

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

صفحات: ۱۶۶ - ۱۴۷

ارزیابی زیست محیطی خاک‌های آلوده در معدن دوست بیگلو (شمال مشگین شهر)

رضا طلایی^{۱*}، حمیدرضا پیروان^۲، فرزانه عظیمی مطعم^۳

چکیده

آلودگی منابع خاک به عناصر سمی و سرطان‌زا یکی از مشکلات اصلی محیط زیست می‌باشد. منشاءهای غیر متمرکز یکی از مهمترین منابع آلوده‌کننده هستند که در آن‌ها عناصر مختلف در اثر هوازدگی سنگ‌ها در محیط پراکنده می‌شوند. مناطق معدنی از منابع غیر متمرکز آلودگی هستند که در آن‌ها آزاد سازی، تمرکز و تخلیه برخی از عناصر باعث ایجاد آلودگی در منابع خاک شده و در نهایت چرخه زیستی را نیز آلوده می‌سازند. در این مقاله میزان بار آلودگی عناصر سمی در ۲۳۶ نمونه خاک جمع‌آوری شده در اطراف منطقه معدنی دوست بیگلو در شمال مشگین شهر مورد بررسی قرار گرفته است. شدت آلودگی خاک‌ها براساس شاخص آلودگی و فاکتور غنی‌سازی محاسبه شد. گروه‌بندی خاک‌ها به روش تحلیل عاملی و خوشه‌بندی صورت گرفت. عناصر مضر به دست آمده از تجزیه خاک‌های منطقه نسبت به مقادیر استاندارد و رهنمودهای بین‌المللی از غلظت بالایی برخوردارند. غلظت عناصر آرسنیک، مولیبدن، آنتیموان، روی، مس و قلع در خاک‌های منطقه بسیار بالا است (۳-۳۴۳۰، ۵-۱۶۰، ۲۱-۶/۹۷، ۷-۳/۱۸، ۱۰-۷۴۸ و ۵-۱۱/۴ mg/kg). در برخی از نمونه‌های خاک منطقه، غلظت کروم، منگنز و کبالت نیز نگران‌کننده است (۳-۲۶۷، ۲۷-۴۱۲ و ۵-۲۱ mg/kg). بر مبنای شاخص آلودگی پیشنهادی، ۱۹/۴ تا ۶۶/۷ درصد از نمونه‌های خاک مناطق کانی‌سازی و دگرسان شده دوست بیگلو آلوده به عناصر فلزی سمی هستند. تغییرات غلظت عناصر در خاک‌های منطقه زیاد است و در توزیع این عناصر هم عوامل شیمیایی (pH، درصد کربن آلی، غلظت آهن+ منگنز، آلومینیوم و گوگرد خاک) و هم فیزیکی (اندازه ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرومتر) تاثیر زیادی دارند. براین اساس باید استفاده از روش‌های پاکسازی و کنترل آلودگی در منطقه مورد تاکید قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آلودگی، خاک، سمی، سرطان‌زا، عناصر، محیط زیست و دگرسانی.

۱- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، مغان (نویسنده مسئول)
r.talaei@areeo.ac.ir
hrpeyrowan@yahoo.com
۲- دانشیار، پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۳- کارشناس ارشد، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، مغان
f.azimi@areeo.ac.ir

مقدمه

یکی از مهمترین منابع آلوده‌کننده خاک، برخی از عناصر فلزی و سمی از منشأ غیر متمرکز طبیعی است که از سنگ‌ها و تخریب آن‌ها سرچشمه می‌گیرد (دونالد^۱، ۱۹۹۵، مارگ^۲، ۲۰۱۱، تروتا^۳ و همکاران^۴، ۲۰۱۳). مقادیر عناصر در خاک‌ها به نوع مواد اولیه سنگی و فرآیندهای ثانویه مؤثر بر آن‌ها بستگی دارد (دوتمرمن^۴ و همکاران^۵، ۱۹۸۴، کلاسن^۵، ۱۹۹۸). کانی‌سازی و دگرسانی از فرآیندهای طبیعی هستند که تغییرات ترکیبی و کانی‌شناسی مهمی در سنگ‌های اولیه بوجود می‌آورند و باعث آزاد سازی، تمرکز و یا تخلیه برخی از عناصر فلزی و غیر فلزی سمی، سنگین و مضر برای گیاهان، جانوران و انسان‌ها در محیط می‌شوند (تاجام و کمال^۶، ۲۰۱۳، عبدالله^۷ و همکاران^۸، ۲۰۱۵). در چنین مناطقی احتمال گسترش و پراکنده شدن این عناصر در منابع خاک و ایجاد آلودگی‌های طبیعی وجود داشته و علاوه بر آلوده کردن آب، به چرخه غذایی دام و انسان نیز وارد می‌شوند و می‌توانند در ایجاد برخی از بیماری‌ها دخالت نمایند (میلر^۸ و همکاران^۹، ۲۰۰۴، لیم^۹ و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۸). منطقه دوست بیگلو در شمال مشگین شهر و در پهنه قره‌داغ- طارم، در شمال غرب ایران، به عنوان یک پهنه فلززایی که دارای مناطق کانی‌سازی شده و دگرسانی- های وسیع می‌باشد، واقع شده است. بررسی امکان آلودگی خاک‌ها در این گونه مناطق از دیدگاه زیست محیطی و محدودیت‌های بوجود آمده ضروری می‌باشد، چرا که فلزات سنگین و سمی آزاد شده غالباً در لایه‌های بالائی خاک تجمع می‌یابند (کولین^{۱۰}، ۱۹۹۵، گوپتا و سیناه^{۱۱}، ۲۰۰۶). این عناصر در نهایت از طریق گیاهان و یا آب وارد چرخه زیستی می‌شوند (وانگت^{۱۲} و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۸، پرلاتی^{۱۳} و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۵، رودریگوئز^{۱۴} و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۵). مطالعات قبلی انجام گرفته در منطقه به طور کلی جنبه اکتشافات معدنی داشته (سازمان صنایع و معادن استان اردبیل، ۱۳۷۴ و ۱۳۸۱) و مسائل محیط زیست منطقه هنوز بصورت یک چالش اساسی باقی مانده است. ویژگی‌های محدود کننده عناصر سمی و مضر باعث شده تا محققین زیادی در تمام نقاط دنیا منشاء، رفتار، جابجایی و تاثیر این عناصر بر محیط زیست را مورد مطالعه قرار دهند (ساکان^{۱۵} و همکاران^{۱۶}، ۲۰۰۷، نقیوا^{۱۶} و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۳، دالدول^{۱۷} و همکاران^{۱۸}، ۲۰۱۵). خاک مناطق معدنی شمال شرق ایتالیا بعلت غلظت بالای عناصر فلزی خصوصاً مس، سرب، روی و آهن،

-
- 1-Donald
 - 2- Marg
 - 3- Truta
 - 4- De Temmerman
 - 5- Klassen
 - 6- Tajam and Kamal
 - 7- Abdullah
 - 8- Miller
 - 9- Lim
 - 10- Colin
 - 11- Gupta and Sinha
 - 12- Wanget
 - 13- Perlatti
 - 14- Rodríguez
 - 15- Sakan
 - 16- Nagyová
 - 17- Daldoul

آلوده ارزیابی شده است (واهشا^۱ و همکاران ۲۰۱۲). بررسی خاک مناطق اطراف معدن سرب و روی بولسلاف^۲ در لهستان نشان داده که با افزایش غلظت عناصر سرب، روی و کادمیم قابل جذب، بر میزان سمیت آن نیز افزوده می‌شود (آگنیشکا^۳ و همکاران ۲۰۱۴). خاک‌های محدوده معدن کرومیت باغ‌جر سبزوار آلوده به عناصر کروم و نیکل است (سولگی^۴ و پارما ۲۰۱۵). غلظت عناصری همچون مس، کبالت، آرسنیک، روی، سرب و کادمیم در خاک در کمربند مس‌زایی کاتانگا^۵ در کشور کنگو نسبت به مناطق بدون کانی‌سازی بسیار بالا است (پورت^۶ و همکاران ۲۰۱۶).

با تعیین مقادیر غلظت فلزات به صورت زمینه در خاک‌های مناطق معدنی شمال غرب شهرستان مشگین شهر می‌توان مقادیر آلوده کننده این عناصر را تعیین کرد (فرگوسن^۷ ۱۹۸۵، لیکوکو^۸ و همکاران ۲۰۱۳). با مقایسه مقادیر غلظت عناصر موجود در خاک با استانداردهای تعریف شده می‌توان خاک‌های منطقه را از دیدگاه میزان و شدت آلودگی مورد ارزیابی قرار داد. چون غلظت فلزات در خاک‌ها دارای تغییرات زیادی است لذا جهت تعیین مناطق آلوده استفاده از زمینه‌های محلی عناصر توصیه شده است تا از حذف مقادیر بالای ناهنجاری‌ها جلوگیری گردد (بایرایز و استرکیمن^۹ ۲۰۰۱، هورکمنز^{۱۰} ۲۰۰۵).

