نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
"مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب"
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴
توجه به گسترش پدیده‌های حدی،
هوش مصنوعی و جامع نگری در برنامه‌های ملی و محلی خاک

ارزیابی آلودگی کروم در خاک‌های اطراف معدن کرومیت سبزوار

زهرا سیدآبادی[1*]، حجت امامی[2]، امیر فتوت[3]

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ *seyedabadi.zahra@yahoo.com

چکیده:

این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات فلز سنگین کروم در خاک‌های اطراف معدن کرومیت شهرستان سبزوار در خراسان رضوی انجام شد. برای این منظور، ۳۰ نمونه خاک در جهت شرق-غرب و با فاصله ۳۵۰ متری از یکدیگر، از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری، نمونه‌برداری شد. غلظت کروم در هر نمونه با استفاده از دستگاه ICP-ES اندازه‌گیری شد. برای کمی‌سازی میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، از شاخص غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کروم در نمونه‌ها ۸۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از حد مجاز استاندارد جهانی بیشتر است. بر اساس شاخص غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی، خاک‌های اطراف معدن کرومیت در کلاس آلودگی قابل‌توجه قرار دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که عدم کنترل آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری، علاوه بر ایجاد مشکلات زیست‌محیطی، می‌تواند بر کیفیت خاک و سلامت انسان تأثیر منفی بگذارد.

واژگان کلیدی: شاخص غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی، کروم، معدن کرومیت

مقدمه:

کروم فلزی با کاربردهای گسترده در صنایع مختلف است. کرومیت ($FeCr_2O_4$) فراوان‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین منبع کروم در پوسته زمین محسوب می‌شود و نقش کلیدی در تأمین این عنصر ضروری ایفا می‌کند (Izerdem, 2024; Koleli and Demir, 2016). با وجود اهمیت کرومیت در صنایع مختلف، استخراج و فرآوری آن پیامدهای زیست‌محیطی قابل‌توجهی دارد که نیازمند توجه جدی است. به‌عنوان مثال، استخراج کرومیت، به‌ویژه به دلیل دفع نادرست پسماندهای حاوی کروم (VI) که آلاینده اصلی است، به‌طور قابل‌توجهی به آلودگی محیط‌زیست دامن می‌زند (Sahu and Dash 2025). کروم (VI) خطرات زیادی بر سلامتی کارگران معدن و جمعیت‌های اطراف محیط ایجاد می‌کند و حتی تأثیر آن را تشدید می‌کند (Ahmad et al., 2025). قرار گرفتن در معرض این عنصر بسیار سرطا نزا بوده و همچنین باعث ایجاد بیماریهای قلبی عروقی و کبدی می‌شود(Das et al., 2021).

تحقیقات بر روی ذخایر اولترامافیک سوکیندا (بزرگترین ذخایر سنگ معدن کرومیت) نشان دهنده آلودگی شدید منابع آب به کروم (VI) و آهن ناشی از فعالیت‌های معدنی است، که کودکان را در معرض خطر سرطان قرار داده است. این یافته‌ها ضرورت اصلاح شیوه‌های معدن‌کاری را برجسته می‌کند (Kumari et al., 2024).

اهمیت آلودگی خاک و انباشت مستمر فلزات سنگین، پایش توزیع غلظت عناصر سنگین در خاک و حفظ کیفیت محیط‌زیست را ضروری می‌سازد. مطالعات نشان می‌دهند که سنگ‌های اطراف سبزوار از نوع افیولیت هستند (Afshar-Harb, 1994) و احتمالاً غلظت بالایی از کروم، نیکل و کبالت در آن‌ها وجود دارد. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی میزان آلودگی کروم در خاک‌های سطحی اطراف معدن کرومیت انجام شد.

