلودگی قرار داشتند، همچنین شاخص غنی‌سازی در ده درصد نمونه‌ها بیشتر از یک بود که حاکی از آلودگی قسمت‌هایی از منطقه به فلزات سنگین مورد بررسی بود (۶). در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان (۷) نتایج نشان داد که میانگین فلزات نیکل، سرب، روی، کادمیوم، کروم و آهن به‌ترتیب برابر با ۹/۹۸، ۲۰/۶۸، ۵۴/۳۸، ۰/۰۳۸، ۳/۵۴ و ۱۵۰۶۳/۳۳ ppm است، خاک منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی متوسط به عنصر سرب به لحاظ شاخص CF (شاخص آلودگی) بود و فلزات کادمیوم و کروم نیز در درجه پایینی از آلودگی قرار داشتند. به‌طور کلی خاک‌های این منطقه دارای آلودگی کمی به لحاظ فلزات سنگین بودند. بررسی شاخص‌های آلودگی خاک‌های اطراف مجتمع فولاد خوزستان به برخی عناصر سنگین نشان داد که نمونه‌های خاك نزدیک به محل کارخانه و در جهت پایین دست باد، بیشترین میزان آلودگی را نشان می‌دهند، از بررسی تحلیل مؤلفه اصلی مشخص شد، فلزات نیکل و آهن تحت تاثیر عملکرد هر دو عامل زمین‌زاد و انسان‌زاد و فلزات روی، منگنز و سرب تحت تاثیر عامل انسان‌زاد هستند و نیز فلز کروم احتمالا دارای منشأ زمین‌زاد است (۸). Rahman و همکاران (۲۰۱۹) آلودگی رسوبات منطقه شیپ‌بریکینگ 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 (۱). منطقه مورد بررسی در این تحقیق یکی از معادن بزرگ سرب و روی در خاورمیانه است که در شمال غرب ایران و در استان زنجان واقع شده است و فعالیت آن از سال‌ها قبل شروع شده است و ادامه دارد. با توجه به سمی بودن فلزات سنگین و به ویژه سرب و از طرفی فعالیت‌های کشاورزی و دامداری در اطراف معدن، بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های این منطقه ضروری است، که در این مطالعه وضعیت آلودگی خاک اطراف معدن و شاخص‌های آلودگی خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معدن مورد بررسی با ذخیره بیش از ۲۵ میلیون تن (بیش از ۴۶ درصد ذخایر ایران) بزرگ‌ترین معدن سرب و روی خاورمیانه در ۱۳۰ km جنوب غربی زنجان با مختصات ″۳۶°۳۶′۴۷ تا ″۳۷°۳۶′۵۰ شمالی و ″۲۳°۴۷′۵۳ تا ″۲۴°۴۷′۵۸ شرقی در منطقه‌ای کوهستانی با ارتفاع متوسط ۲۹۵۰ m از سطح دریا

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

قرار گرفته و اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد است و مهمترین واحدهای ژئومورفولوژیک در منطقه شامل فلات و دشت‌های آبرفتی است. براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شـهرسـتان ماهنـشان متوسط بارنـدگـی ۲۵۱/۹ mm و دمـای حداقل و حداکثر به ترتیب ۱۸°C- و ۳۸/۵ است. در فاصله ۲۵ km معدن، کارخانه تغلیظ سرب و روی در نزدیکی روستای دندی بنا شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

- *اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک و فلزات سنگین خاک*

بعد از مشخص کردن محدوده مورد مطالعه، با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، در تابستان ۱۳۹۸ سه سایت در اطراف معدن انتخاب شد و به دلیل ناهمگون بودن اطراف معدن، در هر سایت دو ترانسکت فرضی در جهت و عمود بر شیب در نظر گرفته شود و در راستای آن نمونه‌ها به روش تصادفی – سیستماتیک از نقطه کناری معدن تا محدوده یک کیلومتری از آن برداشت شد. در نهایت از هر سایت حداقل ۲۵ و در مجموع ۱۰۰ نمونه خاک طبیعی اطراف معدن از عـمق ۲۰ cm – ۰ و ده نمونه نیز از باطله‌های معدنی برداشت شد. نمونه‌های خاکی پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از خشک شدن در هوای آزاد بافت، اسیدیته، شوری، کلسیم کربنات، ماده آلی و فلزات سنگین کروم، کبالت، روی، سرب و کادمیوم تعیین گردید. اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری و با استفاده از مثلث بافت خاک انجام شد (۹). به منظور اندازه‌گیری اسیدیته و شوری از نسبت سوسپانسیون ۱:۵ خاک به آب استفاده شد. ماده آلی خاک به روش والکی بلک و با استفاده از بی کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک اندازه‌گیری شد (۱۰). کربنات کلسیم معادل نیز به روش نلسون تعیین گردید (۱۱). جهت استخراج فلزات سنگین کل، g ۱ خاک خشـک با اسـتفاده از mL ۱۵ مخلوط اسیدکلریدریک N ۱ و اسید نیتریک N ۴ به نسبت ۱ به ۳

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

هضم شد و سپس با آب مقطر نمونه‌ها به حجم ۵۰ mL رسید. استانداردهای فلزات سنگین با استفاده از رقیق‌سازی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ ppm محلول استاندارد گواهی شده ساخت کشور سوییس (سیگما آلدریچ) تهیه و دستگاه ICP-OES کالیبره شد و درنهایت قرائت غلظت فلزات سنگین صورت گرفت.

ـ بررسی شاخص‌های آلودگی خاک

برای بررسی وضعیت آلودگی خاک شاخص‌های مختلفی توسط محققان ارائه شده است. فاکتور آلودگی (PI) به عنوان ابزاری مناسب برای پایش آلودگی در طول زمان است (۱۲). مقدار این شاخص که درجات آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین را نشان می‌دهد از تقسیم مقدار فلز در نمونه‌های خاک به مقدار طبیعی آن در پوسته زمین مطابق با (معادله ۱) به‌دست می‌آید (۱۲).

$$PI = (\frac{C_{metal}}{C_{background}}) \quad (۱)$$

که C_{metal} نشان‌دهنده مقدار غلظت فلز در نمونه‌های خاکی و $C_{background}$ مقدار زمینه فلز را نشان می‌دهد. براساس این شاخص خاک‌ها به ۴ درجه، از آلودگی کم تا آلودگی شدید از نظر فلزات سنگین تقسیم می‌شوند.