داده‌ها و روش‌ها

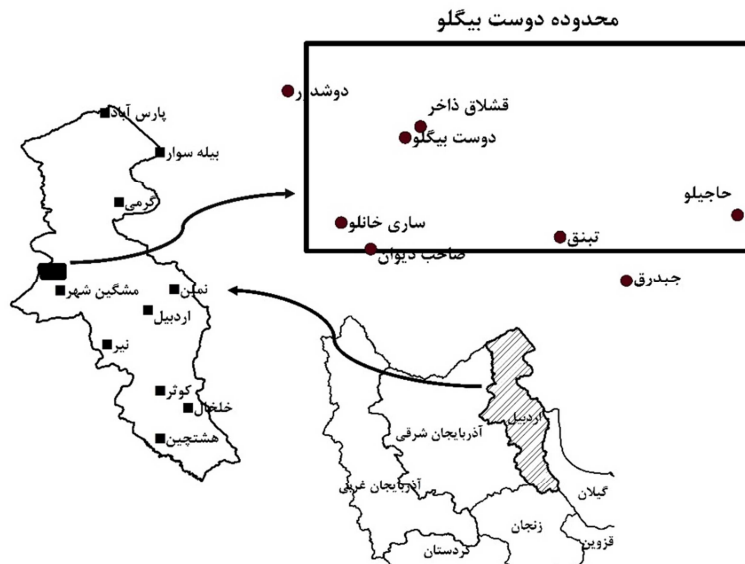
موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

محدوده دوست بیگلو در ۲۷ کیلومتری شمال غرب شهرستان مشگین‌شهر، بین طول‌های جغرافیایی ۳۲° ۳۲' ۱۲" تا ۳۵° ۳۵' ۹" و عرض‌های جغرافیایی ۳۸° ۳۲' ۴۶" تا ۳۸° ۳۴' ۲۵" واقع گردیده است (شکل ۱). این محدوده دارای آب و هوای سرد در زمستان و معتدل در تابستان است. سطح وسیعی از این منطقه دارای ۴ تا ۵ ماه فصل خشک است و علاوه بر آن ۲ تا ۳ ماه نیز فصل یخبندان بر منطقه حکمفرما است. متوسط میزان بارندگی منطقه بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است (همتی و همکاران، ۱۳۸۶). نمایی کلی منطقه کانی‌سازی و دگرسان شده دوست بیگلو در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

روش تحقیق

-
- 1- Wahsha
 - 2- Boleslaw
 - 3- Agnieszka
 - 4- Solgi and Parmah
 - 5- Katanga
 - 6- Pourret
 - 7- Fergusson
 - 8- Likuku
 - 9- Barize and Sterckeman
 - 10- Horckmans

این پژوهش در فاصله سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ در چهار مرحله انجام گرفت: تهیه نقشه‌های پایه: بعد از جمع‌آوری و بررسی منابع موجود، محدوده‌های کانی‌سازی و دگرسان شده در شمال مشگین شهر (استان اردبیل) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ به همراه اطلاعات زمین‌شناسی تهیه گردید.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲: سیمای عمومی منطقه دوست بیگلو (سمت راست) و پهنه دگرسان شده (سمت چپ)

نمونه برداری: براساس هدف این پژوهش، در بررسی‌های صحرایی اقدام به نمونه برداری در نقاط مختلف منطقه شد. از خاک‌های اراضی زراعی، باغی، مرتعی و خاک‌های فاقد پوشش گیاهی و یا با پوشش گیاهی بسیار کم در دو پهنه‌ی کانی‌سازی و دگرسانی شده و مناطق بدون آن‌ها نمونه برداری انجام گرفت. نمونه برداری براساس معیارهای فوق‌الذکر باعث پراکنده شدن نقاط گردیده است. حدود ۵۰ نمونه خاک دست خورده به صورت اتفاقی از ترکیب‌های سنگی و پهنه‌های دگرسانی مختلف با در نظر گرفتن نوع و تراکم پوشش گیاهی برداشته شد. نمونه خاک از افق‌های

سطحی خاک یعنی محل نفوذ ریشه (افق A و B) برداشته شدند. در ۱۰ نقطه از مناطق نمونه‌برداری فوق علاوه بر نمونه‌های افق سطحی، جهت بررسی تغییرات عمقی عناصر، نمونه‌های خاک از عمق‌های ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر و بیش از ۴۰ سانتی متر نیز تهیه گردید. علاوه بر نتایج شیمیائی ۵۰ نمونه انتخابی فوق، از نتایج تجزیه شیمیائی ۱۸۶ نمونه خاک از افق A و B خاک (با ضخامت متوسط ۴۰ سانتی‌متر)، که در محدوده‌ای به مساحت تقریبی ۷ کیلومتر مربع و بطور سیستماتیک برداشته شده بود، نیز بهره گرفته شده است (سازمان صنایع و معادن استان اردبیل، ۱۳۸۱) (شکل ۳).

آماده سازی و تجزیه نمونه‌ها: بعد از برداشت نمونه‌های خاک به وزن تقریبی یک کیلوگرم، ۵۰۰ گرم جهت تجزیه شیمیائی به آزمایشگاه منتقل شد. غلظت بیشتر عناصر سمی و سرطان‌زا تعیین شد و مورد تحلیل قرار گرفت. عناصر به روش IC3M و IC3E تجزیه شدند. این روش‌ها در مجموعه ICP-MS و ICP-OES قرار دارند. غلظت عناصر فوق در خاک‌های منطقه با دقت میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شدند. اثرات زیست محیطی این عناصر براساس نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت.

از مهمترین سازوکارهای تجمع عناصر در خاک‌ها، جذب آنها توسط ذرات ریز، مواد آلی، اکسیدهای آلومینیم، آهن و منگنز و سولفیدها است (باتاچاریا^۱ و همکاران ۲۰۰۶). براین اساس در نمونه‌های خاک منطقه درصد ذرات کوچکتر از $63 \mu\text{m}$ نیز با استفاده از الک شماره ۲۰۰ از سایر ذرات تفکیک گردید. نسبت سطح به وزن در ذرات ریز بسیار بزرگتر است و به دلیل سطح تماس بسیار بالا می‌توانند یون‌های فلزی زیادی را جذب نمایند. علاوه براین، کانی‌های رسی مانند کائولینیت، ایلیت و آلونیت در خاک‌های منطقه وجود دارند (طلایی و همکاران، ۱۳۹۱) که اکثراً اندازه ذرات آن‌ها ریز می‌باشد. این کانی‌ها به دلیل داشتن حجم بالایی از خلل و فرج، سطح ویژه بالا و تمایل زیاد در جذب سطحی توانایی نگهداری و جذب عناصر آلاینده را دارند (اودین^۲ ۲۰۱۷). همچنین میزان درصد کربن آلی کل با استفاده از روش اکسیداسیون تر تعیین شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲). جهت ارزیابی امکان تمرکز فلزات در خاک، غلظت آلومینیم نیز در نمونه‌های خاک تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل نتایج: در این مرحله از مطالعه، برای تفکیک دگرسانی‌ها از نتایج بررسی‌های سنگ شناسی، کانی شناسی، XRD و ICP استفاده شد. نتیجه بررسی‌ها در قالب یک نقشه ترکیب سنگی و نوع و گسترش پهنه‌های دگرسانی نشان داده شده است. تغییرات غلظت عناصر فلزی در نمونه‌های خاک نقاط مختلف منطقه براساس استانداردها و مقادیر رهنمود موجود مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور غلظت عناصر مورد بررسی با مقادیر استاندارد مقایسه شد و درجه غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عنصر در خاک مشخص گردید. جهت نرمال سازی، مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل غلظت عناصر مختلف بر مقادیر استاندارد و رهنمود پیشنهادی تقسیم شد و نمودارهای با محور Y لگاریتمی ترسیم گردید. براساس موقعیت هر عنصر نسبت به خط افقی مرجع (با مقدار محور عمودی ۱) در

1- Bhattacharya
2- Uddin

نمودار دو محوری، میزان و درجه انحراف غلظت آن عنصر از مقادیر استاندارد تعیین گردید. جهت تعیین شدت آلودگی خاک و همچنین مشخص کردن پتانسیل آلودگی چند عنصری، شاخص‌های آلودگی محاسبه شدند (باتاچاریا و همکاران ۲۰۰۶). درجه و شدت آلودگی خاک‌های منطقه براساس فاکتور غنی‌سازی^۱، شاخص آلودگی^۲ و شاخص آلودگی پیشنهاد شده محاسبه شد. در این پژوهش علاوه بر رابطه پیشنهادی یونگ^۳ (۲۰۰۱) جهت تعیین شاخص آلودگی (PI) (رابطه ۱)، از روش پیشنهادی در این پژوهش نیز استفاده (رابطه ۲) استفاده شد.

$$PI = \frac{\frac{As}{20} + \frac{Cu}{100} + \frac{Zn}{300}}{3} \quad (1)$$

مقادیر قابل تحمل عناصر روی، مس و آرسنیک توسط کاباتا-پندیاس و پندیاس^۴ (۲۰۰۱) پیشنهاد شده است. شاخص پیشنهادی در این پژوهش (PI_p) براساس تمرکز عناصر فلزی مهم در منطقه (Cr, Cd, Pb, Zn, As, Cu), Co, Ni, Sb, Tl محاسبه شده است (رابطه ۲). دلیل انتخاب این عناصر، تمرکز بالا در خاک‌های منطقه و تاثیرات سوء زیست محیطی آنها است. براین اساس اگر مقدار شاخص چند عنصری بزرگتر از ۱ باشد نشان دهنده آلودگی است.