مواد و روش‌ها

معدن کرومیت، واقع در کمربند افیولیتی، از نظر جغرافیایی در موقعیت "۳۶°۵۲′۱۹ عرض شمالی و "۵۷°۴۰′۴۷ طول شرقی قرار دارد. این معدن که در ۱۰ کیلومتری شهرستان سبزوار در استان خراسان رضوی واقع شده، یکی از مهم‌ترین معادن کرومیت ایران به شمار می‌رود. جهت وزش باد غالب در این منطقه شرقی-غربی است.

نمونه‌برداری در زمستان ۱۴۰۰ در اطراف معدن کرومیت سبزوار به صورت مرکب از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری و در فواصل ۳۵۰ متری انجام شد. در مجموع ۳۰ نمونه تا فاصله ۱۰ کیلومتری در جهت وزش باد غالب از معدن جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، در معرض هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند تا برای بررسی غلظت کروم آماده شوند.

غلظت کل عنصر کروم با استفاده از روش تیزاب سلطانی تعیین و با دستگاه ICP-ES اندازه‌گیری شد (Dakiky et al., 2002). به منظور ارزیابی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معدن، شاخص غنی‌شدگی محاسبه گردید. این شاخص، با مقایسه غلظت فلز مورد نظر با غلظت یک عنصر مرجع تعیین می‌شود. عنصر مرجع، عنصری است که منشأ زمین‌شناسی داشته و کمتر تحت تأثیر آلودگی‌های انسانی قرار می‌گیرد (Wei and Yang, 2010). در این مطالعه، با استناد به پژوهش‌های پیشین (Turner and Simmonds, 2006)، عنصر آهن به عنوان فلز مرجع انتخاب شد.

$$EF=(C_n/C_{ref})_{sample}/(B_n/C_{ref})_{Background} \quad (۱)$$

در این معادله C_n: غلظت فلز اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک، C_{ref}: غلظت فلز مرجع، B_n: غلظت زمینه و C_{ref}: غلظت فلز مرجع است.

جدول ۱- طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)

سطح آلودگی	مقدار EF
تهی یا کمی غنی‌شده	EF<۲
غنی‌شدگی متوسط	۲≤EF<۵
غنی‌شدگی قابل‌توجه	۵≤EF<۲۰
غنی‌شدگی شدید	۲۰≤EF<۴۰
غنی‌شدگی بسیار شدید	EF≥۴۰

همچنین به‌منظور بررسی میزان آلودگی محیط به یک عنصر خاص، از فاکتور آلودگی استفاده شد (Sayadi et al., 2015b). برای ارزیابی خطر آلودگی خاک در منطقه مورد مطالعه، از درجه‌بندی هاکانسون برای فاکتور آلودگی فلزات سنگین استفاده شد (Hakanson, 1980). این درجه‌بندی بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CF=M_x/M_b \quad (۲)$$

در این رابطه، M_x نمایانگر میانگین غلظت فلز در خاک مورد مطالعه و M_b نشان‌دهنده میانگین غلظت فلز در خاک زمینه است که معمولاً غلظت در مقیاس جهانی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس شدت آلودگی، میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌تواند در بازه ۰ تا ۶ قرار گیرد.

جدول ۲- طبقات فاکتور آلودگی (Hakanson, 1980)

