محور مقاله: آلودگی زیست‌بوم، سلامت انسان و زیست پالایی

ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌های اطراف معدن شیندستان زنجان به فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی)

غلامرضا اسد شهانقی[۱*]، فاطمه احمدی[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین، دانشگاه ارومیه

[۲] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

چکیده

خاک یکی از مهم‌ترین اجزای لیتوسفر بوده و به‌عنوان بخشی از اکوسیستم نقش بسیار مهمی در چرخه حیات ایفا می‌کند. هدف از این تحقیق، ارزیابی تأثیر فعالیت‌های معدن‌کاری بر آلودگی خاک و نحوه توزیع فلزات سنگین در محدوده‌ای از خاک‌های اطراف معدن شیندستان واقع در شهرستان طارم، استان زنجان است. در این راستا، ۱۰ نمونه خاک از عمق سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) اطراف معدن به روش نمونه‌برداری تصادفی برداشت شد. نمونه‌های خاک منطقه پس از هضم با اسید نیتریک غلیظ (۴ نرمال) توسط دستگاه پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) برای تعیین غلظت فلزات سنگین (As، Cd،Cr، Cu، Ni، Pb، Zn) آنالیز شدند. نتایج نشان می‌دهند که متوسط غلظت فلزات روی (۱۱۲۴/۴)، مس (۳۴۳/۱)، سرب (۲۲۹/۷)، آرسنیک (۴۰/۱)، کروم (۲۸/۳)، کادمیوم (۲۷/۱) و نیکل (۱۴/۶) برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه‌های خاک نسبت به استاندارد کیفیت منابع خاک ایران (به‌جز Ni و Pb) بسیار بیشتر است. نمونه خاک‌های مطالعه شده از نظر شاخص زمین انباشت تمامی فلزات به‌جز نیکل و سرب در محدوده شدیداً آلوده قرار دارند. بر اساس آنالیز مؤلفه‌های اصلی، منشأ فلزات آرسنیک، کادمیوم، روی مشترک بوده و فلزات نیکل، کروم، سرب به دلیل رفتار ژئوشیمیایی مشابه منشأ یکسانی دارند و فلز مس به تنهایی در دسته‌ای جداگانه قرار دارد. نتایج نشان می‌دهند که فعالیت‌های معدنکاری و استخراج کانسنگ می‌تواند باعث افزایش غلظت فلزات سنگین و یا دسترس‌پذیری آن‌ها در محیط خاک و گیاه شود.

کلمات کلیدی: آلاینده‌های شیمیایی، شاخص زمین انباشت، آنالیز مؤلفه‌های اصلی

مقدمه

آلاینده‌های شیمیایی از جمله فلزات سنگین تولیدشده از طریق فرآیندهای طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی یکی از عوامل اصلی آلودگی آب و خاک به شمار می‌رود (Vural, 2015). منابع طبیعی فلزات سنگین را می‌توان سنگ‌های آتش‌فشانی، رسوبی، دگرگونی و هوادیدگی تشکیلات خاک در نظر گرفت و منابع غیرطبیعی این فلزات را می‌توان متأثر از فعالیت‌های انسان همچون معدنکاری، کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی دانست (Zhen و همکاران ۲۰۱۲). پیشرفت، صنعتی شدن و نیاز فزاینده به انرژی و مواد معدنی، منجر به افزایش استخراج از معادن شده است که همین امر باعث ایجاد عدم توازن در تعادل اکولوژی شده و همچنین خطرهای زیست‌محیطی فراوانی را به وجود آورده است که با افزایش آلودگی‌ها امکان حیات و استفاده از محیط‌زیست سالم را از بشر می‌گیرد (Mirnejad و همکاران ۲۰۱۳). به‌طورکلی، زمانی که آلاینده‌ها بیش‌ازحد مجاز وارد محیط خاک می‌شوند، باعث آلودگی خاک شده و به آسانی به اطراف و سایر بخش‌های محیط پراکنده می‌شوند. با توجه به این‌که منابع معدنی خصوصاً کانسارهای فلزی حاوی مقادیر قابل‌توجه عناصر سنگین و مقادیر بالقوه سمی هستند، تماس آب‌های سطحی و زیرزمینی با سنگ میزبان و توده‌ها و رگه‌های معدنی و هوادیدگی سنگ‌ها در کانسارها باعث آزادسازی عناصر مختلف شده و مقدار زیادی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی را در رسوبات پایین‌دست و خاک‌های مجاور برجای می‌گذارد (Barkett and Akun, 2018). به همین جهت در بسیاری از کشورها، تأثیرات زیست‌محیطی عملیات معدنکاری مورد بررسی قرار گرفته است.

فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی از جمله عناصر پایدار در خاک بوده و از آن‌جایی که توسط موجودات خاک تجزیه نمی‌شوند، از خاک به گیاه، محصولات کشاورزی و در نتیجه فرآورده‌های دامی منتقل شده و وارد چرخه غذایی انسان می‌گردند. شماری از فلزات سنگین مانند آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، کروم (Cr) و جیوه (Hg) بسیار سمی بوده و باعث آسیب جدی به سلامت انسان می‌شوند (Hooda, 2010). مطالعات گسترده‌ای در رابطه با ورود فلزات سنگین به خاک در مناطق معدنکاری کانسارهای فلزی انجام شده است. برای نمونه، در مطالعه‌ای که جهت ارزیابی بار آلودگی خاک و رسوبات متأثر شده از معدن سرب در جمهوری کره صورت گرفت، مشخص شد که فلزات سنگین As، Cd، Pb در خاک‌های سطحی

* ایمیل نویسنده مسئول: shahanaghireza@gmail.com

اطراف محدوده معدنی دارای غلظت بالایی هستند (Lee, 2003). در معادن قدیمی، به علت استفاده از روش‌های ساده و ناکارآمد، مواد باطله تولیدی دارای غلظت فلزی بالایی بوده که با قرارگیری در معرض عوامل جوی شرایط رهاسازی فلزات به محیط خاک و آب فراهم می‌شود (Ruiz و همکاران ۲۰۱۰). در مطالعه‌ای که جهت ارزیابی خاک کشاورزی و باطله کانسارها در معدن متروکه روی در منطقه شمال یونان انجام شد، نمونه‌های باطله غلظت بسیار بالایی از عناصر روی (Zn)، نیکل (Ni) و مس (Cu) را نشان دادند. نمونه خاک‌های نزدیک به محدوده معدن نیز دارای غلظت فلزات سنگین بالایی بودند که نشان‌دهنده وابستگی آلودگی خاک به فعالیت‌های معدنکاری است (Nikolaidis و همکاران ۲۰۱۰). در مطالعه‌ای که بر روی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معدن فعال سرب–روی و مس در ترکیه انجام شد، مشخص گردید که اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی و ورود آن‌ها به منابع آبی، باعث تولید آب‌های اسیدی با مقادیر بالای سولفات (SO_4^{2-}) می‌شوند. آب‌های اسیدی منجر به انحلال فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی آهن (Fe)، منگنز (Mn)، Pb و Zn و ورود آن‌ها به آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند (Keskin and Toptas, 2012).

با توجه به تحقیقات زیست‌محیطی موجود در ارتباط با ارزیابی میزان آلودگی خاک‌های اطراف معدن شیندستان واقع در اطراف استان زنجان، در این پژوهش به بررسی آلودگی خاک منطقه به فلزات سنگین (As، Cd، Cr، Cu، Ni، Pb و Zn) با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی شامل ضریب زمین انباشت (I_{geo}) و همچنین بررسی منشأ توزیع فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی پرداخته شد.