$$PI_p = \frac{\frac{As}{20} + \frac{Cu}{100} + \frac{Zn}{300} + \frac{Pb}{100} + \frac{Cd}{3} + \frac{Cr}{75} + \frac{Co}{25} + \frac{Ni}{100} + \frac{Sb}{5} + \frac{Tl}{1}}{10} \quad (2)$$

جهت محاسبه میزان آلودگی عناصر فلزی در سال‌های گذشته به طور گسترده از پارامتر دیگری با عنوان فاکتور غنی‌سازی نیز استفاده می‌شود (کولی و فونتولون^۵ ۱۹۹۷، لیکوکو و همکاران ۲۰۱۳، عبدالله و همکاران ۲۰۱۵). این فاکتور براساس نسبت غلظت یک عنصر به غلظت متوسط آن در پوسته زمین محاسبه می‌شود. ارزیابی‌های مبتنی بر مقادیر فاکتورهای غنی‌سازی نسبت به مقادیر حداکثر مجاز (کاباتا-پندیاس و پندیاس ۲۰۰۱) و یا مقادیر رهنمود (سورتجیس^۶ ۱۹۹۹) مناسب‌تر می‌باشد. در این شاخص به دلیل عدم تشکیل کانی‌های اتوژن^۷ توسط تیتانیوم، این عنصر جهت محاسبه شاخص غنی‌سازی انتخاب گردیده است (رابطه ۳).

$$EF_e = (X_e/Ti)_{Soil} / (X_e/Ti)_{Crust} \quad (3)$$

X_e : غلظت عنصر سمی و یا مضر در خاک؛ Ti: غلظت تیتانیوم در پوسته زمین برابر با ۳۱۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شده است (ودپوهل^۸ ۱۹۹۵)؛ و EF_e : فاکتور غنی‌سازی برای عنصر مورد نظر می‌باشد. نمونه‌های خاک منطقه براساس مقادیر شاخص غنی‌سازی به ۵ درجه بدون آلودگی و یا با آلودگی بسیار کم (کمتر از ۲)، متوسط (۲-۵)، زیاد (۵-۲۰)، بسیار زیاد (۲۰-۴۰) و با آلودگی بسیار شدید (بیشتر از ۴۰) تقسیم شدند (عبدالله و همکاران

1- Enrichment factors
2- PI: Pollution indices
3- Jung
4- Kabata-Pendias and Pendias
5- Covelli and Fontolan
6- Swartjes
7- Authigenic
8- Wedepohl

۲۰۱۵). در محاسبه این شاخص، مقادیر متوسط عناصر در پوسته زمین بشرح جدول (۱) در نظر گرفته شدند. جهت گروه‌بندی عناصر مورد مطالعه از روش آماری تجزیه عاملی^۱ استفاده شد. در گروه‌بندی خاک‌ها براساس عناصر آلوده کننده تحلیل خوشه‌ای^۲ بکار برده شده است.

جدول ۱: غلظت متوسط عناصر در پوسته زمین (میلی‌گرم در کیلوگرم)*

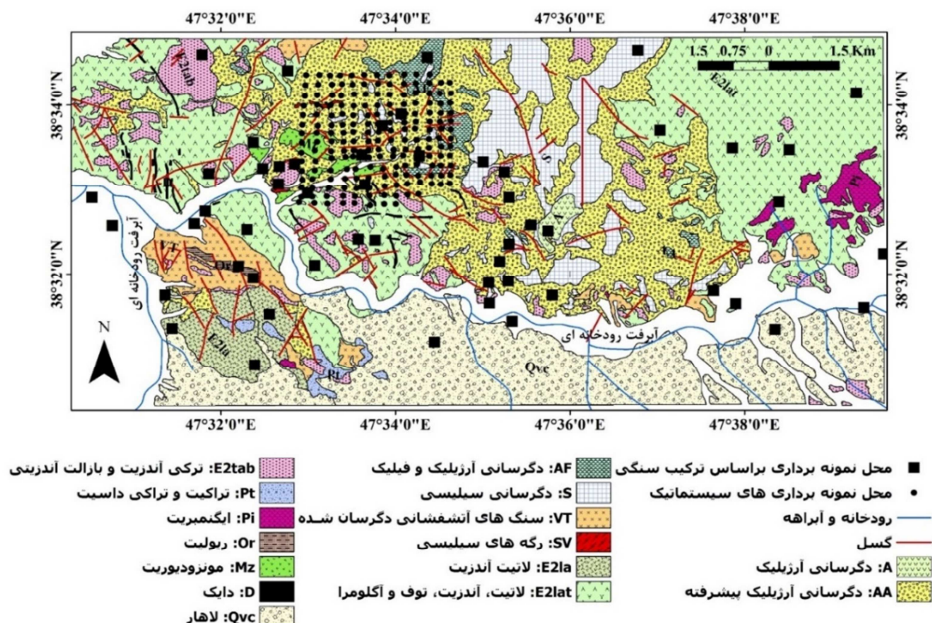
Sn	Tl	Sb	Cd	Zn	V	Pb	Ni	Cu	Co	As	Cr	عناصر
۲	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۵۲	۵۳	۱۷	۱۹	۱۴	۱۲	۲	۳۵	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)
* Ni, Co, Cr, V, Pb, Zn, As براساس ودپوهل ۱۹۹۵؛ Cd, Sn, Sb, Tl براساس کراسکف و دنیس ^۳ ۱۹۹۵												

یافته‌های تحقیق

ترکیبات سنگی و دگرسانی‌ها در منطقه

ترکیب اصلی سنگ‌های منطقه گدازه‌ها و توف‌های مربوط به دوره ائوسن هستند که متعاقباً فعالیت‌های گرمایی موجب تشکیل و گسترش پهنه‌های مختلف دگرسانی‌ها شده است (شکل ۳). در زمان کوتاه‌تری و بر اثر تأثیر عوامل مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌های با افق‌های A یا A و B تشکیل شده است. ضخامت خاک در پروفیل‌های مختلف متفاوت بوده و از ۱۵ سانتی‌متر تا بیش از ۶۰ سانتی‌متر تغییر می‌نمایند.

1- Factor analysis
2- Cluster analysis
3- Krauskopf and Dennis



شکل ۳: نقشه ترکیب سنگی، پهنه‌های دگرسانی و گسل‌های مهم منطقه به همراه موقعیت محل نمونه برداری از خاک‌ها

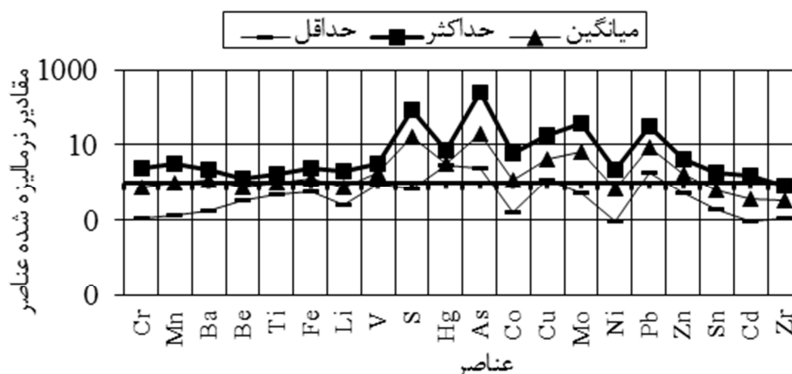
عناصر در خاک منطقه

در این پژوهش عناصر لیتیوم، باریم، بریلیم، گالیوم، آرسنیک، سلنیم، کادمیم، قلع، آنتیموان، جیوه، تالیوم و سرب مسمومیت‌زا، عناصر باریم، کروم، کبالت، نیکل، روی، سلنیم، کادمیم، زیرکونیوم سرطان‌زا، عناصر منگنز، آرسنیک، اسکاندیم، تیتانیوم، ایتریوم با خاصیت سرطان‌زایی احتمالی و عناصر آهن و مس با برخی گونه‌ها سرطان‌زا در نظر گرفته شده‌اند (فرگوسن ۱۹۸۵). علاوه بر عناصر فوق، غلظت برخی دیگر از عناصر نیز به دلایلی که مطرح می‌شود مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار گرفته است. سمیت وانادیم برای گیاهان بسته به گونه گیاه و شکل عنصر از ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم آغاز می‌شود (تانجی^۱ ۱۹۹۰)، همچنین ممکن است در غلظت‌های بیش از ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برای انسان و حیوانات سمی باشد (بیک^۲ و همکاران ۱۹۷۶). گوگرد در حالت معمولی جز عناصر بی‌خطر بوده ولی تجمع بیش از حد آن در گیاه سمی تلقی می‌شود. با مقادیر بالای گوگرد موجود در خاک‌های منطقه، احتمال تشکیل سولفات کافی در محلول خاک افزایش یافته و لذا تجمع گوگرد در گیاهان منطقه اتفاق می‌افتد (سالاردینی، ۱۳۹۱). مولیدن در غلظت‌های کم برای تغذیه حیوانات ضروری است، اما چنانچه میزان آن زیاد باشد، بسیار سمی است (غضبان، ۱۳۸۱). سمیت روی در غلظت‌های نسبتاً زیاد گزارش شده است (بیک و همکاران ۱۹۷۶). سمیت مزن در خصوص روی وجود دارد و جذب ۱-۲ گرم در انسان با سردرد، تهوع، دردهای شکم و

1- Tanji
2- Beek

اسپاسم دستگاه گوارشی همراه است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). منابع موجود در بسیاری موارد بر سمی بودن تنگستن تاکید دارند (گباروکو و ایگو^۱ ۲۰۰۷).

