19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

ارزیابی خطرزیست محیطی کادمیم در خاک‌های مجاور معادن طلای تکاب با استفاده از شاخص زمین انباشت

مختار خانی[۱]، ابراهیم سپهر[۲]، فرخ اسدزاده[۲]، مرضیه پیری[۳] ، میرحسن رسولی صدقیانی[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه؛ ۲- گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه، ایران؛ ۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، بخش تحقیقات خاک و آب، ارومیه، ایران (piri.ma@yahoo.com)

چکیده

کادمیم یکی از فلزات سنگین سمی است که می‌تواند با ورود به آب، خاک و زنجیره غذایی، آسیب‌های جدی به سلامت انسان و محیط زیست وارد کند. استخراج طلا اغلب با آزاد شدن عناصر سمی همراه است، لذا هدف این پژوهش، ارزیابی میزان آلودگی کادمیم در خاک‌های پیرامون معادن طلای تکاب با استفاده از شاخص زمین‌انباشت (I_{geo}) و تحلیل پراکنش مکانی آن با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ می‌باشد. تعداد ۸۶ نمونه مرکب از خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) منطقه مورد مطالعه جمع آوری شد و بعد از آماده سازی نمونه‌ها مقدار کادمیم از طریق هضم با مخلوط اسید نیتریک و قرائت با دستگاهICP اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد شاخص زمین انباشت در همه نمونه‌های مورد مطالعه مثبت می‌باشد و خطر آلودگی این عنصر وجود دارد، بطوریکه که بیش از ۶۰ درصد از نمونه‌های خاک برداشت‌شده دارای کلاس آلودگی متوسط و تقریبا ۱۶ درصد نمونه‌ها در کلاس آلودگی شدید قرار دارند. بعلاوه نقشه پهنه‌بندی شاخص زمین‌انباشت (I_{geo}) کادمیم نیز نشان داد که مناطق شمالی، شمال شرقی، شمال غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه، به‌طور خاص دارای پتانسیل بالای آلودگی هستند. این وضعیت، ناشی از ترکیب عوامل طبیعی و انسانی (فعالیت‌های معدن‌کاری) بوده و از نظر زیست‌محیطی کادمیم یک تحدید جدی برای سلامت محیط زیست محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: کادمیم، معدن طلا، شاخص زمین انباشت، خاک آلوده، تکاب

مقدمه

آلودگی کادمیم در خاک‌ها یکی از معضلات زیست‌محیطی مهم به‌شمار می‌رود که در مناطق معدنی، به‌ویژه معادن طلا، شدت بیشتری پیدا می‌کند (Huang *et al.*, 2019). این فلز سنگین به دلیل پایداری بالا، به‌سختی تجزیه شده و در خاک تجمع می‌یابد که این امر منجر به آسیب به میکروارگانیسم‌های مفید و تهدید جدی برای ایمنی زنجیره غذایی می‌گردد. آلودگی خاک به کادمیم در اطراف معادن طلا نه‌تنها سلامت اکوسیستم‌های محلی را تهدید می‌کند، بلکه با انتقال به گیاهان و منابع آبی، خطرات جدی برای سلامت انسان نیز به‌همراه دارد (Zhang *et al.*, 2016). از دیدگاه ژئوشیمیایی و با توجه به نحوه تشکیل ذخایر طلا، معمولاً این معادن حاوی عناصری همچون آرسنیک، کادمیم، مس، سرب و سایر فلزات هستند (Faria *et al.*, 2023).