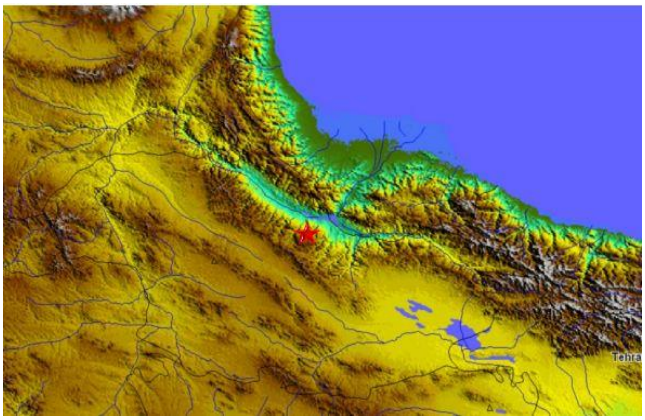
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه اطراف معدن شیندستان، در بخشی از رشته‌کوه‌های طارم قرار می‌گیرید. محدوده مورد نظر بین مختصات جغرافیایی ۵۸ ۱۸ ۴۸ ° طول شرقی و ۳۲ ۴۵ ۳۶ ° عرض شمالی واقع شده است. نمونه‌برداری از خاک‌های اطراف معدن در مردادماه سال ۱۳۸۶ صورت گرفت. به‌طوری‌که ۱۰ نمونه خاک از عمق سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) به روش نمونه‌برداری تصادفی از اطراف معدن جمع‌آوری گردید و به آزمایشگاه انتقال داده شد. غلظت کل فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی) به روش استاندارد (Sposito, 1982) تعیین گردید. در این روش ۲ گرم خاک به همراه ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال به مدت ۱۲ ساعت در حمام بخار در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد هضم شد و پس از صاف کردن عصاره‌ها، غلظت فلزات سنگین به کمک پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین خطر آلودگی به فلزات سنگین مختلف در منطقه از شاخص ژئوشیمیایی زمین انباشت (Geoaccumulation Index) استفاده گردید که از رابطه زیر محاسبه شد (Muller, 1969);

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1.5 \times B_n$$

در این رابطه، C_n غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه خاک یا رسوب (میلی‌گرم در کیلوگرم)، B_n غلظت عنصر مورد مطالعه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقدار زمینه (متوسط شیل جهانی) و ضریب ۱/۵ به‌عنوان ضریب تصحیح اثرات احتمالی ناشی از لیتولوژی‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود. مولر بر اساس این شاخص خاک‌ها را از نظر درجه آلودگی به ۷ گروه طبقه‌بندی نمود (جدول ۲). به‌منظور درک بهتر روابط بین فلزات سنگین مختلف در منطقه مطالعه شده، آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار MINITAB. 16.0 انجام گرفت.



شکل ۱. تصویر TEM منطقه مطالعه شده

نتایج و بحث

نتایج مربوط به اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین مختلف در جدول (۲) ارائه گردیده است. از مقایسه نتایج به دست آمده با میزان مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک بر اساس استاندارد کیفیت منابع خاک ایران می‌توان دریافت که در تمامی نمونه خاک‌های مطالعه شده غلظت عناصری همچون As، Cd، Cr، Cu و Zn بیش‌ازحد مجاز تعیین شده و غلظت Ni و Pb کمتر از میزان مجاز است. این موضوع نشان‌دهنده آلودگی خاک‌های مطالعه شده به As، Cd، Cr، Cu و Zn می‌باشد که به‌طور میانگین به ترتیب ۲/۳، ۶/۹، ۲۰، ۵/۴ و ۵/۶ برابر بیش‌ازحد مجاز در خاک می‌باشند.

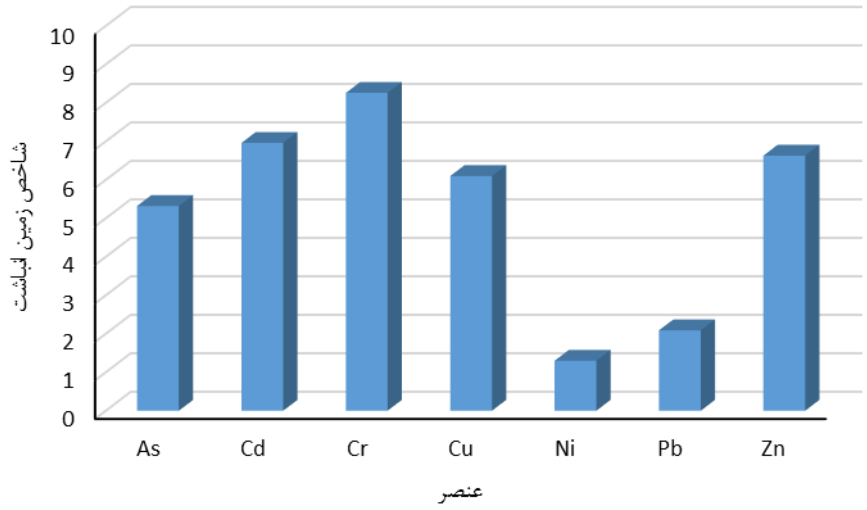
جدول ۱. غلظت کل فلزات سنگین در خاک‌های مورد مطالعه