براساس نمودار شکل (۴)، غلظت عناصر آرسنیک، مولیبدن، سرب، روی، کبالت، مس، گوگرد، کروم و جیوه در خاک‌های منطقه به ترتیب به بیش از ۲۴۴، ۳۵، ۳۲، ۳/۵، ۶، ۱۸، ۸۰، ۲/۵ و ۷ برابر غلظت طبیعی آن نیز می‌رسد. با در نظر گرفتن مقادیر استاندارد باون^۲ (۱۹۷۹) و دونالد^۳ (۱۹۹۵)، غلظت عناصر آرسنیک، کبالت، مولیبدن، آنتیموان، سرب، قلع، تالیم، منگنز، سلنیم و گوگرد در خاک‌های منطقه به ترتیب بیش از ۱۷۰، ۶/۵، ۱۱۱، ۷۰، ۱۶، ۵/۵، ۱۰/۵، ۵ و ۱۱ برابر تغلیظ شدگی نشان می‌دهد (شکل ۵). براین اساس آلودگی خاک‌های منطقه معدنی دوست-بیگلو به عناصر سمی همچون آرسنیک، آنتیموان، مولیبدن، سرب، مس و گوگرد بسیار شدید می‌باشد. غلظت عناصری همچون کروم، منگنز، کبالت، قلع، تالیم، سلنیم، جیوه و روی نیز در برخی از نمونه‌های خاک منطقه در حد خاک‌های آلوده می‌باشد.



شکل ۴: تغییرات غلظت عناصر مهم در نمونه‌های خاک روی پهنه‌های کانی سازی و دگرسان شده که نسبت به مقادیر میانگین عناصر براساس وینوگرادف^۳ (یاگودین^۴ ۱۹۸۴) نرمالیزه شده‌اند.

در پهنه‌های آرزیلیکی عناصر آهن، گوگرد، جیوه، آرسنیک، کبالت، مس، مولیبدن، سرب، آنتیموان، تالیم و سلنیم به شدت تمرکز یافته‌اند و میانگین غلظت برخی دیگر از عناصر مانند کروم، بریلیم و قلع نیز از عیار عادی خود تجاوز می‌نماید. تغلیظ عنصر آرسنیک در خاک‌های دگرسانی آرزیلیکی پیشرفته نسبت به پهنه آرزیلیکی بسیار کمتر است.

1- Gbaruko and Igwe
2- Bowen
3- Vinogradov
4- Yagodin



شکل ۵: تغییرات غلظت عناصر مهم در نمونه‌های خاک روی پهنه‌های کانی سازی و دگرسان شده که نسبت به مقادیر میانگین عناصر (عناصر تنگستن، کادمیم و تالیم براساس باون (۱۹۷۹) و بقیه عناصر براساس دونالد (۱۹۹۵) نرمالیزه شده‌اند.

میزان عناصر آهن، گوگرد، آنتیموان، منگنز، سرب، تالیم و سلنیم نسبت به استانداردهای موجود به شدت تغلیظ یافته‌اند. تغلیظ شدید خاک‌های روی پهنه‌های سیلیسی به عناصر آهن، آرسنیک، مولیبدن، سرب، آنتیموان، قلع و سلنیم می‌باشد. در نمونه‌های خاک روی نهشته‌های آبرفتی کواترنر عناصر گوگرد، آرسنیک، کبالت، مس، مولیبدن و سرب به شدت تمرکز یافته‌اند و برخی دیگر از عناصر نظیر جیوه، نقره، نیکل، روی و قلع از مقادیر معمول بیشتر هستند. در خاک‌های روی سنگ‌های آذرین درونی عناصر گوگرد، آرسنیک، مس، مولیبدن و سرب و در خاک‌های روی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری عناصر آهن، گوگرد، آرسنیک، مولیبدن، سرب و سلنیم تمرکز یافته‌اند.

ارزیابی آلودگی خاک‌ها

براساس مقادیر شاخص آلودگی یونگ (۲۰۰۱)، ۱۸/۵ تا ۶۹/۲ درصد از نمونه‌ها با $PI > 1$ آلوده محسوب می‌شوند (کاباتا-پندیاس و پندیاس ۲۰۰۱، سورتجیس ۱۹۹۹، ابراهیم و پارکر^۱ ۲۰۰۸) (جدول ۲). بر مبنای شاخص آلودگی پیشنهادی نیز، تنها خاک روی سنگ‌های آذرین خروجی فاقد آلودگی بوده و ۱۹/۴ تا ۶۶/۷ درصد از بقیه نمونه‌های خاک آلوده هستند. براساس مقادیر این فاکتور نمونه‌های خاک منطقه بطور کامل آلوده به عناصری آرسنیک، مس، کبالت، تالیم، سرب و آنتیموان می‌باشند (جدول ۳).

1- Abraham and Parker

گروه بندی عناصر و خاک‌ها

با تعیین عناصر همنشین می‌توان میزان همبستگی آن‌ها را تعیین کرد، تشخیص گروه‌های مختلف عناصر که معمولاً با هم در خاک تجمع می‌نمایند جهت تعیین روش‌های پاکسازی خاک‌ها اهمیت زیادی دارد (حمزه^۱ و همکاران ۲۰۱۱).

جدول ۲: شاخص آلودگی عناصر فلزی در خاک‌های روی پهنه‌های مختلف دگرسان و سنگ‌های آذرین

شاخص آلودگی بر اساس عناصر مضر برای انسان (پیشنهادی)			شاخص آلودگی بر اساس یونگ (۲۰۰۱)			خاک
درصد آلوده	حداکثر	حداقل	درصد آلوده	حداکثر ثر	حداقل	
۱۹/۴	۳	۰/۱۸	۳۸/۹	۲/۶۷	۰/۳۴	روی پهنه دگرسان آرژیلیک پیشرفته
۴۲/۱	۱۷/۷۰	۰/۲۱	۶۴/۹	۵۷/۰۷	۰/۳۴	روی پهنه دگرسان آرژیلیک
۶۶/۷	۱۷/۳۸	۰/۵۱	۶۶/۷	۵۷/۳۷	۰/۵۸	پهنه سیلیسی
۳۷/۵	۱/۸	۰/۱۳	۵۶/۹	۳/۴۴	۰/۲۵	نهنه‌های کواترنری
۴۶/۲	۳/۱۳	۰/۶۷	۶۹/۲	۳/۰۱	۰/۸۲	سنگ‌های مونزودیوریتی
۰	۰/۹۵	۰/۲۴	۱۸/۵	۱/۵۲	۰/۲۵	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری دگرسان شده

جدول ۳: فاکتور غنی‌سازی عناصر فلزی در نمونه‌های خاک‌های روی پهنه‌های مختلف دگرسانی و سنگ‌های آذرین

میانگین فاکتور غنی‌سازی برای عناصر انتخاب شده												خاک روی
Sn	Tl	Sb	Cd	Zn	V	Pb	Ni	Cu	Co	As	Cr	
۰/۷۵	۴/۰۶	۲۷/۱۸	۰/۵۰	۱/۰۴	۲/۰۵	۳/۱۸	۰/۹۴	۲/۷۳	۰/۶۲	۱۶/۱۳	۰/۸۶	پهنه دگرسان آرژیلیک پیشرفته
۰/۸۸	۴/۵۵	۲۳/۷۱	۰/۹۷	۱/۲۳	۲/۰۹	۴/۳۵	۰/۵۶	۵/۴۵	۰/۴۴	۴۶/۰۶	۰/۶۴	پهنه دگرسان آرژیلیک
۱/۵۶	۴/۹۸	۲۸/۸۲	۰/۴۷	۱/۱۷	۱/۹۶	۷/۳۹	۱/۱۱	۳/۹۲	۰/۶۵	۱۷۴/۸۴	۱/۱۸	پهنه سیلیسی
۰/۸۱	۳/۰۹	۲۰/۲۰	۰/۵۳	۱/۰۳	۱/۸۶	۲/۹۱	۰/۷۷	۳/۵۹	۰/۶۳	۱۷/۳۲	۰/۷۳	نهنه‌های کواترنری
۱/۱۲	۳/۴۹	۳۸/۸۶	۰/۶۱	۱/۴۱	۲/۱۱	۴/۶۴	۰/۵۲	۱۱/۳۶	۰/۵۹	۱۷/۱۱	۰/۴۵	سنگ‌های مونزودیوریتی
۰/۴۲	۰/۸۵	۸/۷۷	۰/۶۱	۱/۲۴	۰/۳۴	۱/۰۷	۰/۸۲	۳/۶۰	۰/۹۱	۷/۳۳	۰/۵۹	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری دگرسان شده

نتیجه آزمون "کافی بودن حجم نمونه‌ها"^۲ (برابر با $KMO=0/707$) در تحلیل عاملی کفایت اندازه نمونه‌ها را جهت انجام تحلیل عاملی به اثبات می‌رساند. همچنین آماره بارتلت^۴ با مقدار $BT=2213$ و درجه آزادی ۲۱۰ دارای سطح

1- Hamzah
2- Adequacy Measure of Sampling
3- Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy
4- Bartlett's Test of Sphericity

معنی دار $P=0/000$ بوده و نشان دهنده وجود تناسب مورد قبول برای آزمون عاملی است. براساس مقدار ویژه^۱ و روش چرخش متعامد واریماکس^۲ هفت عامل استخراج شده است، براین اساس هفت گروه از عناصر که بیشترین همنشینی را دارند بشرح جدول ۴ می‌باشند. بطور کلی ۷۳/۷۰ درصد از واریانس کل غلظت عناصر بوسیله این هفت عامل تبیین می‌شوند.