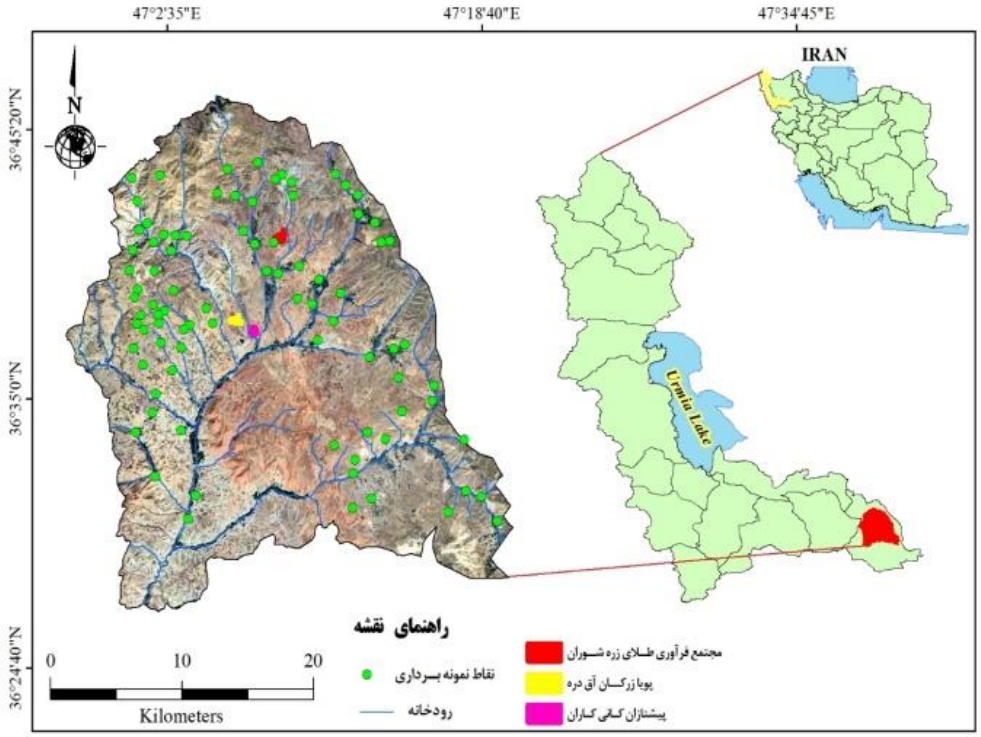
برخی محققان در بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیم، مس، آهن، منگنز، سرب و روی) در خاک‌های معدن سرب و روی کوشک شهرستان بافق در استان یزد مشاهده کردند مقادیر عناصر کادمیم، سرب و روی از حد آستانهٔ ایران و جهان فراتر رفته‌اند که عمدتاً از آلودگی‌های سنگ‌شناختی و فعالیت‌های انسانی ناشی از معدن‌کاری و ترافیک تأثیر می‌پذیرند (Sohrabizadeh *et al.*, 2018). در ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست محیطی برخی از فلزات سنگین خاک اطراف معدن سرب و روی در شمال غرب ایران (زنجان) مشاهده کردند آلودگی بالای خاک منطقه به فلزات سنگین وجود دارد و براساس آنالیز سرب، روی و کادمیم در یک گروه قرار می‌گیرند که دارای منشأ انسان‌زاد هستند. بعلاوه در این مطالعه مشاهده کردند کروم و کبالت نیز با همبستگی ۸۸ درصد دارای منشأ زمین شناسی یکسان هستند (Hosseinniaee *et al.*, 2021). بنابراین بررسی وضعیت آلایندگی عناصر سنگین در خاک‌های اطراف معادن از ضروریات پژوهشی می‌باشد.

برای ارزیابی میزان آلودگی خاک، روش‌های گوناگونی توسعه یافته‌اند که اغلب بر پایه مقایسه مناطق مختلف، تحلیل‌های آماری و استفاده از غلظت‌های مرجع عناصر عمل می‌کنند. این روش‌ها در قالب‌های مختلف طبقه‌بندی شده‌اند. در یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها، این روش‌ها به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: روش‌های کیفی، مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل عاملی(FA) ، که بیشتر برای شناسایی الگوها و منابع آلودگی به‌کار می‌روند، و روش‌های کمی، مانند فاکتور غنی‌سازی (EF) و شاخص زمین‌انباشت(I_{geo}) ، که برای سنجش شدت آلودگی و مقایسه با سطوح پایه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Qingjie *et al.*, 2008). با توجه به نبود اطلاعات کافی در مورد میزان آلودگی کادمیم در خاک‌های پیرامون معادن طلای تکاب، هدف این پژوهش بررسی سطح آلودگی این عنصر در خاک‌های اطراف منطقه معدنی تخت سلیمان با بهره‌گیری از شاخص زمین‌انباشت (I_{geo})است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه منطقه‌ای به مساحت حدود ۷۶۷ کیلومترمربع است که در بخش تخت سلیمان و در ۳۰ کیلومتری شمال شهر تکاب در استان آذربایجان غربی و در حد فاصل استان‌های آذربایجان‌غربی، کردستان و استان زنجان واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای نیمه خشک با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد با میانگین دمای سالانه حدود ۹ درجه سانتیگراد می‌باشد. بارندگی سالانه حدود ۴۰۰ میلی‌متر است که بیشتر به صورت برف می‌بارد. تغییرات ارتفاعی در منطقه در محدوده ۲۹۶۱-۱۶۸۰ متر بوده و شیب محدوده نیز در دامنه ۲ تا بیش از ۶۰ درصد متغیر می‌باشد. براساس نقشه ساختار زمین‌شناسی، در این منطقه مواد مادری گوناگون از جمله سنگ‌های متامورفیک، آندزیت‌های آتشفشانی، آمفیبول‌ها، گرانیت، شیل، ماسه سنگ، سنگ آهک و مارن‌های گچی موجود می‌باشد.