ضریب غنی‌شدگی (EF) عناصر یکی از شاخص‌هایی است که براساس آن می‌توان مقدار یک عنصر را نسبت به مقدار طبیعی آن در پوسته زمین سنجید و برای ارزیابی غنی‌شدگی یک محیط توسط محیطی دیگر مورد استفاده قرار داد (۱۳). محاسبه این ضریب، روشی مناسب جهت تعیین منشأ طبیعی و بشرزاد آلودگی است (۱۴). این شاخص برای اولین بار توسط محققان استرالیایی ابداع شد. اگر EF بالای ۱/۵ باشد نشان‌دهنده تاثیر عوامل انسانی است که باعث تجمع عناصر شده است و زیر ۱/۵ محیط طبیعی را نشان می‌دهد (۱۵). طبق این شاخص خاک‌ها به هفت طبقه (بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی شدید) طبقه‌بندی می‌شوند. مقدار این ضریب از (معادله ۲) به‌دست می‌آید (۱۶).

$$EF = \frac{\frac{M_x}{Fe_x}}{\frac{M_{ref}}{Fe_{ref}}} \quad (۲)$$

که در آن: $\frac{M_x}{Fe_x}$ بیانگر غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آنالیز شده و $\frac{M_{ref}}{Fe_{ref}}$ نشان‌دهنده مقدار این عناصر در پوسته زمین است. برای محاسبه این شاخص از یک عنصر مرجع استفاده می‌شود که معمولا Al، Fe، Zr، Ti و Sc است (۱۷). در این مطالعه عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته است، که مقدار زمینه آن ۴۷۲۰۰ ppm است (۱۸).

شاخص دیگری که در ارزیابی‌های آلودگی محاسبه می‌شود شاخص زمین انباشت (I_{geo}) مولر است که برای بررسی میزان آلودگی و تاثیر عوامل انسانی در ایجاد آلودگی استفاده می‌شود (۱۹). اولین بار توسط مولر به‌کار برده شد و براساس مقدار فلز در خاک و رسوبات به مقدار طبیعی آن در پوسته زمین به دست می‌آید (معادله ۳) (۲۰). طبق این شاخص خاک‌ها به هفت طبقه از بدون آلودگی ($0 \geq I_{geo}$) تا آلودگی شدید ($5 \leq I_{geo}$) تقسیم‌بندی می‌شوند.

$$Igeo = log_2^{\frac{Cn}{1.5Bn}} \quad (۳)$$

در این معادله Cn مقدار فلز سنگین در نمونه خاک و رسوبات و مقدار Bn مقدار طبیعی آن در پوسته زمین (مقدار زمینه ژئوشیمیایی) است. اعمال ضریب ۱/۵ جهت لحاظ نمودن نوسانات عوامل طبیعی و تاثیر عوامل انسانی است. شاخص احتمال سمیت (MERMQ) به عنوان ابزاری برای بررسی تاثیر زیانبار فلزات سنگین بر محیط خاک ارائه شده است و از معادله ۴ محاسبه می‌شود (۲۱).

$$MERMQ = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{cn}{ERM}}{n} \quad (۴)$$

که Cn در این معادله غلظت فلز سنگین در خاک و ERM مقداری است که توسط Long و همکاران (۱۹۹۵) ارائه شد (۲۲). طبق این شاخص خاک‌ها به چهار دسته از <۰/۱ (ریسک پایین) تا >۱/۵ (ریسک خیلی بالا) تقسیم می‌شوند.

شاخص غنی‌شدگی زمینه (PIN) نیز از جمله شاخص‌هایی است که غنی‌شدگی خاک به وسیله فلزات سنگین براساس کلاس آلودگی فلزات (PI) بررسی می‌کند و از معادله ۵ محاسبه می‌شود (۲۳).

$$PIN = \sum_{i=1}^{n} \frac{PIClass^2 * Cn}{GB} \quad (۵)$$

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

که PIClass، کلاس آلودگی خاک (طبق معادله ۱)، Cn غلظت فلز در خاک و GB غلظت زمینه است. طبق این شاخص خاک‌ها به لحاظ آلایندگی‌ها در پنج طبقه از تمیز تا خیلی آلوده طبقه بندی می‌شوند.

از جمله شاخص دیگری که به منظور ارزیابی کلی آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین استفاده می‌شود، شاخص آلودگی نمرو ($PI_{Nemerow}$) است. این شاخص درجه کلی آلودگی خاک را مشخص می‌کند و تمام فلزات سنگین مورد بررسی را شامل می‌شود و از معادله ۶ به‌دست می‌آید (۲۴). که در این معادله PI شاخص آلودگی و PI_{max} حداکثر PI تمام فلزات سنگین است. طبق این شاخص خاک‌ها به پنج درجه از تمیز تا آلودگی سنگین تقسیم بندی می‌شوند.

$$PINemerow = \sqrt{\frac{PI_{max}^2+(\frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n} PI)^2}{2}} \quad (۶)$$

شاخص امنیت آلودگی (CSI) توسط Pejman و همکاران (۲۰۱۵) معرفی شد و برای تعیین حد سمیت بالا اثرات نامطلوب بر محیط خاک به کار می‌رود (۲۵). برای محاسبه CSI مقدار محدوده اثرات پایین (ERL) و محدوده اثرات میانه (ERM) ارائه شده به وسیله Long و همکاران (۱۹۹۵) استفاده می‌شود و طبق معادله ۷ محاسبه می‌شود (۲۲). در این معادله W وزن محاسبه شده هر کدام از فلزات است.

$$CSI = \sum_{i=1}^{n} w\left((\frac{C}{ERL})^{\frac{1}{2}} + (\frac{C}{ERM})^2\right) \quad (۷)$$

شاخص بار آلودگی (PLI) نیز برای تعیین سطح آلودگی ارائه شده و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار قرار دهد که از طریق حاصلضرب شاخص‌های آلودگی فلزات از طریق معادله ۸ قابل محاسبه است (۱۲). در این معادله PI فاکتور آلودگی بوده که از معادله ۱ برای هر فلز به‌دست آمد. مقادیر زیر یک در این شاخص بیانگر این است که غلظت فلزات به مقدار زمینه آنها نزدیک است مقادیر بین ۱ و ۳ بیانگر آلودگی متوسط و بالای ۳ آلودگی زیاد را نشان می‌دهد (۲۶).

$$PLI = \sqrt[n]{(PI_1 \times PI_2 \times \ldots \times PI_n)} \quad (۸)$$

در این مطالعه مقدار زمینه فلزات سنگین برای Cr، Co، Zn، Pb و Cd به ترتیب mg/kg ۹۰، ۱۹، ۹۵، ۲۰ و ۰/۰۳ در نظر گرفته شد (۱۲).