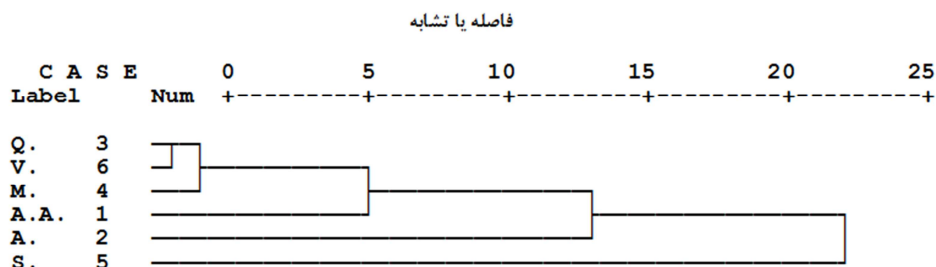
جدول ۴: نتایج آزمون تجزیه عامل بر حسب غلظت عناصر در خاک سطحی و عوامل استخراج شده

عناصر (متغیر)	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	عامل پنجم	عامل ششم	عامل هفتم
Zn	۰/۹۰۱						
Cd	۰/۸۱۰						
Cu	۰/۷۹۴						
Mn	۰/۶۶۸						
Pb		۰/۸۷۵					
Sn		۰/۷۸۸					
Tl		۰/۷۷۵					
Mo		۰/۵۹۵					
Ba			۰/۸۱۷				
S			-۰/۷۹۴				
Be			۰/۶۳۴				
Cr				۰/۸۹۶			
Ni				۰/۸۸۰			
Co				۰/۳۶۵			
Fe					۰/۸۶۰		
V					۰/۷۸۶		
Sb						۰/۷۱۷	
As							۰/۷۹۱
Se							۰/۶۹۵
واریانس	۳/۲۱	۲/۷۸	۲/۶۸	۲/۱۸	۱/۷۰	۱/۵۲	۱/۳۸
درصد واریانس تبیین شده	۱۵/۲۹	۱۳/۲۶	۱۲/۷۸	۱۰/۳۹	۸/۱۲	۷/۲۵	۶/۶

براساس تجزیه خوشه‌ای و بر مبنای غلظت کل عناصر، خاک‌های روی نهشته‌های کواترنری و سنگ‌های آذرین (خروجی و درونی) در یک گروه قرار گرفته و در مقابل خاک روی پهنه‌های دگرسانی آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی گروه‌های مجزایی را تشکیل می‌دهند (شکل ۶). به ترتیب خاک‌های روی پهنه‌های سیلیسی، آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته بیشترین اختلاف را با گروه اول دارند. حداکثر آلودگی در خاک‌های روی پهنه‌های با دگرسانی

1- Initial Eigenvalues
2- Varimax

سیلیسی و آرژیلیک مشاهده می‌شود. براین اساس خاک‌های روی سنگ‌های آتشفشانی غیر دگرسان و نهشته‌های کواترنری کمترین آلودگی را دارند.



شکل ۶: گروه بندی خاک‌های مختلف منطقه به روش وارد^۱

Q: خاک‌های روی نهشته‌های کواترنری، A: خاک‌های روی پهنه دگرسانی آرژیلیک، A.A: خاک‌های روی پهنه دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، M: خاک‌های روی سنگ‌های آذرین درونی کانی‌سازی و دگرسان شده، V: خاک‌های روی سنگ‌های آذرین خروجی کانی‌سازی و دگرسان شده، S: خاک‌های روی پهنه دگرسانی سیلیسی

مکانیسم‌های تجمع عناصر

نتایج به دست آمده از ارزیابی آلودگی خاک‌های نقاط مختلف منطقه به عناصر مضر نشان می‌دهد که میزان تجمع و توزیع عناصر در آن‌ها یکنواخت نیست. اجزاء آلی و غیر آلی خاک و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در تجمع عناصر مختلف در خاک دخالت دارند (اشرف^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). واکنش‌های بین کمپلکس‌های عناصر فلزی با لیگاندهای آلی و معدنی بر فراهمی‌زیستی^۳ و سمیت^۴ عناصر تاثیر می‌گذارد (ویولانت^۵ و همکاران ۲۰۱۰). مقایسه بین غلظت مجموع عناصر با غلظت گوگرد، آلومینیوم، آهن+ منگنز، درصد کربن آلی کل و درصد ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرومتر خاک نشان دهنده وجود همبستگی مثبت بین این عناصر و گوگرد (شکل ۷ الف) و ذرات ریز خاک (شکل ۷ ب) و همبستگی منفی با آلومینیوم (شکل ۷ ج) است. این همبستگی‌ها نقش اصلی سولفیدها و ذرات ریز خاک را در جذب عناصر فلزی نشان می‌دهند (سالامون و فورسترن^۶ ۱۹۸۴، هوروویتز^۷ ۱۹۹۱).

حضور کانی‌های سولفیدی و اکسیدی مانند پیریت (FeS_2)، کالکوپیریت ($CuFeS_2$)، گالن (PbS)، اسفالریت (ZnS)، مولیبدنیت (MoS_2)، هماتیت (Fe_2O_3)، مگنتیت (Fe_3O_4)، گوتیت ($FeO(OH)$)، لیمونیت ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) و غیره در منطقه (صنایع و معادن استان اردبیل، ۱۳۸۱؛ طلائی و همکاران، ۱۳۹۱) می‌توانند در جذب عناصر فلزی نقش

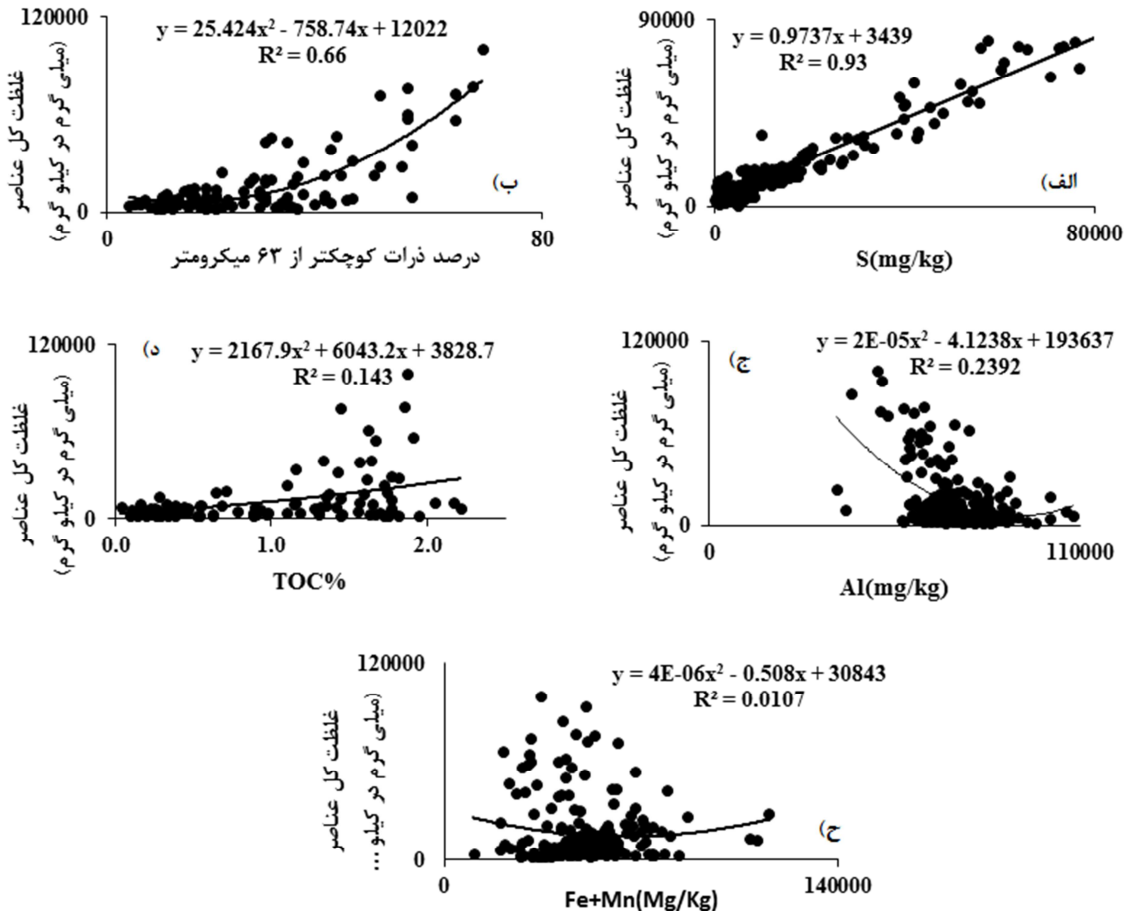
1- Ward
2- Ashraf
3- Bioavailability
4- Toxicity
5- Violante
6- Salomons and Forstner
7- Horowitz

بازی کنند. تجزیه XRD خاک‌های منطقه نشان دهنده وجود کانی‌های رسی و آلومینوسیلیکاتی مانند کائولینیت $(Al_4\{Si_4O_{10}\}(OH)_8)$ ، ژاروسیت؛ $(KFe^{3+}(OH)_6(SO_4)_2)$ ، ایلیت $(Al_{3.3}Mg_{0.7}^{VI}O_{20})$ ، ایلیت $1.6K^+[(OH)_4(Si_{7.1}Al_{0.9})^{IV}(Al_{3.3}Mg_{0.7})^{VI}O_{20}]^-$ و آلونیت $(KAl_3(OH)_6(SO_4)_2)$ به صورت فاز اصلی در منطقه است. سطح بزرگ و بار منفی این کانی‌ها می‌تواند به عنوان جذب کننده اصلی فلزات عمل نماید (گوستاوسون و جکس^۱ ۱۹۹۵).