شکل ۱- محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان آذربایجان غربی به همراه محدوده نقاط نمونه‌برداری

به منظور ارزیابی آلودگی خاک ناشی از کادمیم در منطقه مورد مطالعه از شاخص زمین انباشت (I_{geo}) استفاده شد این شاخص بصورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱)

$$I_{geo} = log_2\left[\frac{C_n}{1.5B_n}\right]$$

که در این معادله بترتیب C_n و B_n غلظت کادمیم در نمونه‌های خاک مورد آزمایش و غلظت زمینه می‌باشد. مقادیر مختلف I_{geo} را بر اساس شدت آلودگی می‌توان در ۶ کلاس تقسیم‌بندی کرد. کلاس ۱ کمترین شدت آلودگی و کلاس ۶ آلوده‌ترین کلاس می‌باشد (جدول ۱).

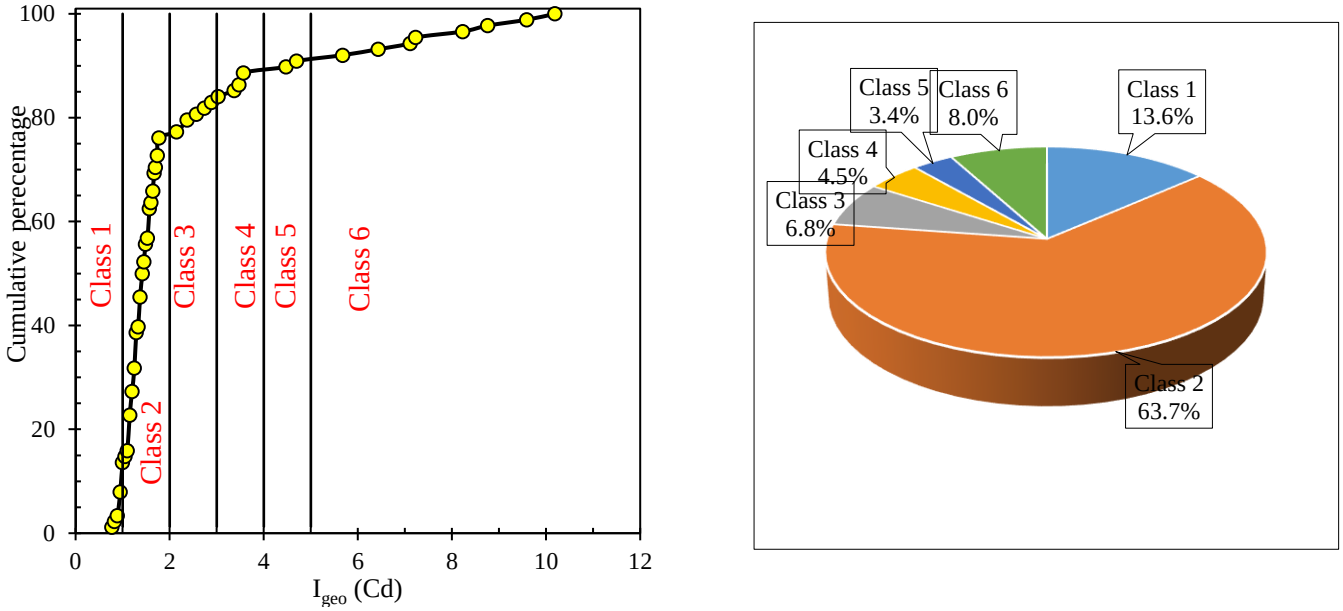
جدول ۱- مقادیر آستانه شاخص زمین انباشت (Muller, 1979)

کلاس	شدت آلودگی	I_{geo}
۰	نسبتا غیر آلوده	Igeo <۰
۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۰ ≤ Igeo <۱
۲	آلودگی متوسط	۱≤ Igeo <۲
۳	آلودگی متوسط تا شدید	۲≤ Igeo <۳
۴	آلودگی شدید	۳ ≤ Igeo < ۴