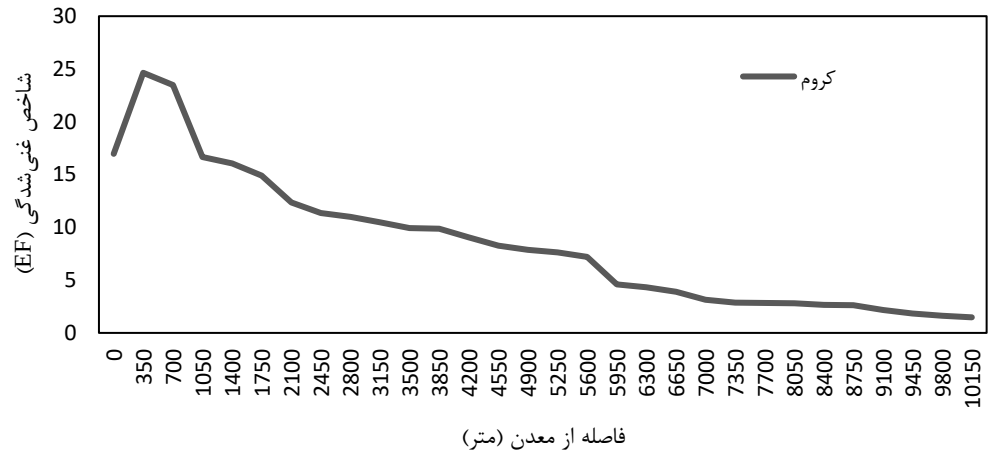
درجه آلودگی	مقدار فاکتور آلودگی
غیر آلوده	۰
غیر آلوده تا کمی آلوده	۱
کمی آلوده	۲
کمی آلوده تا خیلی آلوده	۳
خیلی آلوده	۴
خیلی آلوده تا شدیدا آلوده	۵
شدیدا آلوده	۶

نتایج و بحث:

طبق خلاصه آماری این خاک‌ها از نظر pH، قلیایی هستند، که بر غلظت، تحرک و در دسترس بودن فلزات در خاک و در نهایت جذب آنها توسط گیاهان تأثیر می‌گذارد. بافت خاک، لوم شنی است. این اطلاعات آماری، به همراه مشخصه قلیایی بودن، برای درک بهتر شرایط خاک و تأثیر آن بر عناصر موجود در معدن، سودمند هستند.

با مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین خاک اطراف معدن کرومیت با مقادیر میانگین جهانی (Bowen 1979) و (USEPA)، مشاهده می‌شود که غلظت کروم بالاتر از حد مجاز میانگین جهانی خاک (۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و استاندارد جهانی (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و در ایران متاسفانه استانداردی برای این عنصر براورد نشده است. بنابراین با استناد بر استانداردهای جهانی نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از غلظت بالایی از کروم برخوردار است و می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت انسان باشد.

آلودگی فلزات سنگین خاک‌های اطراف معدن کرومیت با استفاده از شاخص غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی، ارزیابی شد. شکل ۱، مقادیر شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین را از ۳۰ نقطه نشان می‌دهد. با افزایش فاصله از معدن، شاخص غنی‌شدگی کروم کاهش می‌یابد و بیشترین میزان آلودگی در خاکِ مناطق نزدیک به معدن مشاهده شد. به‌طور کلی، میانگین شاخص غنی‌شدگی کروم در خاک‌های اطراف معدن، ۸/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بر اساس جدول ۱، نشان‌دهنده‌ی آلودگی قابل‌توجه است. این مسئله حائز اهمیت است، زیرا هر چه میزان این شاخص بالاتر باشد، سهم عوامل انسانی در افزایش آلودگی خاک منطقه به فلز مورد نظر بیشتر می‌شود. همچنین نتایج حاصل از فاکتور آلودگی نشان می‌دهد که میانگین، حداکثر و حداقل این شاخص به ترتیب برابر با ۹/۴۳، ۲۷/۳۸ و ۱/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و با افزایش فاصله از معدن، روند کاهشی را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۲، فلز سنگین کروم با درجه آلودگی ۹ در سطح آلودگی بالا طبقه‌بندی می‌شود که این امر، بیانگر خطر زیست‌محیطی قابل توجهی است. جغتای و همکاران (۱۴۰۰) با محاسبه شاخص های آلودگی (شاخص زمین انباشتگی, شاخص غنی شدگی, فاکتور آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده) نشان دادند که خاک های منطقه نسبت به عناصر کروم و نیکل آلودگی شدید و نسبت به عنصر کبالت آلودگی متوسط دارند که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد.