بین درصد کل کربن آلی و غلظت عناصر همبستگی مثبت ولی ضعیف دیده می‌شود (شکل ۵۷). مواد آلی می‌توانند عناصر فلزی را جذب نمایند، اما دلیل عدم افزایش غلظت عناصر با افزایش مواد آلی در نمونه‌های خاک منطقه می‌تواند درشتی ذرات این مواد باشد، به طوریکه ذرات درشت مواد آلی نمی‌تواند به عنوان تمرکز دهنده اصلی عناصر عمل نماید (هوروویتز ۱۹۹۱). بین میزان کل عناصر فلزی و غلظت آهن و منگنز خاک‌های سطحی رابطه مشخصی وجود ندارد (شکل ۷ج). این تغییرات ممکن است به دلیل تاثیر pH پائین بر عدم جذب آرسنیک، مس و روی توسط اکسیدهای آهن و منگنز باشد (جتسون و تورنتون^۲ ۱۹۸۷). همبستگی قوی بین عناصر نیکل، روی، کادمیم، سرب و pH در مطالعات گذشته در سایر نقاط نیز به اثبات رسیده است (زوقایی^۳ و همکاران ۲۰۱۴). همچنین همبستگی ضعیف در روند بین غلظت کل عناصر فلزی و Fe+Mn نشان دهنده تاثیر اندازه ذرات خاک و فازهای ثانویه دیگر (مانند سولفیدها، آلومینیوم و یا کانی‌های رسی) در جذب این عناصر است، بطوریکه سالامون و فورستر (۱۹۸۴) و هوروویتز (۱۹۹۱) نیز بر نقش مهم سولفیدها، اکسیدهای آلومینیوم، آهن و منگنز و همچنین کانی‌های رسی در جذب عناصر فلزی تاکید کرده و معتقدند که با این مکانیسم تغلیظ عناصر در محیط اتفاق می‌افتد.

ضخامت افق‌های خاک در منطقه یکسان نبوده و تغییرات گسترده‌ای در آن مشاهده می‌شود. ضخامت افق A بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر و گاهی تا ۲۵ سانتی متر و افق B نیز از ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر و گاهی تا ۶۰ سانتی متر تغییر می‌کند. تجمع کانی‌های رسی و اکسید آهن در افق‌های میانی برخی از پروفیل‌های نسبتاً ضخیم نشان دهنده افق B است. عناصر آهن، منگنز، مس، روی، سلنیم و تا حدودی کبالت و مولیبدن در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری تغلیظ شده و بر خلاف آن‌ها عناصر کادمیم، آنتیموان، کروم، آرسنیک و نیکل تهی شدگی نشان می‌دهند. تجمع برخی عناصر از جمله آهن و منگنز در افق‌های زیر خاک سطحی (افق B) بر اثر نفوذ آب موجود در خاک^۴ به طرف پائین و جذب عناصر به وسیله اکسیدها، هیدرواکسیدها و رس‌ها انجام می‌گیرد (اولندر^۵ و همکاران ۲۰۰۳). غلظت بالای برخی عناصر در افق سطحی (افق A) به دلیل تجمع مواد آلی و یا کانی‌های فلزی است. حتی تجمع این عناصر در افق‌های سطحی به حمل و نقل بادی^۶ نیز نسبت داده می‌شود (لند^۷ ۲۰۰۲، اولندر و همکاران ۲۰۰۳).

1- Gustafsson and Jacks
2- Johnson & Thornton
3- Zogaj
4- Infiltrating soil water
5- Öhlander
6- Aeolian transport
7- Land



شکل ۷: نمودار پراکندگی غلظت کل عناصر فرعی در مقابل الف) غلظت گوگرد، ب) ذرات ریز در خاک‌های سطحی، ج) غلظت آلومینیوم، د) درصد کربن آلی کل و ح) غلظت آهن+ منگنز در خاک‌های سطحی روی پهنه‌های کانی‌سازی و دگرسان شده، غلظت کل عناصر برابر مجموع غلظت عناصر Cr, Mn, Ba, Be, V, S, As, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn, Cd و Tl می باشد.

بحث و نتیجه گیری

ارزیابی نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که دلیل تغلیظ بیش از حد طبیعی برخی از عناصر سمی و مضر برای چرخه حیات در خاک‌های منطقه معدنی دوست‌بیگلو در ارتباط با فرآیندهای کانی‌سازی و دگرسانی است. مناطق معدنی در بیشتر موارد بطور طبیعی باعث تشدید آلودگی‌ها در محیط زیست می‌شوند (آکینموسین^۱ ۲۰۰۹، فاشولا^۲ و همکاران ۲۰۱۶). برخی از عناصر مانند آهن، مس، کروم، منگنز، کبالت و روی به مقدار کم برای بدن انسان

1- Akinmosin
2- Fashola

لازم است اما افزایش بیش از اندازه آن‌ها و ورود بسیار کم عناصر دیگر همچون جیوه، کادمیم، آرسنیک، سرب و ... به بدن، سلامتی انسان‌ها را با خطرات جدی مواجه می‌سازد (مارگ ۲۰۱۱). هرچند با دانستن غلظت کل عناصر در خاک نمی‌توان بطور دقیق رفتار و درجه فراهمی زیستی آن‌ها را تعیین کرد (فاواس^۱ و همکاران ۲۰۱۱)، اما می‌توان احتمال خطر عناصر سمی و مضر را برای سلامتی محیط زیست، موجودات زنده و خصوصاً انسان تخمین زد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آلوده شدن خاک‌های منطقه معدنی دوست‌بیگلو به عناصر سمی همچون آرسنیک، کبالت، مولیبدن، آنتیموان، سرب، قلع، تالیم، منگنز، مس، کروم، سلنیم، جیوه، روی و گوگرد زمینه ورود بیش از اندازه آنها در محیط‌های آبی، گیاهی، چرخه غذایی و در نهایت بدن دام و انسان را فراهم نموده است (آگنیشکا و همکاران ۲۰۱۴، بنتلیس^۲ و همکاران ۲۰۱۴، پورت و همکاران ۲۰۱۶). تأثیرات منفی ورود عناصر سمی و مضر در چرخه زیستی، از طریق خاک، برای سلامتی محیط زیست و موجودات زنده در بسیاری از مناطق دنیا و ایران موضوع پژوهشی بسیاری از پژوهشگران بوده و چالش اساسی برنامه‌ریزان زیست محیطی است (پارایزنگانه^۳ و همکاران، ۲۰۱۰، آدامو^۴ و همکاران ۲۰۱۵). براین اساس است که در چند دهه گذشته تحقیقات گسترده‌ای در نقاط مختلف معدنی انجام گرفته و تقریباً نتایج همسانی هم در خصوص اثرات سوء این مناطق بر محیط زیست به دست آمده است (مورنو^۵ و همکاران ۲۰۰۷، سان^۶ و همکاران ۲۰۱۶).

در مناطق معدنی دیگر مانند معدن فلزات پایه در شرق مقدونیه (روگان^۷ و همکاران ۲۰۰۹)، محدوده اطراف معدن کرومیت در جنوب هند (کشاو کریشنا^۸ و همکاران ۲۰۱۳)، معدن کرومیت باغ‌جر سبزوار (سولگی و پارماه ۲۰۱۵) و منطقه معدنی چندفلزی وایوت و ارادتک^۹ در شمال کشور رومانی (چیرا^{۱۰} و همکاران ۲۰۱۴) نیز مانند منطقه دوست بیگلو، ورود عناصر فلزی در محیط خاک سبب ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی شده است.

بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که حداقل ۱۹/۴ درصد و حداکثر ۶۶/۷ درصد از نمونه‌های خاک منطقه دوست بیگلو در شمال غرب ایران آلوده به فلزات سمی و مضر هستند. لذا اصلاح و تصفیه خاک‌های منطقه با استفاده از روش‌های به‌سازی فیزیکی و بیولوژیکی ضرورت دارد. در استفاده از این روش‌ها خصوصاً روش پالایش سبز حتماً باید در انتخاب گونه‌ها، معیار بومی بودن و نوع فلزات تجمع یافته برحسب تیپ پهنه‌های کانی‌سازی و دگرسان شده مورد مطالعه قرار گیرد. روش‌های مناسب اصلاح می‌تواند موضوع پژوهش‌ها در آینده باشد.