۵	آلودگی شدید تا بسیار شدید	۴< Igeo ≤ ۵
۶	آلودگی بسیار شدید	I_{geo} > ۵

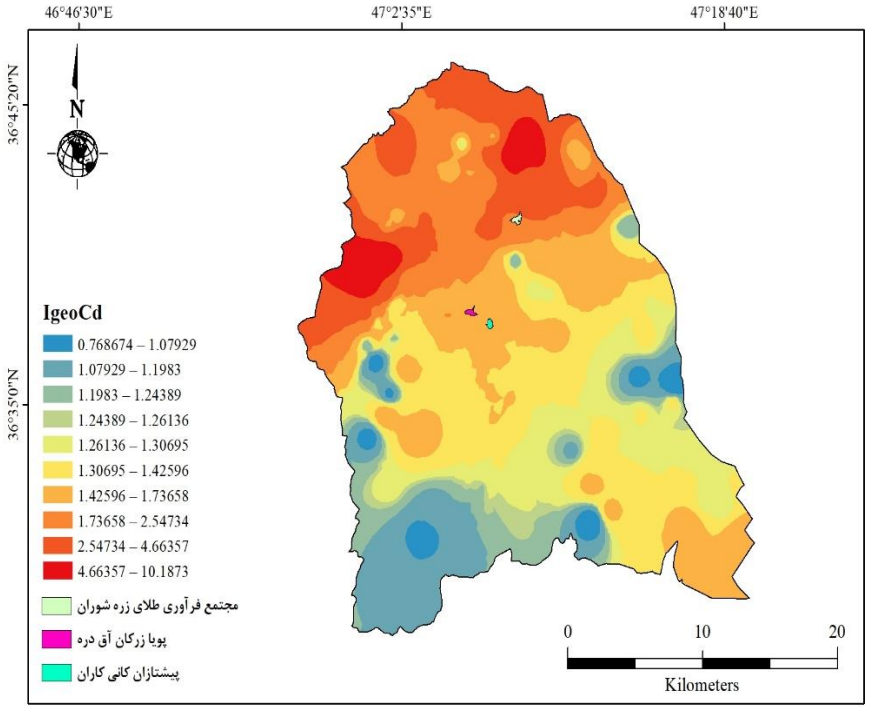
نتایج و بحث

برای سنجش میزان آلودگی خاک‌های منطقه مورد مطالعه به عنصر کادمیم، از شاخص زمین‌انباشت (I_{geo}) استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقدار این شاخص در تمامی نمونه‌های خاک مثبت بوده و بیانگر آن است که منطقه مورد بررسی از نظر کادمیم در محدوده‌ی خاک‌های آلوده قرار دارد. برپایه گروه‌بندی مولر (جدول ۱) ۱۳ درصد خاک‌ها در کلاس یک (غیر آلوده تا آلودگی متوسط)، ۶۴ درصد در کلاس ۲ (آلودگی متوسط)، ۶/۸ درصد در کلاس ۳ (آلودگی متوسط تا شدید) و ۱۵/۹ درصد در کلاس‌های آلودگی شدید (کلاس ۴، ۵، ۶) قرار دارند (شکل ۳).



شکل ۳-کلاس‌بندی و توزیع شاخص زمین انباشت (I_{geo}) کادمیم (As) در خاک‌های مورد مطالعه

نقشه توزیع مکانی عناصر سنگین به عنوان ابزاری مناسب برای شناسایی منبع آلودگی احتمالی استفاده می‌شود (Wu *et al.*, 2020). برای تهیه نقشه توزیع مکانی شاخص زمین انباشت (I_{geo}) کادمیم در خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نرم افزار ArcGIS استفاده شد (شکل ۴). نقشه کریجینگ پراکنش کادمیم نشان داد منطقه شمال شرق (مجتمع فرآوری طلای زرشوران) و شمال غرب (پویان زرکان آق دره) دارای آلودگی شدید کادمیم بوده و غلظت بالای این عنصر در این مناطق وجود دارد و هر چقدر از این معادن فعال استخراج طلا فاصله بیشتر می‌شود میزان آلودگی کادمیم کمتر می‌شود.



شکل ۴- نقشه کریجینگ توزیع مکانی شاخص زمین انباشت (I_{geo}) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

با توجه به اثرات زیان‌بار کادمیم بر سلامت انسان، شناسایی و پایش خاک‌های آلوده به این عنصر در خاک‌های کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فعالیت‌های معدن‌کاری، به‌ویژه در معادن طلا، در کنار عوامل طبیعی و وجود کانی‌های حاوی کادمیم، از جمله مهم‌ترین عوامل تسریع‌کننده در آلودگی محیط‌زیست به این عنصر سمی محسوب می‌شوند. بررسی‌های انجام‌شده در منطقه معادن طلای تکاب نشان داد آلودگی کادمیم در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، براساس طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشم، در بیش از ۶۰ درصد از نمونه‌ها در رده آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. نقشه پراکنش شاخص زمین‌انباشت کادمیم نیز بیانگر آن است که مناطق شمالی، شمال‌شرقی، شمال‌غربی و مرکزی منطقه مورد مطالعه بیش از سایر نواحی در معرض خطر آلودگی این عنصر سمی قرار دارند. بنابراین، اجرای اقدامات مدیریتی و کنترلی برای کاهش ورود کادمیم به خاک در این نواحی ضروری است. در نهایت، نتایج این تحقیق می‌تواند نقش مؤثری در تدوین راهکارهای مؤثر جهت مدیریت زیست‌محیطی و پاک‌سازی نواحی آلوده به کادمیم در معادن ایفا کند.

فهرست منابع

Hosseinniaee, S., Jafary, M., Tavili, A., Zare, S. (2021). 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.14(1), 159-72.

Huang, Y., Wang, L., Wang, W., Li, T., He, Z., Yang, X. (2019). Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: a meta-analysis. Sci. Total Environ. 651, 3034–3042. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.185.

Faria, M.C.d.S., Hott, R.d.C., Santos, M.J.d., Santos, M.S., Andrade, T.G., Bomfeti, C.A., Rocha, B.A., Barbosa, F.J., Rodrigues, J.L. (2023). Arsenic in Mining Areas: Environmental Contamination Routes. Int. J. Environ. Res. Public Health, 20, 4291. https://doi.org/10.3390/ijerph20054291.

Sohrabizadeh, Z., Sodaiezadeh, H., Hakimizadeh, M.A., Taghizadeh Mehrjardi, R., Ghanei Bafaqi, M.J. 2018. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Soil Samples around the Lead-Zinc Mine of Kushk, Bafq, using Pollution Indicators and Principal Component Analysis. Geography and Environmental Planning. 10.22108/gep.2020.121263.1260.

Zhang, C., Nie, S., Liang, J., Zeng, G., Wu, H., Hua, S., et al. (2016). Effects of heavy metals and soil physicochemical properties on wetland soil microbial biomass and bacterial community structure. Sci. Total Environ. 557-558, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.170.

Muller G., (1979). Index of geo-accumulation of Sediments of the Rhine River, Geology Journal, 2, 108–120.

Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingjie, W., Liqiang, Y. (2008). Calculating Pollution Indices by Heavy Metals in Ecological Geochemistry Assessment and a Case Study in Parks of Beijing. Journal of China University of Geosciences, 19, 230-241.

Wu, H., Liu, Q., Ma, J., Liu, L., Qu, Y., Gong, Y., Yang, S., Luo, T. (2020). Heavy Metal (loids) in typical Chinese tobacco-growing soils: Concentrations, influence factors and potential health risks. Chemosphere, 245, 125591.

Environmental risk assessment of Cd in soils around to Tekab gold mines using the geo-accumulation index

Mokhtar Khani[1], Ebrahim Sepehr[2], Farrokh Asadzadeh[2], Marziyeh Piri[3], Mirhassan Rasouli-sadaghiani[2]

1- PhD student, Department of Soil Science; Urmia University; Urmia, Iran. 2- Department of Soil Science; Urmia University; Urmia, Iran. 3- West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Soil and Water Research Department, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

Abstract

Cadmium (Cd) is a toxic heavy metal that can cause serious damage to human health and the environment by entering water, soil, and the food chain. Gold mining is often accompanied by the release of toxic elements, so the aim of this study is to evaluate the level of Cd contamination in the soils around the Tekab gold mines using the geo-accumulation index (I_{geo}) and analyze its spatial distribution using the Kriging interpolation method. A total of 86 composite samples of topsoil (0 to 20 cm) of the study area were collected, and after sample preparation, the amount of Cd was measured by digestion with a nitric acid mixture and reading with an ICP device. The results showed that the geo-accumulation index was positive in all the samples studied and there was a risk of contamination of this element, such that more than 60 percent of the soil samples collected had a moderate contamination class and approximately 16 percent of the samples were in the high contamination class. In addition, the Cd geo-accumulation index (I_{geo}) zoning map also showed that the northern, northeastern, northwestern, and central regions of the study area have particularly high potential for contamination. This situation is due to a combination of natural and human factors (mining activities), and from an environmental perspective, cadmium is considered a serious threat to environmental health.

Keywords: Cd, Gold mine, Land accumulation index, Contaminated soil, Teka