شکل ۱- شاخص غنی‌شدگی (EF) برای سطوح آلودگی در نمونه‌های خاک

نتیجه‌گیری

این مطالعه با توجه به مسئله‌ی آلودگی‌های محیط‌زیستی به عنوان یکی از شاخص‌ها و معیارهای تخریب و کاهش کیفیت خاک انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز نمونه‌های خاک و شاخص‌های آلودگی در مجاورت معدن کرومیت نشان داد که معدن‌کاوی و فعالیت‌های انسانی از عوامل اصلی افزایش غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک‌های این منطقه هستند. در این پژوهش، خطر عنصر کروم بر اساس شاخص غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش فاصله از معدن، شاخص غنی‌شدگی و فاکتور آلودگی عنصر کروم کاهش می‌یابد، اما در مجموع، میانگین این دو شاخص بالاست و نمایانگر درجه‌ی آلودگی قابل‌توجه است. بنابراین، به‌منظور پیشگیری از افزایش غلظت این آلاینده‌ها، لازم است راهکارهایی برای حفظ سلامت اکوسیستم منطقه و جلوگیری از ورود فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های معدنی طراحی شود. از این رو، پایش غلظت این فلز در این منطقه

ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، پیشنهاد می‌شود مطالعات گسترده‌تری در جهات مختلف در رابطه با موقعیت معدن مذکور در منطقه انجام شود.

فهرست منابع

۱. جغتایی، ح.، دبیری، ر.، و مسلم پور، م. (۱۴۰۰). ارزیابی میزان آلودگی و توزیع عناصر کروم, نیکل و کبالت در خاک منطقه افیولیتی جغتای (شمال غرب سبزوار), بر اساس تحلیل های آماری و استخراج ترتیبی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۳(۸ (پیاپی ۱۱۱))، ۱۹-۳۵.

2. Ahmad, N., Ullah, N., Bakhsh, M., Younis, H. (2025). Comprehensive assessment of radiological hazards in chromite mines at Khanozai and Muslim Bagh, Balochistan, Pakistan. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 1-16.

3. Das, S., Behera, B. C., Mohapatra, R. K., Pradhan, B., Sudarshan, M., Chakraborty, A., & Thatoi, H. (2021). Reduction of hexavalent chromium by Exiguobacterium mexicanum isolated from chromite mines soil. Chemosphere, 282, 131135.

4. Izerdem, D. (2024). A comparative experimental analysis of the effect of spiral geometry on the separation of fine chromite particles. Part 1: potential downstream impacts. *Mining, Metallurgy & Exploration*, *41*(5), 2619-2634.

5. Koleli, N., Demir, A. (2016). Chromite. In *Environmental materials and waste* (pp. 245-263). Academic Press.

6. Kumari, A., Sinha, A., Singh, D. B., & Pasupuleti, S. (2024). Source apportionment and health risk assessment in chromite mining area: Insights from entropy water quality indexing and Monte Carlo simulation. *Process Safety and Environmental Protection*, *184*, 526-541.

7. Sahu, K., Dash, P. (2025). Chromium dynamics in soil and detoxification of chromite belts using rhizospheric soil–plant interface. *Environmental Monitoring and Assessment*, *197*(6), 1-26.

Evaluation of Chromium pollution in the soils around Sabzevar Chromite mine

Zahra SeydAbadi[1], Hojat Emami[2], Amir Fotovat[3]
Department of soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract
This study performed to evaluate the effects of heavy metal's chromium in soils around the chromite mine in Sabzevar County, Razavi Khorasan Province. For this purpose, 30 soil samples were taken in an east-west direction and at a distance of 350 meters from each other, from a depth of 0 to 15 cm. The chromium concentration in each sample was measured using an ICP-ES apparatus. The Enrichment factor and Contamination factor was used to quantify the level of soil contamination with heavy metals. The results showed that the average chromium concentration in the samples was 848 mg/kg, which is higher than the international standard limit. Based on the Enrichment factor and Contamination factor, the soils around the chromite mine are in the significant pollution class. These findings indicate that the lack of control of pollutants resulting from mining activities, in addition to creating environmental problems, can negatively affect soil quality and human health.
Keywords: Chromite mine, Chromium, Contamination factor, Enrichment factor