-
- 1- Favas
 - 2- Bentellis
 - 3- Parizanganeh
 - 4 Adamu
 - 5 Moreno
 - 6 Sun
 - 7 Rogan
 - 8 Keshav Krishna
 - 9 Băiuț Văratec
 - 10 Chira

منابع

- اسماعیلی ساری عباس (۱۳۸۱). آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست، تهران، انتشارات نقش مهر، چاپ اول، صفحه ۷۶۷.
- جعفری حقیقی مجتبی (۱۳۸۲). روش‌های تجزیه خاک، نمونه برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تاکید بر اصول تئوری و کاربردی، تهران، انتشارات ندای ضحی، چاپ اول، صفحه ۲۳۶.
- سازمان صنایع و معادن استان اردبیل (۱۳۷۴). پی جوئی و آثار یابی مقدماتی مواد معدنی در شمال مشگین شهر، مهندسین مشاور ژئوداد، صفحه ۹۶.
- سازمان صنایع و معادن استان اردبیل (۱۳۸۱). اکتشاف عمومی عناصر فلزی شمال غرب مشگین شهر، مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۹ صفحه.
- سالاردینی علی اکبر (۱۳۸۲). حاصلخیزی خاک، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، صفحه ۴۲۸.
- طلایی رضا؛ پیروان حمیدرضا؛ عظیمی مطعم فرزانه (۱۳۹۱). بررسی و تحقیق در زمینه اثر مینرالیزاسیون و زون‌های آلتراسیون بر منابع آب و خاک در خروجی حوزه قره سو (استان اردبیل)، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، صفحه ۲۷۰.
- غضبان فریدون (۱۳۸۱). زمین شناسی زیست محیطی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، صفحه ۴۱۶.
- همتی رسول؛ نصیری فر عظیم؛ دولتی مهر علی؛ شهبازی محمد؛ هژبرپور قاسم؛ آقایی سید غفور (۱۳۸۶). اطلس اقلیمی استان اردبیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، وزارت راه و ترابری، سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی استان اردبیل، گزارش نهایی پروژه مطالعاتی، صفحه ۱۵۶.
- Abdullah, M.Z., Louis, V.C., Abas, M.T., (2015), Metal pollution and ecological risk assessment of Balok river sediment, Pahang Malaysia, *American Journal of Environmental Engineering*, 5(3A), pp. 1-7.
- Abraham, G.M.S., Parker, R.J., (2008), Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ Monit Assess*, 136, pp. 227-238.
- Adamu, C.I., Nganje, T.N., Aniekan, E., (2015), Heavy metal contamination and health risk assessment associated with abandoned barite mines in Cross River State, southeastern Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 3, pp. 10-21.
- Agnieszka, B., Tomasz, C., Jerzy, W., (2014), Chemical properties and toxicity of soils contaminated by mining activity, *Ecotoxicology*, 23, pp. 1234-1244.
- Agnieszka, B., Tomasz, C., Jerzy, W., (2014), Chemical properties and toxicity of soils contaminated by mining activity, *Ecotoxicology*, 23, pp. 1234-1244.
- Akinmosin, A., Osinowo, O.O., Oladunjoye, M.A., (2009), Radiogenic components of the Nigeria Tarsand Deposits, *Earth Sci. Res. J.*, 13(1), pp. 64-73.
- Ashraf, M.A., Maah, M.J., Yusoff, I., (2012), Chemical Speciation and Potential Mobility of Heavy Metals in the Soil of Former Tin Mining Catchment, *The Scientific World Journal*, volume 2012, Article ID 125608, 11 p.
- Barize, D., Sterckeman, T., (2001), Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements, *Sci. Total Environ.*, 264, pp.127-139.
- Beek, J., Bolt, G.H., Bruggenwert, M.G.M., De Haan, F.A.M., Kamphorst, A., Novozamsky, I., Van Bremen, N., Brinkman, R., Zwerman, P.J., (1976), *Soil chemistry, Basic elements*, Volume. I, Elsevier Scientific Publishing Company, 280 p.
- Bentellis, A., Azzoug, R., El Hadeff El Okki, M., Rached, O., (2014), Trace elements pollution from an abandoned mine and factors affecting antimony concentrations in the Dahimine Wadi bank soils (northeast Algeria), *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(1), pp. 95-106.
- Bhattacharya, A., Routh, J., Jacks, G., Bhattacharya, P., Mörth, M., (2006), Environmental assessment of abandoned mine tailings in Adak, Västerbotten district (northern Sweden), *Applied Geochemistry*, 21, pp. 1760-1780.
- Bowen, H.J.M., (1979), *Environmental chemistry of the elements*, Academic Press, London, UK, 333 p.
- Chira, I., Damian, G., Chira, R., (2014), Spatial distribution of heavy metals in the soils of Băiuț area, Maramureș County, Romania, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(1), pp. 269-278.
- Colin, B., (1995), *Environmental Chemistry*, New York, Freeman and Company, 736 p.
- Covelli, S., Fontolan, G., (1997), Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines, *Environ. Geol.*, 30, pp. 34-45.
- Daldoul, G., Souissi, R., Souissi, F., Jemmali, N., Chakroun, H.K., (2015), Assessment and mobility of heavy metals in carbonated soils contaminated by old mine tailings in North Tunisia, *Journal of African Earth Sciences*, 110, pp. 150-159.

- De Temmerman, L.O., Hoenig, M., Scokart, P.O., (1984), Determination of Normal levels and upper limit values of trace elements in soils, *Zig. Pflanz. Bodenkunde*, 147, pp. 687-694.
- Donald, L.S., (1995), *Environmental soil chemistry*, London, Academic Press, 267p.
- Fashola, M.O., Ngole-Jeme, V.M., Babalola, O.O., (2016), Heavy metal pollution from gold mines: Environmental effects and bacterial strategies for resistance, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13, pp. 1-20.
- Favas, P.J.C., Pratas, J., Gomes, M.E.P., Cala, V., (2011), Selective chemical extraction of heavy metals in tailings and soils contaminated by mining activity: Environmental implications, *Journal of Geochemical Exploration*, 111, pp. 160-171.
- Fergusson, L., (1985), *The heavy elements: Chemistry, environmental impact, and health effects*, Oxford, Pergamon Press, 614 p.
- Gbaruko, B.C, Igwe, J.C., (2007), Tungsten: Occurrence, chemistry, environmental and health exposure issues, *Global Journal of Environmental Research*, 1(1), pp. 27-32.
- Gupta, A.K., Sinha, S., (2006), Role of *Brassica juncea* (L.) Czern. (var. Vaibhav) in the phytoextraction of Ni from soil amended with fly ash: selection of extractant for metal bioavailability, *J. Hazard. Mater.*, B136, pp. 371-378.
- Gustafsson, J.P., Jacks, G., (1995), Arsenic geochemistry in forested soil profiles as revealed by solid-phase studies, *Appl. Geochem.*, 10, pp. 307-316.
- Hamzah, Z., Saat, A., Wood, A.K., Abu Bakar, Z., (2011), Sedimentation, heavy metals profiles and cluster analysis of a former Tin Mining Lake, *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(6), pp. 48-453.
- Horckmans, L., Swennen, R., Deckers, J., Maquil, R., (2005), Local background concentrations of trace elements in soils: a case study in the Grand Duchy of Luxembourg, *Catena*, 59, pp. 279-304.
- Horowitz, A.J., (1991), *A Primer on Sediment-trace Element Chemistry*, Chelsea, Lewis Publishing Co., 136 p.
- Jung, M.C. (2001), Heavy metal contamination of soils and waters in and around the Imcheon Au-Ag mine, Korea, *Appl. Geochem.*, 16, pp. 1369-1375.
- Kabata-Pendias, A., (2004), Soil-plant transfer of trace elements an environmental issue. *Geoderma*, 122, pp. 143-149.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., (2001), *Trace Elements in Soils and Plants*, Boca Raton, Florida, CRC Press, 520 p.
- Keshav Krishna, A., Rama Mohan, K., Murthy, N.N., Periasamy, V., Bipinkumar, G., Manohar, K., Srinivas Rao, S., (2013), Assessment of heavy metal contamination in soils around chromite mining areas, Nuggihalli, Karnataka, India. *Environ Earth Sci.*, 70, pp. 699-708.
- Klassen, R.A., (1998), Geological factors affecting the distribution of trace metals in glacial sediments of central Newfoundland, *Environ. Geol.*, 33(2/3), pp. 154-169.
- Krauskopf, K.P., Dannis, K.B., (1995), *Introduction to geochemistry*, New York, McGraw-Hill, 640 p.
- Land, M., Thunberg, J., Öhlander, B., (2002), Trace metal occurrence in a mineralised and a non-mineralised spodosol in northern Sweden, *J. Geochem. Explor.*, 75, pp. 71-91.
- Likuku, A.S., Mmolawa, K.B., Gaboutloeloe, G.K., (2013), Assessment of heavy metal enrichment and degree of contamination around the copper-nickel mine in the Selebi Phikwe Region, Eastern Botswana, *Environment and Ecology Research*, 1(2), pp. 32-40.
- Lim, H.S., Lee, J.S., Chon, H.T., Sager, M., (2008), Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au-Ag mine in Korea, *Journal of Geochemical Exploration*, 96, pp. 223-230.
- Marg, B.Z., (2011), *Hazardous metals and minerals pollution in India: sources, toxicity, and management*, A Position Paper, Indian National Science Academy, New Delhi, 27 p.
- Miller, J.R., Hudson-Edwards, K.A., Lechler, P.J., Preston, D., Macklin, M.G., (2004), Heavy metal contamination of water, soil and produce within riverine communities of the Rio Plicomayo basin, Bolivia, *Science of the Total Environment*, 320(2), pp. 189-209.
- Mohiuddin, K.M., Ogawa, Y., Zakir, H.M., Otomo, K., Shikazono, N., (2011), Heavy metals contamination in water and sediments of the polluted urban river in developing country, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8, pp. 723-736.
- Mohiuddin, K.M., Zakir, H.M., Otomo, K., Sharmin, S., Shikazono, N., (2010), Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7, pp. 17-28.
- Moreno, T., Oldroyd, A., McDonald, I., Gibbons, W., (2007), Preferential fractionation of trace metals-metalloids into PM10 resuspended from contaminated gold mine tailings at Rodalquilar, Spain, *Water Air Soil Pollut.*, 179, pp. 93-105.
- Nagyová, I., Melichová, Z., Komadelová, T., Boháč, P., Andráš, P., (2013), Environmental assessment of impacts by old copper mining activities – a case study at Špania Dolina Starohorské MTS., Slovakia, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(4), pp. 101-108.
- Odukoya, A.M., Abimbola, A.F., (2010), Contamination assessment of surface and groundwater within and around two dump sites, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7, pp. 367-376.
- Öhlander, B., Thunberg, J., Land, M., Höglund, L.O., Quishang, H., (2003), Redistribution of trace metals in a mineralized spodosol due to weathering, Liikavaara, northern Sweden, *Appl. Geochem.*, 18, pp. 883-899.