_ *تجزیه و تحلیل داده‌ها*

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و بررسی نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنف (Kolmogorov-Smirnov)، همبستگی متغیرهای خاکی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson correlation coefficient) و برای مقایسه غلظت فلزات سنگین با مقدار استاندارد آنها در پوسته زمین از آمون T تک نمونه‌ای (One Sample T-Test) در سطح ($p<۰/۰۵$) با استفاده از نرم‌افزار SPSS22 انجام شد. به منظور بررسی وابستگی عناصر و متغیرهای مورد اندازه‌گیری و تعیین منشأ فلزات سنگین، آنالیز تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) بر روی متغیرها صورت گرفت. هدف از این آنالیز یافتن متغیرهای کنترلی است که بیشترین تغییرات در بین متغیرها را به خود اختصاص می‌دهند. معمولا برای بیشتر تغییرات، چندین مؤلفه محاسبه خواهد شد. این روش که براساس ماتریس همبستگی بین متغیرها است که براساس آن می‌توان اطلاعات زیادی در رابطه با ساختار اولیه داده‌ها و روابط احتمالی بین آنها را به‌دست آورد. آزمون PCA با استفاده از نرم افزار XLSTAT 2016 و براساس مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک (Eigenvalues>1) برای مؤلفه‌ها صورت گرفت.

یافته‌ها

_ *غلظت فلزات سنگین و خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک*

آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین و برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک جمع آوری شده از محدوده ریشه‌دوانی گیاهان منطقه مورد مطالعه مشخص گردید (جدول ۱). محدوده عناصر کروم، کبالت، روی، سرب و کادمیوم خاک اطراف معدن به ترتیب ۲۶۸ – ۱۴/۳۰، ۶۱/۹۶ – ۳/۸۵، ۸۵۷/۸۶ – ۸۶/۵، ۷۰۳/۵۰ – ۴۸/۷۰ و mg/kg ۱۲/۳۴ – ۰/۳۶ است. اسیدیته خاک بیشتر از ۷ است که حاکی از قلیاییت کم خاک منطقه دارد. نتایج بافت خاک مشخص کرد که عمده ذرات خاک از رس و سیلت تشکیل شده است (بافت لومی). میانگین هدایت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

الکتریکی ۳۲۹/۴۸ بود. خاک اطراف معدن با ۳/۴۴ درصد ماده آلی به لحاظ این ویژگی غنی است و میانگین کلسیم کربنات معادل آن ۵/۱۳ درصد است. نتایج آزمون t با یک مقدار ثابت برای عناصر کروم و کبالت عدم معنی‌داری را نشان داد، در حالی‌که آزمون t برای عناصر روی، سرب و کادمیوم در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- آماره‌های توصیفی غلظت فلزات سنگین و خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه

آماره‌های توصیفی	Cr (mg/kg)	Co (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	اسیدیته (pH)	شوری (EC) (µs/cm)	کلسیم‌کربنات ($CaCO_3$) (%)	ماده آلی (O.M) (%)
حداقل	۱٤/۳۰	۳/۸۵	۸٦/۵۰	٤۸/۷۰	۰/۳٦	۱۲	۱٦/۵۰	۱۲	٦/۹۳	۱۱۰	۰/۸	۰/۲۳
میانه	۷٤/۹۷	۱۵/٤۳	٤۳٤/۷۹	۳۲٤/۲۳	۳/۸٤	۲٦	۳۰	٤۳/۷۵	۷/۳۲	۳۱۹	۳	۳/۸۰
حداکثر	۲٦۸	٦۱/۹٦	۸۵۷/۸٦	۷۰۳/۵۰	۱۲/۲٤	٤۸	٤٤/۵۰	٦٦	۸/۰۱	۵۵۰	۲۹/۵	٦/۳٤
میانگین	۹۲	۲۱/۳۳	٤۵۳/۹۸	۳۵۱/۲٤	٤/۲۸	۲٦/۷۵	۲۹/۹۸	٤۳/۰۵	۷/۳۹	۳۲۹/٤۸	۵/۱۳	۳/٤٤
چارک اول	۳۸	۱۰/٤٤	۲۸۳/٤۵	۲۰۰/۲۳	۲	۲۰	۲٦	۳۸	۷/۲۲	۲۵۵	۲/۱۰	۱/۹۵
چارک سوم	۵۰/۷۵	۲۸/۲۷	٦۳٤/۸۳	٤۹۵/۵۳	٦/٤٦	۳۳/۷۵	٤٤	۵۰/۷۵	۷/۵۳	٤۰۵	٦/۳۰	٤/۵۰
اشتباه معیار	٦۰/۲۸	۱۵/۰۱	۲۱۱/۸۷	۱۷۸/۸۹	۲/۷۸	۸/۵۵	۵/۵۲	۱۰/۱۹	۰/۲۵	۹/۷۳	۵/۲۸	۱/۵۰
ضریب تغییرات	٦۵	۷۰	٤٦	۵۰	٦۵	۳۱	۱۸	۲۳	۳	۲۹	۱/۰۳	٤۳
مقدار نرمال در پوسته خاک	۹۰	۱۹	۹۵	۲۰	۰/۰۳	–	–	–	–	–	–	–
درجه آزادی	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹	–	–	–	–	–	–	–
آزمون T	۰/۳۳$^{n.s}$	۱/۵۵$^{n.s}$	۱٦/۹۲**	۱۸/٤۹**	۱٤/۲۳**	–	–	–	–	–	–	–
میانگین فلزات سنگین خاک باطله	۲۳۳/۵٤±۸۰/۰۹	۸٦/٤۳±۲۲/۷٤	۱۳۳۳۱/۷۰±۲٦٤٦/۵۹	۱۰۹۸۵/۰۷٦۵ ±۵۱۲۱/۷۰	۳۰٦/۱۲ ±۱۳٤/۳٤	–	–	–	–	–	–	–

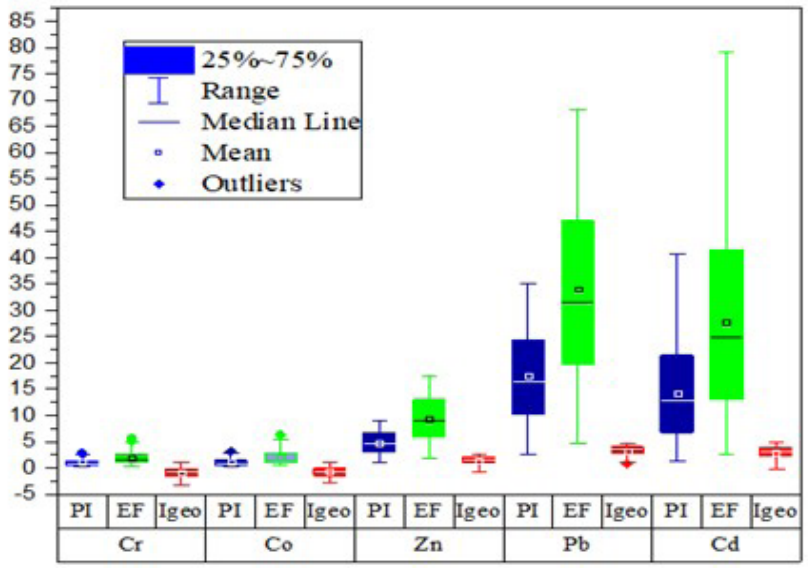
**:معنی‌داری در سطح یک درصد، n.s: عدم معنی‌داری

بررسی شاخص‌های آلودگی خاک:

_ ضریب غنی‌شدگی (EF) و فاکتور آلودگی (PI) عناصر

در این مطالعه میانگین فاکتور آلودگی (PI) کروم، کبالت، روی، سرب و کادمیوم به ترتیب برابر ۱/۰۲، ۱/۱۲، ۴/۷۷، ۱۷/۵۶ و ۱۴/۳ است که نشانگر این است که خاک‌های اطراف معدن به لحاظ کروم و کبالت آلودگی متوسط، روی آلودگی قابل توجه، سرب و کادمیوم آلودگی بسیار زیاد را نشان می‌دهند (نمودار ۲). مقدار میانگین شاخص غنی‌شدگی برای عناصر کروم، کبالت، روی، سرب و کادمیوم به ترتیب برابر ۱/۹۸، ۲/۱۷، ۹/۲۶، ۳۴/۰۴ و ۲۷/۷۲ است. براساس طبقه‌بندی (۸) عنصر کروم بدون غنی‌شدگی، کبالت با غنی‌شدگی متوسط، روی غنی‌شدگی متوسط، سرب و کادمیوم غنی‌شدگی خیلی شدید را نشان می‌دهند. براساس شاخص زمین انباشت عناصر کروم و کبالت به ترتیب با ۰/۵۵- و ۰/۴۳- در رده غیر آلوده قرار دارند. روی با ۱/۶۶ و درجه آلودگی متوسط، سرب و کادمیوم نیز با ۸۷/۸ و ۴۲۹ در درجه آلودگی شدید قرار دارند (نمودار ۱).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]



نمودار ۱- نمودار جعبه‌ای شاخص‌های آلودگی، غنی‌شدگی و ژئوشیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه

_شاخص‌های MERMQ، PLI، PIN، CSI و PINemerow

آماره توصیفی شاخص‌های MERMQ، PLI، PIN، CSI و PINemerow در جدول ۲ آورده شده است. احتمال سمی بودن خاک (شاخص MERMQ) برای آماره‌های حداقل و چارک اول ۲۱ درصد (آلودگی متوسط) است، در بقیه موارد مقدار این شاخص با ۴۹ و ۷۶ درصد احتمال سمیت در رده آلودگی بالا و خیلی بالا قرار دارد. مقدار بار آلودگی (PLI) برای تمام آماره‌های توصیفی به جزء مقدار حداقل در بقیه موارد بالای یک است که حاکی از آلوده بودن خاک است. به لحاظ شاخص غنی‌شدگی زمینه (PIN) مقدار فلزات سنگین خاک در بیشتر نمونه‌ها در حد بالا و آلوده کننده است. شاخص آلودگی نمرو (PINemerow) نشان از آلودگی سنگین خاک حداقل در ۷۵ درصد نمونه‌ها است. مقدار میانگین این شاخص ۱۲/۵۱ است. با توجه به شاخص امنیت آلودگی (CSI) حدود ۵۰ درصد نمونه‌ها در رده آلودگی پایین و متوسط قرار دارند. طبق این شاخص درجه آلودگی حداقل ۲۵ درصد نمونه‌ها بالا است.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی شاخص‌های MERMQ، PLI، PIN، CSI و PINemerow خاک منطقه مورد مطالعه

آماره‌های توصیفی / شاخص‌ها	حداقل	میانه	میانگین	حداکثر	چارک اول	چارک سوم
MEREQ (%)	۰/۱۳ (۲۱٪-سمیت متوسط)	۰/۷۸ (۴۹٪-سمیت بالا)	۰/۸۵ (۴۹٪-سمیت بالا)	۱/۸۲ (۷۶٪-سمیت خیلی بالا)	۰/۴۸ (۲۱٪-سمیت متوسط)	۱/۱۵ (۷۶٪-سمیت خیلی بالا)
PLI	۰/۶۰ (غیر آلوده)	۳/۶۲ (آلودگی بالا)	۴/۲۳ (آلودگی بالا)	۱۰/۴۶ (آلودگی بالا)	۲/۱۴ (آلودگی بالا)	۴/۹۷ (آلودگی بالا)
PIN	۴۴/۹۹ (آلودگی ناچیز)	۸۰۰/۹۸ (آلوده کننده)	۸۸۱/۵۷ (آلوده کننده)	۲۲۰۴/۰۹ (آلوده کننده)	۴۴۴/۷۶ (تا حدودی آلوده)	۱۳۳۱/۳۱ (آلوده کننده)
CSI	۰/۵۱۹ (آلودگی خیلی پایین)	۲/۰۴ (آلودگی متوسط)	۲/۲۱ (آلودگی متوسط)	۵/۶۰ (آلودگی فوق‌العاده بالا)	۱/۲۹ (آلودگی پایین)	۳/۲۴ (آلودگی بالا)
PINemerow	۱/۸۴ (آلودگی کم)	۱۱/۶۱ (آلودگی سنگین)	۱۲/۵۱ (آلودگی سنگین)	۲۴/۹۶ (آلودگی سنگین)	۷/۲۲ (آلودگی سنگین)	۱۷/۶۷ (آلودگی سنگین)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

_ *همبستگی بین خصوصیات فیزیکی-شیمیای خاک*

نتایج نشان می‌دهد که بین عنصر کروم با عنصر کبالت با ۰/۸۸ همبستگی معنی‌داری وجود دارد. عنصر روی با عنصر سرب همبستگی قوی در حد ۹۰ درصد نشان می‌دهد، همچنین همبستگی این عنصر با کادمیوم با ۵۳ درصد معنی‌دار است. بین سرب و کادمیوم نیز با ۵۴ درصد همبستگی معنی‌دار وجود دارد. به طور کلی عناصر روی، سرب و کادمیوم همبستگی بالایی با یکدیگر و همبستگی پایینی با عناصر کروم و کبالت را نشان می‌دهند. بین بافت خاک و فلزات سنگین همبستگی خاصی مشاهده نمی‌شود. ذرات رس و سیلت با شن همبستگی منفی معنی‌داری نشان می‌دهند، اما بین رس و سیلت عدم همبستگی وجود دارد. بین اسیدیته خاک (pH) و تمام فلزات سنگین به جزء کادمیوم همبستگی معنی‌دار شده است، که این همبستگی با عناصر کروم و کبالت به ترتیب با ۷۴ و ۷۲ درصد مثبت و با عناصر روی و سرب با ۲۹ و ۳۹ درصد منفی است. شوری خاک نیز روی و سرب به ترتیب با ۳۳ و ۳۲ درصد همبستگی مثبت دارد و با بقیه عدم همبستگی معنی‌دار مشاهده می‌شود. کلسیم کربنات با اکثر فاکتورها دارای همبستگی است. این همبستگی با عناصر روی و کروم با ۴۴ و ۳۹ درصد مثبت و با عناصر روی، سرب و کادمیوم با ۴۲ و ۴۴ و ۲۸ درصد به ترتیب منفی است. میزان همبستگی با این فاکتور با اسیدیته خاک و خاک ۴۲ و با ماده آلی ۳۳ درصد منفی است. ماده آلی خاک با فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم با ۴۸، ۴۸ و ۴۱ درصد همبستگی مثبتی دارد و هیچ همبستگی بین این فاکتور با کروم و کبالت مشاهده نمی‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- همبستگی بین برخی خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

	Cr	Co	Zn	Pb	Cd	Clay	Silt	Sand	pH	Ec	$CaCO_3$	om
Cr	۱											
Co	۰/۸۸**	۱										
Zn	-۰/۱۲	-۰/۱۸	۱									
Pb	-۰/۲۲*	-۰/۲۶**	۰/۹۰**	۱								
Cd	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۵۳**	۰/۵٤**	۱							
Clay	۰/۰۳	-۰/۰٤	-۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰٦	۱						
Silt	-۰/۱۰	-۰/۰۸	-۰/۱۳	-۰/۰۳	-۰/۱۷	-۰/۰۹	۱					
Sand	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰٤	-۰/۸۲**	-۰/٤۷**	۱				
pH	۰/۷٤**	۰/۷۲**	-۰/۲۹**	-۰/۳۹**	-۰/۰٦	۰/۰۲	-۰/۱۰	۰/۰٤	۱			
Ec	-۰/۱۱	-۰/۱۱	۰/۳۳**	۰/۳۲**	۰/۱۳	-۰/۰۲	-۰/۱۲	۰/۰۹	-۰/۱٤	۱		
$CaCO_3$	۰/٤٤**	۰/۳۹**	-۰/٤۲**	۰/٤٤**	-۰/۲۸	-۰/۱۰	-۰/۰۳	۰/۱۲	۰/٤۲**	-۰/۱۲	۱	
om	-۰/۰٤	-۰/۰۵	۰/٤۸**	۰/٤۸**	۰/٤۱	-۰/۰۱	۰/۰۸	-/۰٤	-۰/۱۳	۰/۰۲	-۰/۳۳**	۱

Cr (کروم)، Co (کبالت)، Zn (روی)، Pb (سرب)، Cd (کادمیوم)، Clay (رس)، silt (سیلت)، Sand (شن)، pH (اسیدیته)، EC (قابلیت هدایت الکتریکی)، $CaCO_3$ (کلسیم کربنات معادل) و O.M (ماده آلی)

*:معنی‌داری در سطح پنج درصد، **:معنی‌داری در سطح یک درصد

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

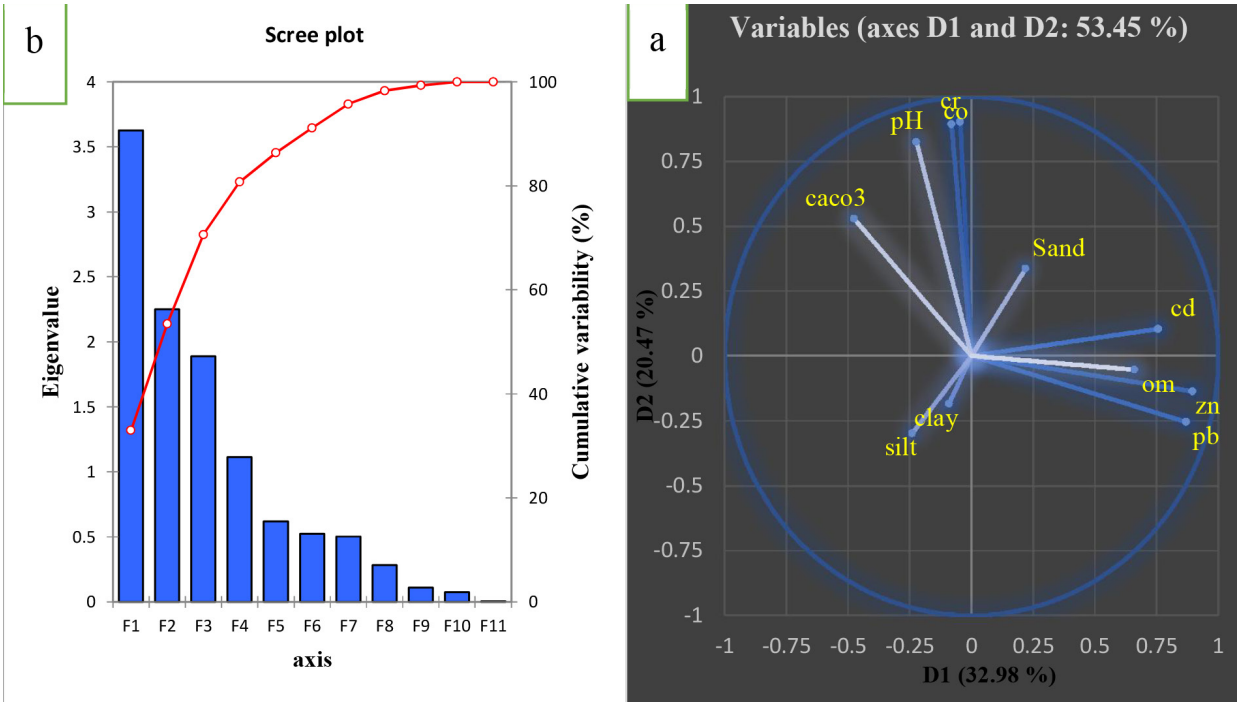
آزمون PCA بر روی داده‌ها چهار مؤلفه اصلی را مشخص کرد که بیش از ۸۰ درصد تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند. عناصر روی، سرب، کادمیوم و ماده آلی به ترتیب با ۸۸، ۸۷، ۷۵ و ۷۲ درصد همبستگی با مؤلفه اول که ۳۲/۹۸ درصد واریانس تغییرات را به خود اختصاص داده است در یک دسته قرار گرفته‌اند. مؤلفه دوم ۲۰/۴۷ درصد واریانس تغییرات، شامل عناصر کروم، کبالت و اسیدیته است که به ترتیب ۹۵، ۹۳ و ۸۶ درصد با این مؤلفه همبستگی دارند. همچنین کلسیم کربنات نیز با ۵۱ درصد بیشترین همبستگی را با این مؤلفه دارد. درصد ذرات خاک (بافت) مؤلفه‌های بعدی را تشکیل می‌دهند. رس و شن در مؤلفه سوم قرار می‌گیرند اما همبستگی آنها با یکدیگر منفی است. ذرات سیلت نیز در دسته جداگانه‌ای با ۹۶ درصد همبستگی در مؤلفه چهارم قرار دارند (جدول ۴).

جدول ۴- جدول تجزیه مؤلفه‌های اصلی

متغیرها	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم
Zn	۰/۸۸۳	−۰/۱۶۸	۰/۰۴۹	−۰/۱۱۵
Pb	۰/۸۷۲	−۰/۲۶۳	۰/۰۰۵	−۰/۰۳۲
Cd	۰/۷۵۶	۰/۰۸۸	−۰/۰۵۲	−۰/۲۰۰
Cr	۰/۰۱۰	۰/۹۵۰	−۰/۰۳۳	−۰/۰۴۰
Co	−۰/۳۳	۰/۹۳۰	۰/۰۴۵	−۰/۰۰۶
om	۰/۷۲۷	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱	۰/۲۸۳
pH	−۰/۱۸۳	۰/۸۶۱	−۰/۰۲۵	−۰/۰۵۹
$CaCO_3$	−۰/۴۸۴	۰/۵۱۰	۰/۱۴۶	−۰/۰۲۷
Clay	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	−۰/۹۸۰	−۰/۱۶۵
Sand	۰/۰۱۹	۰/۰۴۴	۰/۹۱۱	−۰/۴۰۱
Silt	−۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	−۰/۰۸۶	۰/۹۶۴
مقدار ویژه (Eigenvalue)	۳/۶۲	۲/۲۵	۱/۸۸	۱/۱۱
واریانس	۳۲/۹۸	۲۰/۴۷	۱۷/۱۷	۱۰/۱۱
واریانس تجمعی	۳۲/۹۸	۵۳/۴۵	۷۰/۶۳	۸۰/۷۴

نمودار حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی قرارگیری متغیرها بر روی نمودار را نشان می‌دهد که عناصر Cr، CO به دلیل نزدیک بودن به مؤلفه دوم و ایجاد زاویه تند با این مؤلفه در جهت مثبت با مؤلفه دوم همبستگی بالایی دارند، همچنین pH و $CaCO_3$ نیز در جهت مثبت مؤلفه دوم قرار دارند که همبستگی بیشتری با این مؤلفه و Cr و Co نشان می‌دهند. عناصر Zn، Pb و Cd در یک دسته و در جهت مثبت مؤلفه اول قرار دارند که همبستگی بالای بین آنها را نشان می‌دهد. ماده آلی (O.M) نیز تا حد زیادی با این مؤلفه و فاکتورهای آن همبستگی مثبت دارد. رس و سیلت نیز با همبستگی متفاوت با یکدیگر و عدم همبستگی با دیگر متغیرها در قسمت‌های جداگانه‌ای از نمودار قرار دارند (نمودار ۲-b). نمودار ۲-a نمودار Scree یا عصای شکسته را نشان می‌دهد که چهار مؤلفه اول با مقدار ویژه (Eigenvalue) بزرگ‌تر از یک و واریانس تجمعی بالای ۸۰ درصد به عنوان مؤلفه‌های اصلی استخراج شده‌اند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]



نمودار ۲- نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) متغیرها (a) و نمودار Scree یا عصای شکسته برای انتخاب مؤلفه‌ها (b)

بحث

با توجه به نتایج حاصل از آزمون T با یک مقدار ثابت در مقایسه با مقادیر مجاز ارائه شده توسط Turekian و همکار (۱۹۶۱) هر چند مقدار کبالت و کروم خاک در حد نرمال قرار دارد ولی مقدار عناصر روی، سرب و کادمیوم در خاک اطراف معدن نسبت به مقدار استاندارد این عناصر بیشتر است که نشان‌دهنده مقدار بیش از حد مجاز این فلزات و آلودگی خاک‌های اطراف معدن به این فلزات است (۱۸). در منطقه مورد مطالعه عناصر سرب، کادمیوم و روی به ترتیب دارای غنی‌شدگی خیلی شدید، شدید و نسبی هستند که نشان از آلایندگی این عناصر به خصوص سرب که فلزی شدیدا سمی است دارد. غنی‌شدگی بالای این عناصر به دلیل انجام فعالیت معدن‌کاوی است که مقدار زیادی از این عناصر را وارد خاک کرده است. غنی‌شدگی شدید مس توسط Karami و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است (۲۷). براساس شاخص PI نیز عناصر سرب و کادمیوم آلودگی بالا و عنصر روی در درجه آلودگی قابل توجه است که آلایندگی این عناصر را تایید می‌کند. در مطالعه Sistani و همکاران (۲۰۱۷) در اطراف مجتمع فولاد کرمان براساس شاخص PI عناصر روی و سرب دارای آلودگی متوسط تا قابل توجه و عناصر کادمیوم، کروم، نیکل و آهن بدون آلودگی بودند (۷). عناصر کروم و کبالت براساس شاخص زمین‌انباشت در درجه بدون آلودگی، روی با آلودگی متوسط و سرب و کادمیوم نیز در درجه آلودگی سنگین قرار دارند. مطالعه Khazaei و همکار (۲۰۱۲) بالا بودن شاخص زمین‌انباشت برای عنصر کادمیوم در تالاب انزلی را نشان داد که علت آن را فعالیت‌های انسانی از جمله کوددهی بالا به زمین‌های کشاورزی مشرف به تالاب و عبور رودخانه از شهرک صنعتی فومن بیان کردند (۲۸). Salmanpour و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای در منطقه نی‌ریز عنوان کردند که خاک‌های منطقه به شدت به فلزات Cr و Co آلوده است (مقدار شاخص زمین‌انباشت بین ۶-۳) (۲۹). نتایج حاصل از مقدار شاخص‌های MERMQ، PLI، PIN، CSI و PINemerow که آلودگی خاک را براساس تمامی فلزات مورد بررسی قرار می‌دهند، آلودگی بالای خاک را تأیید می‌کند که حاکی از

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

کاهش کیفیت خاک به مرور در آینده می‌شود. در مطالعه‌ای که در رسوبات اطراف خلیج فارس صورت گرفت، براساس شاخص CSI و شاخص (MERMQ) احتمال سمیت رسوبات منطقه دارای آلودگی شدید و احتمال سمیت ۴۹ – ۲۱ بودند (۲۵). در این تحقیق مشخص شد که عناصر کروم و کبالت با یکدیگر همبستگی بالایی دارند، Otari و همکار (۲۰۱۵) همبستگی بین عنصر کروم وکبالت را ۸۲ درصد اعلام کردند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد (۳۰). همبستگی ۹۰ درصدی روی و سرب در این تحقیق با نتایج Karimi و همکار (۲۰۱۱) که این مقدار را ۹۰ درصد به‌دست آوردند مشابه است (۳۱). همچنین مقدار همبستگی بین سرب و روی با ۶۵ درصد تایید شده است (۳۲). بین عناصر سرب و روی با عنصر کادمیوم همبستگی تقریبا بالایی وجود دارد. کادمیوم به مقدار زیادی به لحاظ ژئوشیمی به روی وابسته است (۳۳). همبستگی مثبت و بالا بین عناصر نشانه‌ی منشأ یکسان، آزادسازی و رسوب مشابه است. اسیدیته خاک یکی از فاکتورهای مهم است که بر دسترس‌پذیری فلزات در خاک تأثیر به سزایی دارد. همبستگی بین اسیدیته با عناصر روی و سرب منفی و با کروم مثبت است که با نتایج Chabukdhara و همکاران (۲۰۱۵) در یک راستا است (۳۲). کمبود روی در خاک‌های با اسیدیته قلیایی مشاهده می‌شود (۳۴). کلسیم کربنات با عناصر کروم و کبالت همبستگی متوسط و مثبتی دارد که می‌تواند به معنای حضور بیشتر این عناصر نسبت به سرب، روی و کادمیوم در خاک‌های آهکی باشد. خاک‌های حاوی مقدار زیادی کلسیم کربنات (بیشتر از ۱۵ درصد) با کمبود برخی عناصر از جمله روی روبه‌رو هستند (۳۴). همچنین مقدار سرب در خاک‌های آهکی کاهش می‌یابد (۳۳). تحلیل آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) هم منشأ بودن عناصر سرب، روی و کادمیوم را تأیید می‌کند که می‌توان نتیجه گرفت احتمالا این عناصر تحت فعالیت معدن‌کاوی به خاک وارد شده‌اند و دارای منشأ انسانی هستند و کروم و کبالت نیز تحت تأثیر ترکیب فعالیت‌های انسانی و طبیعی قرار دارند. در مطالعه‌ای با استفاده از PCA مشخص شد که منشأ کروم، نیکل، وانادیوم، کبالت و آهن سنگ‌های افیولیتیکی و منشأ کادمیوم، مولیبدن، مس، آرسنیک، سدیم و پتاسیم سنگ‌های کنگلومرا و توف‌های اسیدی هستند (۳۰).

همچنین Chabukdhara و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تکنیک PCA منشأ آهن و منگنز را طبیعی و منشأ سرب، مس و روی را ناشی از انسانی – طبیعی عنوان کردند (۳۲). با توجه به محدودیت‌های زمانی و مالی در این تحقیق و سمیت عناصر سنگین به ویژه سرب و کادمیوم توصیه می‌شود مطالعات بیشتری در منطقه به لحاظ آلودگی مراتع، زمین‌های کشاورزی اطراف و منابع آبی منطقه صورت بگیرد و به منظور بررسی تأثیر این فلزات برجانوران و درنهایت انسان، ریسک سلامت انسان (خطرات سرطانزایی و غیرسرطانزایی فلزات سنگین) ارزیابی شود. همچنین گونه‌های گیاهی متحمل به فلزات سنگین و دارای شاخص تحمل آلودگی هوا که دارای پتانسیل گیاه‌پالایی هستند شناسایی و به منظور کاهش آلودگی به کار گرفته شوند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی از بررسی تمامی شاخص‌های آلودگی می‌توان نتیجه گرفت که مقدار عناصر کروم و کبالت در محدوده استاندارد مقدار زمینه آنها قرار دارد و حضور این دو عنصر در خاک منطقه بیشتر تحت تأثیر عوامل طبیعی و زمین‌زاد است، در حالی‌که بررسی شاخص‌های مختلف آلودگی برای عناصر روی، سرب و کادمیوم حاکی از آن بود که خاک منطقه مورد مطالعه به شدت به این فلزات آلوده است و مقدار زیادی از این فلزات تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و معدن‌کاوی به محیط اطراف وارد شده است.

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

مقاله حاضر از طرح شماره ۹۸۰۱۰۹۳۰ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور با عنوان "امکان‌سنجی استفاده از گیاهان برای پالایش خاک‌های آلوده" استخراج شده است. مراتب قدردانی خود را از ریاست محترم این صندوق اعلام می‌داریم.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

References

1. Rahman MS, Hossain MB, Babu SOF, Rahman M, Ahmed AS, Jolly Y, et al. 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. 2019;141:137-46.

2. Mmolawa KB, Likuku AS, Gaboutloeloe GK. Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana. African Journal of Environmental Science and Technology. 2011;5(3):186-96.

3. Bolan N, Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Kumpiene J, Park J, Makino T, et al. Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils–to mobilize or to immobilize? Journal of Hazardous Materials. 2014;266:141-66.

4. He Z-L, Yang X-E. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Journal of Zhejiang University Science B. 2007;8(3):192-207.

5. Iskandar IK, Kirkham MB. Trace Elements in Soil: Bioavailability, Flux, and Transfer. Boca Raton: CRC Press; 2001.

6. Taheri M, Esmaeili Aftabdari M, Khoshzaman T, Tokasi M, Abbasi M. Total and absorbable concentrations of heavy metals and evaluation of pollution indices in soils of Zanjan city. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). 2016;29(5):1297-308 (in Persian).

7. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian AH, Ali Taleshi MS, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils adjacent to Kerman steel industry: evaluation of metal richness and degree of pollution. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(1):75-86 (in Persian).

8. Hormozi Nejad F, Rastmanesh F, Zarasvandi A. Evaluation of contamination of minor elements (nickel, iron, zinc, chromium, manganese and lead) in the soils around Khuzestan Steel Industries Complex. Journal of Economic Geology. 2017;8(2):415-29 (in Persian).

9. Bouyoucos GJ. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils1. Agronomy Journal. 1962;54(5):464-65.

10. Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, editor. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties. New York: Wiley; 1983. p. 539-79.

11. Nelson RE. Carbonate and gypsum. In: Page AL, editor. Methods of soil analysis: part 2; chemical and microbiological properties. New York; Wiley; 1982. p. 181-97.

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

13. Loska K, Cebula J, Pelczar J, Wiechuła D, Kwapuliński J. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. Water, Air, and Soil Pollution. 1997;93(1):347-65.

14. Adamo P, Arienzo M, Imperato M, Naimo D, Nardi G, Stanzione D. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. Chemosphere. 2005;61(6):800-09.

15. Zhang J, Liu C. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2002;54(6):1051-70.

16. Ergin M, Saydam C, Baştürk Ö, Erdem E, Yörük R. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. Chemical Geology. 1991;91(3):269-85.

17. Eby GN. Principles of Environmental

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

Geochemistry. Illinois: Waveland Press; 2016.

18. Turekian KK, Wedepohl KH. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geological Society of America Bulletin. 1961;72(2):175-92.

19. Anagnostou C, Kaberi H, Karageorgis A. Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf of Thessaloniki (Greece) according to the geoaccumulation index classification. In: Hernandez S, Mambretti S, editors. Water pollution XIV. UK: WIT Press; 1997. p. 269-75.

20. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal. 1969;2:108-18.

21. Long ER. Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. Environmental Science & Technology. 2006;40(6):1726-36.

22. Long ER, MacDonald DD, Smith SL, Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management. 1995;19(1):81-97.

23. Caeiro S, Costa MH, Ramos T, Fernandes F, Silveira N, Coimbra A, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. Ecological Indicators. 2005;5(2):151-69.

24. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, Qingfei W, Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. Journal of China University of Geosciences. 2008;19(3):230-41.

25. Pejman A, Bidhendi GN, Ardestani M, Saeedi M, Baghvand A. A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study. Ecological Indicators. 2015;58:365-73.

26. Chen T-B, Zheng Y-M, Lei M, Huang Z-C, Wu H-T, Chen H, et al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere. 2005;60(4):542-51.

27. Karami M, Ayoubi S, Khademi H. Evaluation type of igneous rock on trace elements concentration soils developed on them in Ghorveh region of Kurdistan province. Journal of Agricultural Engineering. 2017;40(1):87-105 (in Persian).

28. Khazaei T, Pourkhabbaz A. Investigation of heavy metal concentrations in surface sediments of different sizes (Case study: Anzali wetland). Journal of Wetland Ecobiology Quarterly. 2012;3(11):47-56 (in Persian).

29. Salmanpour A, Salehi MH, Mohammadi J. Distribution of Cr, Ni and Co in soils and rocks of Neyriz area (Iran): the influence of ophiolitic formations. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). 2017;31(3):772-84 (in Persian).

30. Otari M, Dabiri R. Geochemical and environmental assessment of heavy metals in soils and sediments of Forumad Chromite mine, NE of Iran. Journal of Mining and Environmental (International Journal of Mining & Environmental Issues). 2015;6(2):251-61.

31. Karimi M, Ghassempoorshirazi MR. Geochemical distribution and pollution of heavy metals (lead, zinc, nickel, chromium and arsenic) in Ker river sediments (south of Marvdasht). Journal of Geotechnical Geology (Applied Geology). 2012;8(2):133-45 (in Persian).

32. 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.

33. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC Press; 2000.

34. Alloway B. Heavy Metals in Soils. UK: Blackie & Son; 1990.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]

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

Orginal Article

Geochemical and ecological assessment of some heavy metals in the soil around the lead and zinc mine in northwestern of Iran

Sadegh Hosseinniaee, Mohammad Jafary, Ali Tavili, Salman Zare*

Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 28 February 2021
Revised: 17 May 2021
Accepted: 23 May 2021
Published: 21 June 2021

Keywords: Heavy metals, Enrichment coefficient, Geoaccumulation index, Principal component analysis, Pearson correlation coefficient

***Corresponding Author:**
Zaresalman@ut.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Today, soil and water pollution with heavy metals is one of the major challenges around the world. The aim of this study is to investigate the contamination of soils around a lead and zinc mine.

Materials and Methods: In the summer of 2019, 100 soil samples were taken from the mine vicinity and the characteristics of texture, acidity, salinity, calcium carbonate, organic matter and heavy metals chromium, cobalt, zinc, lead and cadmium were measured. Pollution indices including pollution factor (PI), enrichment coefficient (EF), geoaccumulation (Igeo), toxicity probability (MERMQ), contamination load (PLI), background enrichment (PIN), pollution security (CSI) and Nemerow index (PINemerow)) Were calculated. Correlation between soil variables and determination of metal origin were determined using Pearson correlation and principal component analysis (PCA) analysis.

Results: The average concentrations of chromium, cobalt, zinc, lead and cadmium were obtained as 92, 21.33, 453.98, 351.24 and 4.28 mg/kg, respectively. The metals pollution evaluated based on PI, EF and Igeo indices were moderate for chromium and cobalt, considerable for zinc and significant for lead and cadmium. The results of MERMQ, PLI, PIN, CSI and PINemerow indices showed high soil contamination with heavy metals. According to the PCA test, the elements lead, zinc and cadmium are in a group with high correlation with each other that are of anthropogenic origin. Chromium and cobalt with a correlation of 88% also showed the same geological origin.

Conclusion: mining activities should be done with more caution and measures should be taken to reduce pollution.

Please cite this article as: Hosseinniaee S, Jafary M, Tavili A, Zare S. Geochemical and ecological assessment of some heavy metals in the soil around the lead and zinc mine in northwestern of Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(1):159-72.

Copyright © 2021 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-11-04]