نمونه خاک	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
۱	۶۳/۵	۲۶/۹	۱۱	۳۹۹	۲۲	۲۳۵	۱۰۷۰
۲	۵۶/۷	۴۱/۷	۱۴	۳۵۲	۱۱	۲۰۴	۱۳۱۰
۳	۲۲/۵	۲۶/۷	۲۵	۴۸۱	۱۳	۱۹۳	۶۶۸
۴	۳۱/۹	۳۰/۲	۱۷	۳۵۹	۱۴	۱۴۸	۱۲۹۰
۵	۴۷/۶	۴۴/۴	۲۷	۱۵۴	۱۳	۱۹۸	۱۴۲۰
۶	۳۴/۲	۲۲/۷	۳۴	۱۹۹	۱۱	۲۶۳	۸۴۵
۷	۳۳/۶	۲۹/۲	۲۹	۸۲۶	۱۰	۱۰۷	۱۱۲۳
۸	۴۶/۶	۱۶/۴	۴۴	۱۲۵	۹	۲۰۷	۱۲۵۰
۹	۵۳/۶	۳۲/۶	۴۳	۳۱۲	۱۵	۲۰۹	۹۴۸
۱۰	۲۱/۲	۱۶/۸	۳۹	۲۲۴	۲۸	۲۹۳	۱۳۲۰
میانگین	۴۰/۱	۲۷/۱	۲۸/۳	۳۴۳/۱	۱۴/۶	۲۲۹/۷	۱۱۲۴/۴
غلظت مجاز در خاک (استاندارد کیفیت منابع خاک ایران)	۱۷	۳/۹	۱/۴	۶۳	۵۰	۳۰۰	۲۰۰

بر اساس نتایج به دست آمده از شاخص زمین انباشت فلزات سنگین مختلف، به ترتیب فلزات سنگین Cr، Cd، Zn، Cu و As با ضرایب انباشتگی ۸/۲، ۶/۹، ۶/۶، ۶/۱ و ۵/۳ بیشترین میزان انباشتگی در نمونه خاک‌های مطالعه شده را نشان دادند و بر اساس طبقه‌بندی مولر، خاک‌های مطالعه شده به فلزات سنگین ذکر شده شدیداً آلوده هستند. درحالی‌که فلزات Ni و Pb به ترتیب با ضرایب انباشتگی ۱/۳ و ۲/۰ کمترین میزان انباشتگی در خاک‌های مطالعه شده را نشان دادند. نمونه خاک‌های مطالعه شده نسبت به فلز نیکل و سرب در گروه خاک‌های کمی آلوده طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۲- طبقه‌بندی میزان شاخص زمین انباشت (I_{geo}) در بیان درجه آلودگی خاک (Muller, 1969)

درجه آلودگی خاک	I_{geo}
غیر آلوده	۰ >
غیر آلوده تا کمی آلوده	۰-۱
کمی آلوده	۱-۲
کمی آلوده تا خیلی آلوده	۲-۳
خیلی آلوده	۳-۴
خیلی آلوده تا شدید آلوده	۴-۵
شدید آلوده	۵ >

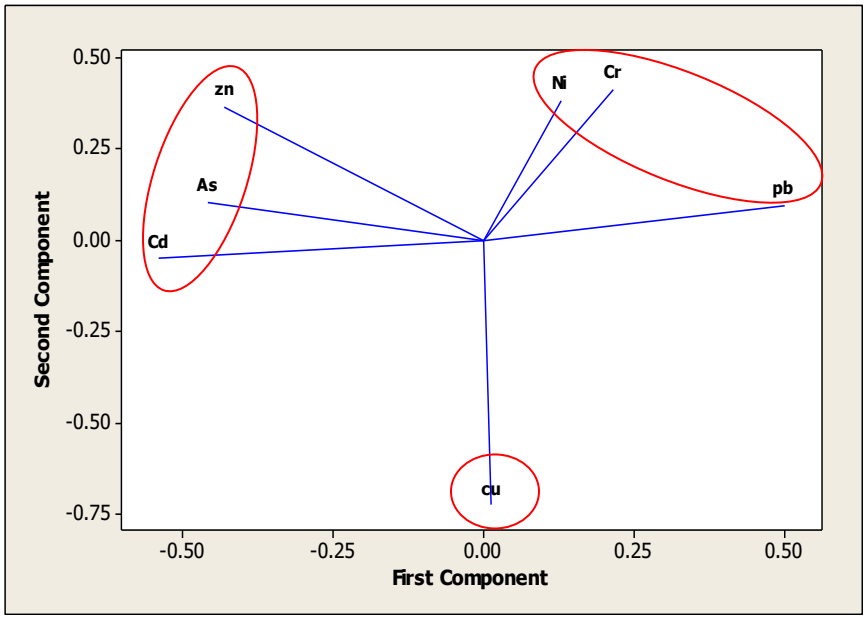


شکل ۲- میانگین ضرایب زمین انباشت فلزات سنگین در نمونه خاک‌های مطالعه شده

در جدول ۳ نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی ارائه شده است. شکل ۳ نیز نمودار سه‌بعدی مؤلفه‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. در مؤلفه اول فلزات As، Cd و Zn و در مؤلفه دوم فلزات Cr، Ni و Pb و در مؤلفه سوم فلز Cu به‌صورت مجزا قرار گرفته است. بر اساس این نتایج می‌توان چنین استنباط کرد که آرسنیک، کادمیوم و روی منشأ یکسانی در خاک‌های مطالعه شده دارند. قرارگیری نیکل، کروم و سرب در یک مؤلفه به دلیل منشأ مشترک زمین‌زاد و رفتار ژئوشیمیایی مشابه آن‌هاست. قرارگیری فلز مس در یک مؤلفه جدا می‌تواند به غلظت بالای آن و در نتیجه تغییرپذیری زیاد آن در نمونه خاک‌های مورد مطالعه مربوط باشد.

جدول ۳- نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی

	مؤلفه		
	۱	۲	۳
As	**۰/۸۵۳**	-۰/۰۹۹	۰/۱۶۳
Cd	**۰/۸۰۳**	-۰/۰۸۶	-۰/۱۲۵
Cr	-۰/۰۹۷	**۰/۷۹۴**	۰/۱۱۹
Cu	۰/۰۲۳	-۰/۰۶۵	**۰/۷۰۲**
Ni	-۰/۰۱۲	**۰/۸۰۲**	-۰/۰۱۶
Pb	۰/۰۲۹	**۰/۷۰۲**	۰/۱۲۱
Zn	**۰/۹۰۶**	۰/۰۱۶	-۰/۱۶۵



شکل ۳- نمودار سه‌بعدی تحلیل مؤلفه‌های استخراج شده

نتیجه‌گیری

در این پژوهش وضعیت آلودگی شماری از خاک‌های اطراف معدن شیندستان زنجان با استفاده از برخی شاخص‌های ژئوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که در نمونه خاک‌های مطالعه شده از نظر آلودگی زیست‌محیطی، به ترتیب فلزات Cr، Cd و Zn به‌عنوان آلاینده‌ترین فلزات سنگین شناخته شده، درحالی‌که فلز Ni با غلظتی کمتر از حد مجاز در خاک، کمترین میزان آلودگی را نشان داد. نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص ژئوشیمیایی زمین انباشت مولر نیز نمونه خاک‌های مطالعه شده را در گروه خاک‌های شدیداً آلوده به فلزات سنگین ذکر شده نشان داد، احتمال می‌رود که فلزات روی و کادمیوم منشأ آلودگی یکسانی در خاک‌های مطالعه شده داشته باشند. بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه مشخص می‌شود که فعالیت‌های معدنکاری بر میزان فلزات سنگین خاک‌های اطراف تأثیرگذار است که می‌بایست در ارزیابی‌های زیست‌محیطی آتی مدنظر قرار گیرد.

منابع

Barkett, M. O., Akun, E. 2018. Heavy metal contents of contaminated soils and ecological risk assessment in abandoned copper mine harbor in Yedidalga, Northern Cyprus. Environmental Earth Sciences, 77, 378-389.

Hooda, P. S., 2010- Trace elements in soil, Blackwell Publishing Ltd, London, 618 pp.

Keskin, T., Toptaş, E. 2012. Heavy metal pollution in the surrounding ore deposits and mining activity: a case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey). Environmental Earth Science 67, 859-866.

Lee, Ch.2003. Assessment of contamination load on water, soil, and sediment affected by the Kongjujeil mine drainage, Republic Korea. Environmental Geology, 44, 501-515.

Mirnejad, H., Mathur, R., Hassenzadeh, J., Shafaie, B., Nourali. S. 2013. Linking Cu mineralization to host porphyry emplacement: Re-Os ages of molybdenites versus u-Pb ages of zircons and sulfur isotope compositions of pyrite and chalcopyrite from the Iju and Sarkuh porphyry deposits in southeast Iran. Economic Geology, 108, 861-870.

Muller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo journal. 2:108-118.

Nikolaidis, Ch., Zafiriadis, I., Mathioudakis, V., Constantinidis, Th. 2010. Heavy metal pollution associated with an abandoned Lead-Zinc mine in the Kirki Region, NE Greece. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 85, 307-312.

Ruiz, E., Azcarate, J. A., Rodriguez, L. Rincon, J. 2009. Assessment of metal availability in soil from a Pb- Zn Mine site of south-Central Spain. Soil and Sediment Contamination, 18, 619-641.

Sposito, G. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46, 260-264.

Vural, A. 2015. Contamination assessment of heavy metals associated with an alteration area: Demirören Gumushane, NE Turkey. Journal Geological Society of India, 86,215-222.

Zhen, H. A. O., Dong-Mei, Z. H. O., Dan-Dan, L. I., and Jiang, P. 2012. Growth, cadmium and zinc accumulation of ornamental sunflower (*Helianthus annuus* L.) in contaminated soil with different amendments. Pedosphere, 22, 631-639.

Topic for submission: Ecosystem Pollution, Human Health, and Bioremediation

Assessment of soil heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) pollution around Shindestan mine, Zanjan province

Shahanaghi*[1], Gh. Ahmadi[2], F.

[1] M. Sc. Student, Economic Geology Department, Faculty of Geology University of Urmia, Iran
[2] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Urmia, Iran

Abstract

Soil, as one of the important elements of the lithosphere and a part of the ecosystem, plays a crucial role in the life cycle. The goal of the present research was to assess the influence of mineralization on soil pollution and distribution of heavy metals around Shindestan mine, Zanjan province. In this regard, 10 soil samples, 0-20 cm depth, were taken according to a random sampling method. The ICP-MS techniques were employed to determine the concentration of heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn) in soil samples after digestion with HNO_3 (4 N). The results show that the mean concentration of the heavy metals namely Zn, Cu, Pb, As, Cr, Cd, and Ni are 1124.4, 343.1, 229.7, 40.1, 28.3, 27.1, and 14.6 respectively (all in mg kg^{-1}), which all are higher than the Iranian soil quality standard except for the Ni and Pb. In terms of Geoaccumulation Index, the soil samples of the mine area show extremely level of pollution based on all heavy metals except Ni and Pb. According to the multiple component analysis, the origin of the As, Cd, and Zn heavy metals is common, as well as, Ni, Cr, Pb have the same origin due to the same geochemical behavior and Cu is in a separate category. Based on our results, mining activities might enhance the soil metal pollution and make metals more available in soil and plant that is should be considered in future assessments.

Keywords: Chemical pollutants, Geoaccumulation index, Principle component analysis

* Corresponding author, Email: shahanaghireza@gmail.com