- Parizanganeh, A., Hajisoltani, P., Zamani, A., (2010), Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding Zinc Industrial Complex in Zanjan-Iran, *Procedia Environmental Sciences*, 2, pp. 162–166.
- Perlatti, F., Ferreira, T.O., Romero, R.E., Costa, M.C.G., Otero, X.L., (2015), Copper accumulation and changes in soil physical-chemical properties promoted by native plants in an abandoned mine site in northeastern Brazil: Implications for restoration of mine sites, *Ecological Engineering*, 82, pp. 103-111.
- Pourret, O., Lange, B., Bonhoure, J., Colinet, G., Decrée, S., Mahy, G., Séleck, M., Shutcha, M., Faucon, M.P., (2016), Assessment of soil metal distribution and environmental impact of mining in Katanga (Democratic Republic of Congo), *Applied Geochemistry*, 64, pp. 43-55.
- Pourret, O., Lange, B., Bonhoure, J., Colinet, G., Decrée, S., Mahy, G., Séleck, M., Shutcha, M., Faucon, M.P., (2016), Assessment of soil metal distribution and environmental impact of mining in Katanga (Democratic Republic of Congo), *Applied Geochemistry*, 64, pp. 43-55.
- Rodríguez, L., Gómez, R., Sánchez, V., Alonso-Azcárate, J., (2015), Chemical and plant tests to assess the viability of amendments to reduce metal availability in mine soils and tailings, *Environ Sci Pollut Res*, Published online: 15 March 2015, 9 p.
- Rogan, N., Serafimovski, T., Dolenc, M., Tasev, G., Dolenc, T., (2009), Heavy metal contamination of paddy soils and rice (*Oryza sativa* L.) from Kočani Field (Macedonia), *Environ Geochem Health*, 31(4), pp. 439-51.
- Sakan, S., Gržetić, I., Dordević, D., (2007), Distribution and fractionation of heavy metals in the Tisa (Tisza) River sediments, *Environmental Science and Pollution Research*, 14, pp. 229-236.
- Salomons, W., Forstner, U., (1984), *Metals in the Hydrocycle*, New York, Springer-Verlag, 349 p.
- Solgi, E., Parmah, J., (2015), Analysis and assessment of nickel and chromium pollution in soils around Baghejar Chromite Mine of Sabzevar Ophiolite Belt, Northeastern Iran. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25, pp. 2380-2387.
- Solgi, E., Parmah, J., (2015), Analysis and assessment of nickel and chromium pollution in soils around Baghejar Chromite Mine of Sabzevar Ophiolite Belt, Northeastern Iran. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25, pp. 2380-2387.
- Sun, Y., Xie, Z., Li, J., Chen, Z., Naidu, R., (2006), Assessment of toxicity of heavy metal contaminated soils by the toxicity characteristic leaching procedure, *Environ Geochem Health*, 28, pp.73–78.
- Swartjes, F.A., (1999), Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: standards and remediation urgency, *Risk Anal.*, 19, pp. 1235-1249.
- Tajam, J., Kamal, M.L., (2013), Marine environment risk assessment of Sungai Kilim, Langkawi, Malaysia: Heavy metal enrichment factors in sediments as assessment indexes, *International Journal of Oceanography*, 2013, pp. 1-6.
- Tanji, K.K., (1990), *Agricultural salinity assessment and management*, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, Number 71, USA, 164 p.
- Truta, E., Vochita, G., Zamfirache, M.M., Olteanu, Z., Rosu, C., (2013), Copper-induced genotoxic effects in root meristems of *Triticum Aestivum* L. Cv. Beti, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(4), pp. 83-92.
- Uddin, M.K., (2017), A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with a special focus on the past decade, *Chemical Engineering Journal*, 308, pp. 438-462.
- Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A.G., Pigna, M., (2010), Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), pp. 268-292.
- Wahsha, M., Bini, C., Fontana, S., Wahsha, A., Zilioli, D., (2012), Toxicity assessment of contaminated soils from a mining area in Northeast Italy by using lipid peroxidation assay, *Journal of Geochemical Exploration*, 113, pp. 112-117.
- Wang, X., Liu, Y., Zeng, G., Chai, L., Xiao, X., Song, X., Min, Z., (2008), Pedological characteristics of Mn mine tailings and metal accumulation by native plants, *Chemosphere*, 72, pp. 1260-1266.
- Wedepohl, K.H., (1995), The composition of the continental crust. *Geochim, Cosmochim. Acta*, 59, pp. 1217-1232.
- Yagodin, B.A., (1984), *Agricultural Chemistry*, 1 edition, Moscow, Mir Publishers, volume 1, Translated from the Russian by Vopyan V.G., 375 p.
- Zandsalimi, S., Karimi, N., Kohandel, A., (2011), Arsenic in the soil, vegetation and water of a contaminated region, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8, pp. 331-338.
- Zobrist, J., Sima, M., Dogaru, D., Senila, M., Yang, H., Popescu, C., Roman, C., Bela, A., Frei, L., Dold, B., Balteanu, D., (2009), Environmental and socioeconomic assessment of impacts by mining activities - a case study in the Certej River catchment, Western Carpathians, Romania, *Environmental Science and Pollution Research*, 16, pp. 14-20.
- Zogaj, M., Paçarizi, M., Düring, R.A., (2014), Spatial distribution of heavy metals and assessment of their bioavailability in agricultural soils of Kosovo, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(1), pp. 221-230.
- Victor L., (1991), Air temperature and humidity and a human comfort index of some city parks of Mexico City, *International Journal of Biometeorology*, 35(1), pp 24–28.
- Wanielista, M.P., (1997), *Hydrology Water Quantity and Water Quality Control*, University of Central Florida, 565 p.

Environmental assessment of contaminated soils in Dostbaiglou mine (north of Meshginshahr - Iran)

Reza Talaei^{*1}, Hamidreza Peyrowan², Farzaneh Azimi Motem³

Received: 06-12-2017

Accepted: 02-06-2018

Abstract

Contamination of soil with pathological and carcinogenic toxic elements presents a vitally important challenge for the environment. The dispersed contamination source is one of the important pollution sources, which different elements originate from weathering of rock and alterations zones and diffuse in the environment. The mine lands are considered as one of the dispersed contamination sources. In these locations, excavation, concentration, and uncovering of some elements cause contamination of soil, which leads to contamination of the environment. This paper presents the pollution load of toxic elements in 236 soil samples collected around mining zone in the north of Meshginshahr, northwest of Iran. Pollution intensity of the soils was calculated based on the pollution index and enrichment factor. Classification of the soils was done by using the factorial and cluster analysis. Soil samples collected in this study contain higher concentrations of harmful elements compared to the target and intervention limits set by international regulatory standards. Concentration of elements such as As (3-3430mg/kg), Mo (0.5-160mg/kg), Sb (0.21-97.6mg/kg), Pb (3.7-518mg/kg), Cu (10-748mg/kg) and Sn (0.5-11.4mg/kg) was found to be very high in the region soils. Some of the soil samples also have a worrying levels of Cr (3-267mg/kg), Mn (27-4120mg/kg) and Co (0.5-211mg/kg) concentrations. As per the pollution index, 19.4-66.7% of the soils on the mineralized and altered zones in the region are considered as contaminated with toxic elements. There is a high variation of concentration of elements in the soil samples. Distribution of the elements has been influenced heavily by both chemical (pH, organic carbon content (%), the concentration of Fe + Mn, Al, and S) and physical (grain size < 63µm) factors. Emphasis needs to be put on control measures of pollution and remediation techniques in the study area.

Keywords: Contamination, Soil, Pathological, Carcinogenic, Elements, Environment.

^{1*}- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran Email: r.talaei@areeo.ac.ir

²- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

³- MSc, Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran