تعیین تجمع فلزات سنگین درخاک و گیاهان اطراف معادن و زیست دسترس پذیری آنها (مطالعه موردی معدن سرب نخلک)

شهرزاد خرم نژادیان[۱*]، اصغر آزاده رنجبر[۱]، علیرضا پنداشته[۲]، سعید رضا عاصمی زواره[۱]

۱*- گروه محیط زیست، واحد دماوند ، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

۲- گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان

* ایمیل نویسنده مسئول : khoramnezhadian@yahoo.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

معادن و بهره برداری از آنها اثرات متعددی بر محیط زیست دارد. عناصر سنگین از طریق معدنکاوی، فرآوری کانسنگها و سدهای باطله وارد محیط میشوند. فلزات سنگین از طریق خاک جذب گیاهان شده و وارد زنجیره غذایی میگردند.معدن سرب نخلک با قدمت ۲۰۰۰ ساله درشرق نائین واقع شده است. در این پژوهش میزان عناصر سنگین در خاک اطراف معدن سرب نخلک بررسی شده است. تجمع فلزات سنگین در گیاهان بومی منطقه و همچنین زیست دسترس پذیری آنها مشخص شده است.بدین منظور ۱۰ ایستگاه برای نمونه برداری خاک ناحیه معدنی و ۱۰ ایستگاه جهت خاک سد باطله تعیین شد و با استفاده از جذب اتمی میزان فلزات سنگین در آنها بررسی گردید. از آلوده ترین مناطق نمونه برداری گیاهان صورت پذیرفت. زیست دسترس پذیری با استفاده از محلول EDTA شبیه سازی گشت. از میان گیاهان کلیر، خرزهره و خارشتر بیشترین تجمع در کلیر دیده شد. زیست دسترس پذیری کادمیم از تمامی فلزات سنگین بیشتر بوده است.

کلمات کلیدی

"معدن" ," سرب" ," گیاهان" ," تجمع زیستی " ," فلزات سنگین"

Determining the accumulation of heavy metals in soil and plants around mines and their bioavailability (case study: Nakhlak lead mine)

Shahrzad khoramnejadian[1*], Asghar azadeh ranjbar[1], alireza pendashteh[2], saeidreza asemi zavareh[1]

1.* department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, Iran.

2. department of water and environment, the Caspian sea basin research center, Guilan University.

*Email Address: khoramnezhadian@yahoo.com

Abstract

Mining and related activities has a several impact on the environment. Heavy elements enter the environment through mining, ore processing and tailings dams.plants adsorb heavy metals through the soil, and heavy metals entered the foodchain. Nakhlak lead mine is 2000 years old and is located in the east of Nain city. In this study, the amount of heavy metals in the soil around Nakhlak lead mine has been investigated. Accumulation of heavy metals in native plants of the region as well as their bioavailability has been determined. For this purpose, 10 stations were selected for sampling the soil of the mineral zone and 10 stations for the soil of the tailings dam and by using atomic absorption, the amount of heavy metals in them was investigated. Plants were sampled from the most polluted areas. Bioavailability was simulated using EDTA solution. Among the plants of Claire, oleander and sagebrush, the highest accumulation was seen in Claire. Cadmium was more bioavailable than all heavy metals.

Keywords

“mine”, “lead”, “plants”, “bioaccumulation”, “heavy metals”

۱- مقدمه

پیشرفت و توسعه کشورها در گرو استفاده صحیح از منابع و ذخایر میباشد. نیاز جوامع به مواد معدنی رو به افزایش است. فعالیتهای معدنی سبب آلودگی محیط زیست میشوند. بسیاری از آلاینده ها از طریق معدنکاوی و فرآیندهای مرتبط با آن وارد محیط زیست میگردند. فلزات سنگین از جمله آلاینده هایی هستند که از معادن نیز وارد محیط میگردند .فلزات سنگین که شامل آلومینیم، سرب، نیکل، کادمیم و...میباشند، از طریق فعالیتهای طبیعی و انسانی وارد محیط میگردندو جذب میکروارگانیسمها و گیاهان میگردند(نیسی و همکاران،۱۳۹۳). ورود فلزات سنگین از خاک به گیاه سبب اختلال در عملکرد گیاهان میگردد(خادم مقدم و گلچین،۱۳۹۸) .غلظت عناصر سنگین در خاک اطراف معادن زیاد بوده و وارد آبهای سطحی و زیر زمینی میگردد . سالاری غاظت عناصر سنگین در خاک و آبهای سطحی و زیرزمینی معدن مس سرچشمه را بررسی نمود و دریافت که غلظت عناصر سنگین مس، مولیبدن، سرب و کادمیم بیشتر از حد مجاز میباشد (سالاری، هادی،۱۳۹۴). شمس الدین و همکاران به بررسی شاخصهای آلودگی زیست محیطی اطراف مس سرچشمه پرداختند و بیان کردند که منشأ آلودگی خاک منطقه آنتروپوژنیک میباشد(شمس الدین و همکاران، ۱۳۹۴). شکری و شبان آلودگی معدن مس بوانات بروی خاک و گیاهان محدوده را مطالعه نمودند و دریافتند که غلظت عناصر مس،سرب، روی، منگنز و نیکل تحت تاثیر فعالیتهای معدنی قرار دارد(شکری و شبان،۱۳۹۸). بابایی و خدامی در اطراف معدن سرب و روی مهدی آباد یزد آلودگی خاک را بر اساس شاخص ژئو شیمیایی مولر و کرباسی بررسی نمودند و پی بردند که فلز سرب با حداکثر میزان شاخص فاکتور تجمع در رده غنی‌شدگی بسیار زیاد قرار دارد(بابایی و خدامی،۱۳۹۷). فیض نیا و همکاران پراکنش سرب در اطراف معدن سرب و روی بافق را مطالعه نمودند و دریافتند که میزان سرب در خاک رویی حدودا چهار برابر خاک عمقی میباشد و با افزایش فاصله از معدن میزان سرب کاهش می یابد و منشأ سرب فعالیتهای آنتروپوژتیک(انسانی) میباشد(فیض نیا و همکاران،۱۳۹۸). کرد و همکاران نقش گیاهان مرتعی در پالایش خاکهای آلوده به سرب در مجاورت معدن سرب و روی آهنگران ملایر را بررسی نمودند. گونه‌های کلاه میرحسن، گون اسبی، جوسیخ، جاز و گیس پیرزن در جذب سرب و روی موجود در خاک مورد آزمایش قرار گرفتند، گونه جاز بیشترین میزان جذب را نشان داد و گونه‌های گون اسبی، کلاه میرحسن و جوسیخ برای پاکسازی گیاهی خاکهای آلوده به سرب و روی مناسبند.(کرد و همکاران،۱۳۹۷). مادرید و همکاران با استفاده از آزمون EDTA و SBET برای تعیین قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاکهای شهری ایتالیا استفاده کردند (Madrid,et al.,2008). بسیاری از عناصر موجود در خاک اگرچه در زمره عناصر مورد نیاز گیاه نمیباشند اما بعلت شباهت با عناصر مورد نیاز گیاهان،جذب میگردند(Baghaie et al.,2007) . سرب به شکل فلزی چه خالص و چه به‌صورت آلیاژ یا به‌صورت ترکیبات شیمیایی در درجه اول به‌صورت اکسید سرب، به‌کار برده می‌شود. فلز نرم و سنگین سرب در صفحه‌های باتری، یاتاقان، حروف چاپ، حفاری، لوله‌های سربی، ورقه‌های سربی پوشش سیم، آلیاژها (مانند برنز و مفرغ)، مهمات، لحیم‌کاری، به‌عنوان ماده رنگی، نیترات سرب در رنگرزی، غلاف کابل‌ها، حفاری و ترکیبات ارسنیک‌دار آرسنیک‌دار سرب در حشره‌کش‌ها به‌کار می‌رود. یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های کارخانه و معدن سرب نخلک عناصر سنگین و فلزات است، ورود فلزات سنگین به محیط خطراتی از قبیل وارد شدن آنها به زنجیره غذایی را دارد. در این راستا دسترسی بیولوژیکی فلزات (Bioaccesibility) مورد توجه بررسی قرار گرفته است. دسترس‌پذیر بودن فلزات سنگین به این معنی است که وقتی خاک‌های یک منطقه از طریق انباشتگی بیش از حد فلزات سنگین آلوده می‌گردند، تمام آن حجم تجمع فلزات سنگین در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرند و تنها بخشی از آن‌ها که زیست‌دسترس پذیر هستند و قابلیت انحلال و جذب توسط گیاه و بدن انسان را دارند وارد سیستمهای زنده میگردند. در واقع در واقع ممکن است پیوندهای بین اجزای آلوده در فلزات دارای استحکامی باشند که نتوانند به فرم دسترس‌پذیری برای گیاه تبدیل شوند. بنابراین در مطالعات آلودگی خاک سعی بر این است که در خاک توزیع، تحرک پذیری و قابلیت انحلال آن‌ها شبیه سازی شده و بدین ترتیب احتمال ورود فلزات به سایر بخش‌های محیط مانند گیاه، آب و یا زنجیره غذایی انسان و یا حیوان پیش‌بینی گردد. زیست دسترس پذیری به معنای تبادل پذیری فلزات سنگین بین خاک و گیاه میباشد (Reeve R.N,2002). فلزات سنگین و متالوئیدها در یک سری از فعل و انفعالات پیچیده شیمیایی و بیولوژیکی نقش دارند، عواملی که زیست دسترس پذیری آنها را تحت تاثیر قرار میدهند شامل: آبشویی ، توان جابجایی عناصر، سمیت فلز و متالوئیدهای خاک میباشند . (Violante, ET AL., 2010).تعیین دسترسی گیاهان به فلزات سنگین راهکاری جهت تشخیص آلودگی خاک میباشد(آینه حیدری و همکاران،۱۳۹۵). در این مقاله وضعیت آلودگی خاک مناطق اطراف معدن و کارخانه سرب نخلک مور بررسی قرار گرفته و زیست دسترس پذیری فلزات سنگین و تجمع آنها در سه گونه گیاهی کلیر، خرزهره و خارشتر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

مجتمع معدنی نخلک از قدیمی‌ترین معادن سرب ایران است. معدن نخلک با بیش از ۲۰۰ نفر پرسنل شاغل در کیلومتر ۱۴۰ شرق نائین و بخش انارک قرار دارد. آب و هوای این منطقه گرم و خشک و مرتفع ترین قله آن حدود ۱۴۴۰ متراز سطح دریا ارتفاع دارد. اما عمده فعالیت‌های معدنی در تونل‌هایی با ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۸۵۵ متر از سطح دریا (طبقه ۲۰۰- متری) صورت می‌گیرد. تولید اصلی معدن نخلک کنسانتره سرب با عیار ۵۵٪ است. مواد معدنی استخراجی حاوی کانی‌های گالن یا سولفور سرب و سروزیت یا کربنات سرب است. خاک این ناحیه را می‌توان از دسته خاک‌های کویری و بیابانی دانست. این نوع خاک در کم ارتفاع‌ترین بخش‌های استان وجود دارد. به‌دلیل وجود نمک زیاد در روی این ناحیه، خاک‌های این ناحیه برای کشاورزی مناسب نیستند. قسمت عمده گونه‌های موجود در این منطقه از خانواده‌های اسفناجیان، کاسنی، بقولات و گندمیان است. به‌طور کلی فلور این منطقه رویشی به‌دلیل محدودیت‌های اقلیمی، غنی نبوده و فقط برخی گونه‌های مقاوم به خشکی در چنین شرایط دشواری استقرار یافته‌اند. مناطق پست این منطقه را اراضی شور تشکیل می‌دهد. همچنین سطح قابل توجهی از آن را ناهمواری‌های ماسه‌ای با پوشش

گیاهی ویژه، به خود اختصاص داده است. خار شتر (Alhagi maurorum) گیاهی از خانواده باقلاییان میباشد و گونه ای شور پسند است که به مصرف دارویی و خوراک دام میرسد(ادنایی و همکاران،۱۳۹۲).خارشتر گیاهی چند ساله میباشد که در خاکهای فقیر نیز می روید. ارتفاع این گیاه بین ۲۰ تا ۱۲۰ سانتی متر میباشد و دارای شاخه های خاردار میباشد. دارای ریشه عمیق بوده و از اعماق زمین رطوبت مورد نیاز خود را بدست می آورد. این گیاه در خاور میانه و صحرای عربستان وجود دارد و در خاکهای با شرایط اسیدی نیز دیده میشود(شلتوت و مادی،۱۹۹۶). گیاه کلیر (Capparis desiduas) از مقاومترین گیاهان بیابانی به شرایط خشکسالی طولانی مدت میباشد و این گیاه به جهت تثبیت تپه های شنی وحفاظت از خاک اهمیت دارد. خرزهره گیاهی درختچه ای و چند ساله میباشد که بومی مناطق مدیترانه ای و مناطق خشک میباشد. در بسیاری از مناطق کویری ایران بصورت بومی دیده میشود.

- **روش کار**

حدود یک کیلوگرم از نمونه‌های خاک به‌وسیله بیلچه‌های پلاستیکی جمع‌آوری و به کیسه‌های پلاستیکی منتقل شدند و روی هر کیسه شماره ایستگاه نمونه‌برداری شده مشخص گردید. جهت تعیین غلظت کل فلزات ابتدا یک گرم از هر نمونه به‌وسیله ترازو وزن شد. سپس میزان ۱۰سی سی تیزاب که حاصل ترکیب اسید نیتریک (HNO3) و اسید کلریدریک (HCl) که نسبت آن‌ها ۱ به ۳ است، به هر یک از نمونه‌های خاک خشک شده افزوده شد و نمونه‌ها در حمام شنی و دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفت تا محلول تیزاب به جوشش درآید. در مرحله بعد ۵ سی سی اسیدپرکلریک (HClO4) به نمونه‌ها افزوده شد و نمونه‌ها تا زمان خروج دود سفید رنگ در حمام شنی باقی ماندند. پس از طی مراحل فوق، جهت حذف مواد حل شده از مابقی خاک‌های حل نشده نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شدند و نمونه‌ها با رقیق‌سازی به کمک آب‌مقطر و در بالن ژوژه‌های مندرج به حجم ۱۰۰سی سی رسانده شدند. در مرحله آخر برای قرائت غلظت میزان فلزاتی که به فاز محلول منتقل شده‌اند، از دستگاه جذب اتمی مرکز تحقیقات فرآوری کرج (مدل۲۲۰ Z) استفاده شد . گیاهان در آزمایشگاه، ابتدا با آب مقطر شسته شده تا آلودگی‌های سطحی آن‌ها پاک شوند. سپس با استفاده از قیچی پلاستیکی ، ساقه و برگ آن‌ها از هم جدا می‌گردند. در مرحله بعد هر قسمت در آون با دمای ۶۰ الی 65 °C خشک و پس از آن با آسیا پودر می‌شوند. سپس ۱ گرم از هر قسمت از نمونه‌های گیاه را به‌صورت مجزا، داخل ظروف 100 mL ریخته شده و 15 mL از مخلوط سه اسید)اسیدنیتریک با درجه خلوص ۷۰٪ ، اسید پرکلریدریک ۶۵٪ و اسید اسیدسولفوریک ۷۰٪) به نسبت ۱:۱:۵ به نمونه ها اضافه شده سپس مخلوطها در دمای °C 80هضم شده تا اینکه محلول شفافی به‌دست آید و با استفاده از آب مقطر به حجم 50 mL رسیده و در نهایت محلول آماده شده جهت قرائت فلزات سنگین به آزمایشگاه جذب اتمی ارسال می‌شوند . سنجش دسترس‌پذیری زیستی فلزات به کمک محلول EDTA انجام می‌شود. روش انجام آزمایش به شرح زیر است:

ابتدا محلول ۰/۰۵ مولار EDTA تهیه شده، سپس با نسبت رسوب به محلول ۱:۱۰ هر کدام از خاک های ایستگاه‌های مذکور درون بشر حاوی محلول EDTA ریخته می شود. پس از آن با استفاده از شیکر نمونه های تهیه شده به مدت یک ساعت شیک می‌شوند و در مرحله بعد سانتریفیوژ نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با شدت دور ۳۰ دور بر دقیقه انجام می‌شود. پس از آن با کاغذ صافی بخش محلول از نامحلول جدا شده و با استفاده از بالن ژوژه به حجم رسانده و در نهایت قرائت غلظت فلزات با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام می شود. در این پژوهش شبیه سازی بخش زیست دسترس پذیر فلزات سنگین برای گیاهان به کمک استخراج کننده EDTA انجام شد. روش استخراج تک مرحله ای به کمک EDTA در واقع کسری از فلز را که می تواند توسط گیاه جذب شود، تخمین می‌زند. pH اسیدی EDTA اصلی ترین دلیل برای آزاد شدن فلزات متصل به کربنات ها ، هیدروکسیدها و مواد آلی است. در پژوهش اخیر جهت تعیین دسترس پذیری زیستی فلزات دو نمونه در محدوده معدنی و سه نمونه در سد باطله انتخاب شد و تست دسترسی زیستی بر روی آنها اعمال گردید. این نمونه ها به این دلیل انتخاب شدند که مقدار غلظت کل فلزات سنگین در آن ها بالاتر از بقیه بوده و در این مطالعه هدف این بود که مقدار بخش دسترس پذیر در نقاط آلوده تر تعیین گردند .

۳- نتایج

جدول (۱) پارامترهای تشکیل دهنده خاک در محدوده معدنی معدن سرب نخلک

نمونه	PH	TDS(mg/L)	EC	Ag (ppm)	Al (%)	As (ppm)	Ba (ppm)
۱	۹,۱۵	۳۵	۶۵	۹,۲	۴,۸	۵۲,۱	۴۲۶۷
۲	۹,۱۴	۳۰,۲	۵۷,۸	۱۳,۹	۳,۹	۴۲,۳	۵۰۱۴
۳	۸,۸۳	۷۲	۱۳۴	۱۱,۵	۳,۹	۳۱,۵	۲۱۴۸
۴	۹,۲	۳۶	۶۸	۱۱,۲	۴,۵	۲۸,۳	۲۹۹۵
۵	۹,۱۲	۴۵,۱	۸۵	۱۵,۵	۳,۸	۱۹,۰	۱۲۷۶
۶	۹,۲	۵۶,۲	۱۰۷,۲	۱۲,۰	۴,۸	۳۶,۸	۵۷۸۰
۷	۹,۰۸	۴۴,۲	۸۳,۲	۶,۷	۴,۹	۲۳,۵	۲۶۳۰
۸	۸,۸۱	۷۲,۰	۱۳۵,۰	۱۸,۴	۴,۷	۴۰,۳	۴۴۱۳
۹	۸,۹۰	۸۳,۰	۱۵۳,۰	۱۲,۱	۴,۷	۲۹,۸	۳۹۸۴
۱۰	۹,۰۳	۳۹,۵	۷۴,۵	۱۰,۳	۴,۰	۲۹,۵	۳۲۴۴

جدول شماره (۱) پارامترهای تشکیل دهنده خاک در محدوده معدنی معدن سرب نخلک را بیان میکند.بصورت طبیعی وجود فلزات سنگین در خاک به اقلیم ، سنگ مادری و فرآیندهای خاکسازی بستگی دارد) Nael, M.,2009).هوازدگی یکی از مهمترین عوامل مقادیر عناصر سنگین در خاک میباشد (کرمی و همکاران،۱۳۹۵) . pH خاک بین ۸,۸ تا ۹,۱ در نوسان میباشد و تمایل به قلیایی بودن دارد. . اسیدیته خاک نشانگری برای فرآیند های شیمیایی در حال وقوع در خاک است که در خاک در حال وقوع است.اسیدیته خاک در مقادیر مختلف سبب کاهش و یونیزه شدن کاتیون ها و آنیون ها موجود در محلول خاک می شود(خرم نژادیان و عطاپور،۱۳۹۹). پیوند مابین فلزات سنگین خاک با ذرات کلوئیدی ، تابعی از تغییرات اسیدیته و هدایت الکتریکی است(Naidu et al., 2001).

جدول (۲) پارامترهای تشکیل دهنده خاک در محدوده سد باطله معدن سرب نخلک

نمونه	PH	TDS(mg/L)	EC	Ag (ppm)	Al (%)	As (ppm)	Ba (ppm)
۱	۹,۱۵	۳۵	۹,۲	۶۵	۴,۸	۵۲,۱	۴۲۶۷
۲	۹,۱۴	۳۰,۲	۱۳,۹	۵۷,۸	۳,۹	۴۲,۳	۵۰۱۴
۳	۸,۸۳	۷۲	۱۱,۵	۱۳۴	۳,۹	۳۱,۵	۲۱۴۸
۴	۹,۲	۳۶	۱۱,۲	۶۸	۴,۵	۲۸,۳	۲۹۹۵
۵	۹,۱۲	۴۵,۱	۱۵,۵	۸۵	۳,۸	۱۹,۰	۱۲۷۶
۶	۹,۲	۵۶,۲	۱۲,۰	۱۰۷,۲	۴,۸	۳۶,۸	۵۷۸۰
۷	۹,۰۸	۴۴,۲	۶,۷	۸۳,۲	۴,۹	۲۳,۵	۲۶۳۰
۸	۸,۸۱	۷۲,۰	۱۸,۴	۱۳۵,۰	۴,۷	۴۰,۳	۴۴۱۳
۹	۸,۹۰	۸۳,۰	۱۲,۱	۱۵۳,۰	۴,۷	۲۹,۸	۳۹۸۴
۱۰	۹,۰۳	۳۹,۵	۱۰,۳	۷۴,۵	۴,۰	۲۹,۵	۳۲۴۴

جدول(۲) پارامترهای تشکیل دهنده خاک در محدوده سد باطله معـدن سرب نخلک را نشان میدهد. اسیدیته در این خاکها قلیایی میباشد . سد باطله مکانی جهت انباشت باطله های مواد معدنی میباشد(حقیر چهـره قانی و همکاران، ۸۷). سد باطله مملو از مواد سمی و خطرناک میباشد که سبب آلودگی آب و خاک میگردد.

جدول(۳) مقادیر میانگین، بیشینه، کمینه، انحراف معیار غلظت کل فلزات سنگین در محدوده معدنی و سد باطله

محدوده‌های مورد بررسی	عناصر	پوسته زمین (mg/kg)	انحراف معیار	حداکثر (mg/kg)	حداقل (mg/kg)	میانگین (mg/kg)
۱۰ ایستگاه محدوده معدنی	Sn	۲/۲	۱/۹	۹/۱	۱/۳	۴/۸
	Zn	۷۵	۱۱۴۳	۴۸۸۱	۲۶۴	۱۳۵۷
	Pb	۱۴	۴۵۱۵	۱۷۴۲۰	۱۴۰۴	۷۵۳۲
	Cd	۰/۲	۴/۱۹	۱۸/۲۲	۰/۶	۴/۴
	Mn	۹۵۰	۴۳/۵	۸۰۵	۵۷۸	۶۷۸
	Fe	۴۱۰۰۰	۲۳۸/۵	۲۹۱۵۰	۱۸۵۳۰	۲۵۴۲۰
	As	۱/۵	۱۳/۱	۶۵/۹	۱۶/۴	۳۲/۴
	Ag	۰/۰۸	۶/۸	۳۳/۷	۲/۶	۹/۸
۱۰ ایستگاه سد باطله	Sn	۲/۲	۱/۷	۶/۳	۱	۲/۹
	Zn	۷۵	۱۸۳۱	۳۰۱۱۰	۲۵۳۷	۷۵۰۰
	Pb	۱۴	۵۷۵۲	۵۳۲۴۰	۲۴۶۲	۱۰۲۴۵
	Cd	۰/۲	۲۸/۲	۱۳۶/۴	۳۱	۶۳/۳
	Mn	۹۵۰	۲۲۵/۹	۶۹۹	۳۲۲	۴۷۰
	Fe	۴۱۰۰۰	۴۳۲/۵	۹۰۴۰۵	۱۸۰۲۰	۳۸۵۱۰
	As	۱/۵	۱۸/۷	۷۴/۹	۹/۹	۲۷
	Ag	۰/۰۸	۲۲/۷	۹۹/۲	۶/۸	۲۰/۴

جدول(۳) مقادیر میانگین، بیشینه، کمینه، انحراف معیار غلظت کل فلزات سنگین در محدوده معدنی و سد باطله را نشان میدهد. بر این اساس فلزات سرب، روی، کادمیوم، آرسنیک و نقره در اکثر محدوده‌های نمونه برداری چه در سد باطله و چه در محدوده معدنی دارای غلظت بیش از حد زمینه خود در پوسته زمین هستند و پتانسیل آلوده بودن این نواحی به این فلزات را نشان می‌دهند.

جدول(٤) تجمع فلزات سنگین در گیاهان بومی منطقه

گیاهان بومی منطقه	عناصر	غلظت موجود در گیاه
کلیر	Cd	۱
	As	۲,۴
	Ag	۱,۷
	Zn	۲۹۰
	Pb	۴۲۶
خرزهره	Cd	۰,۵
	As	۰,۴
	Ag	۱۲,۸
	Zn	۲۵۱
	Pb	۲۲۰
خار شتر	Cd	۳۲,۵
	As	۴
	Ag	۰,۰۷
	Zn	۱۳۴
	Pb	۴۵

جدول شماره(۴)غلظت تجمع فلزات سنگین در گیاهان اطراف معدن نخلک را نشان میدهد. این گیاهان قابلیت جذب قابل ملاحظه‌ای از فلزات سرب، کادمیوم ، روی و آرسنیک را در خود دارند.در بین این گیاهان کلیر بیشترین میزان جذب را از خود نشان داد.

شکل(۱) مقایسه غلظت فلزات سنگین در گیاهان منطقه

شکل ۱ غلظت فلزات سنگین عمده در گیاهان منطقه را با یکدیگر مقایسه مینماید. طبق نتایج بدست آمده در جدول (۴) کادمیم، سرب و روی بیشترین تجمع را در گیاهان منطقه دارند.

جدول (۵) دسترسی زیستی فلزات سنگین در محدوده معدن سرب نخلک

ناحیه نمونه برداری	فلزات سنگین	درصد دسترسی	غلظت بخش دسترس پذیر	غلظت کل(mg/kg)
(محدوده معدنی ۱)	Cd	۳۳	۱/۸۵	۵/۸
	As	۱۹	۷/۲۲	۳۸/۴۳
	Ag	۲۳	۴/۳۳	۱۹/۷۸
	Zn	۱۱	۲۳۷	۲۱۶۱
	Pb	۶	۶۷۶	۱۱۱۲۰
(محدوده معدنی۲)	Cd	۲۹	۰/۷	۲/۶
	As	۲۲	۶/۸	۳۱/۱
	Ag	۲۰	۲/۵۶	۱۲/۸
	Zn	۱۴	۷۲	۵۱۷
	Pb	۸	۱۳۹	۱۷۴۲۰

(سد باطله۱)	Cd	۳۶	۱۱/۷	۳۲/۵
	As	۲۴	۹/۸	۴۱/۳
	Ag	۳۰	۱۵	۵۰/۷
	Zn	۱۹	۵۲۸	۲۷۸۴
	Pb	۱۰	۵۳۴۲	۵۳۴۲۰
(سد باطله۲)	Cd	۳۷	۱۲	۳۳/۹
	As	۲۷	۱۵/۹	۵۹/۲
	Ag	۲۹	۲۳	۸۲/۴
	Zn	۱۸	۹۵۲	۵۲۹۰
	Pb	۱۱	۲۵۳۳	۲۳۰۳۰
(سد باطله۳)	Cd	۳۸	۲۲/۸	۶۰/۷
	As	۲۵	۶	۲۴/۷
	Ag	۲۱	۲/۶	۱۲/۵
	Zn	۲۱	۲۵۳۲	۱۲۰۶۰
	Pb	۱۱	۸۱۲	۷۳۸۹

جدول(۵) مقادیر، غلظت کل، بخش دسترس پذیر و درصد زیستی در ایستگاه‌های مورد بررسی را بیان میکند. هم در محدوده معدنی و هم در سد باطله کمترین درصد دسترس پذیر مربوط به فلز سرب و بیشترین درصد بخش دسترس پذیر مربوط به فلز کادمیوم بود. از طرفی در سد باطله درصد بخش دسترس پذیر بیشتر به‌دست آمده که علت آن می‌تواند وجود ذرات ریز در باطله‌های معدنی باشد که در اثر فرآیند تغلیظ قابلیت انحلال و تحرک‌پذیری آنها نسبت به محدوده معدنی افزایش یافته و در نتیجه قابلیت دسترسی زیستی آنها افزایش می یابد. جهت تعیین دسترس پذیری زیستی فلزات دو نمونه در محدوده معدنی و سه نمونه در سد باطله انتخاب شد و تست دسترسی زیستی بر روی آنها اعمال گردید. این نمونه‌ها به این دلیل انتخاب شدند که مقدار غلظت کل فلزات سنگین در آن‌ها بالاتر از بقیه بوده است. . هم در محدوده معدنی و هم در سد باطله کمترین درصد دسترس پذیر مربوط به فلز سرب و بیشترین درصد بخش دسترس پذیر مربوط به فلز کادمیوم بود. کادمیم فلزی با تحرک پذیری بالا میباشد در پژوهش رخ بر و همکاران آمده است که در خاکهای قلیایی کادمیم تمایل به ته نشینی دارد که این امر بعلت تشکیل کمپلکس پایدار کربنات کادمیم است(رخ بر و همکاران،۱۳۹۶).از طرفی در سد باطله درصد بخش دسترس پذیر بیشتر به‌دست آمده که علت آن می‌تواند وجود ذرات ریز در باطله‌های معدنی باشد که در اثر فرآیند تغلیظ قابلیت انحلال و تحرک‌پذیری آنها نسبت به محدوده معدنی افزایش یافته و در نتیجه قابلیت دسترسی زیستی آنها افزایش می یابد. درتمامی نمونه ها در خاک میزان سرب بالاترین فلز بود اما در نمونه سد باطله ۲ میزان روی بیشتر بوده است.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی آلودگی ناشی از معدن سرب نخلک بر خاکهای منطقه پرداخته شده است. خاک ناحیه معدنی و سد باطله مورد آزمایش قرار گرفته است. با توجه به مقادیر بالای فلزات سنگین در خاک، این عناصر وارد زنجیره غذایی میگردند. بروی سه گونه کلیر، خرزهره و خارشتر که بومی بوده و در منطقه پراکنش قابل توجهی دارند آزمایشاتی صورت گرفت میزان تجمع در گیاه کلیر بیشتر از سایر گیاهان بوده است. دسترسی زیستی گیاهان به عناصر سنگین در ناحیه سد باطله بیشتر از ناحیه معدنی بوده است.با توجه به بررسیهای انجام شده در این پژوهش، سرب که محصول عمده این معدن میباشد کمترین قابلیت دسترسی زیستی را دارد.همچنین میتوان از گیاه کلیر برای پاکسازی گیاهی خاکهای آلوده نیز استفاده نمود.

منابع

- ادنایی, سیدمهدی؛ محمدرضا مرادی؛ حسین بیات و حسن زارع زاده مهریزی، ۱۳۹۲، معرفی گیاه خارشتر و بررسی مراحل پدیده شناختی آن در مراتع حاشیه حوض سلطان قم، همایش ملی پدافند غیر عامل در بخش کشاورزی، جزیره قشم، شرکت تعاونی علم گستران پیشتاز ایرانیان،
- آیینه حیدری, مرضیه, حجازی مهریزی, مجید, جعفری, اعظم, یوسفی فرد, مریم .(1395) .بررسی قابلیت جذب فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی در خاک‌های اطراف کارخانه زغال شویی زرند .مهندسی زراعی.15-1 ,(2)39 ,
- بابایی, فرزام, خدامی, نازنین. (۱۳۹۷). بررسی آلودگی زیست محیطی خاک‌های اطراف معدن سرب و روی مهدی‌آباد یزد .فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، انتشار آنلاین.
- حقیرچهره‌قانی, سجاد, حسین‌زاده, حجت, سمیعی فرد, رضا, علیپور, عارف .(1390) .بررسی تولید باطله خمیری درکارخانه فرآوری طلای آق دره و اثرات زیست محیطی آن .فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست.38-29 ,13(3) ,
- خادم مقدم ایگده لو, نادر, گلچین, احمد. (۱۳۹۸). ارزیابی خطر آلودگی منابع آب و خاک کشور به آرسنیک .تحقیقات آب و خاک ایران , .۱۶۱۷-۱۵۹۵50(7).

- خرم نژادیان, شهرزاد, عطاپور, مهنوش. (۱۳۹۹). اندازه گیری غلظت عنصرسنگین آرسنیک در خاک (مطالعه موردی شهرک صنعتی ابیک .(مطالعات علوم محیط زیست.5(3), 2729-2733 ,
- رخ بر مهسا، قشلاقی افشین، فرقانی گیتی. زیست دسترس پذیری و غلظت فلزات سنگین در خاک‌ها و گیاهان اطراف سد باطله معدن ایرانکوه . نشریه زمین شناسی مهندسی. ۱۳۹۶; ۱۱ (۴) :۳۶۳-۳۸۴
- سالاری، هادی. (۱۳۹۴). بررسی آلودگی زیست محیطی عناصر سنگین در خاک، آب سطحی و زیرزمینی معدن مس سرچشمه کرمان .فصلنامه زمین شناسی محیط زیست، ۹(۳۰)، ۴۳-۵۴.
- شکری, خداکرم, شبان, مجید. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر آلودگی های معدن مس بر روی خاک و گیاهان اطراف معدن مس بوانات .مطالعات علوم محیط زیست,4(4), ۲۱۰۷-۲۱۱۳.
- شمس الدین, هاشم, جلالی, وحیدرضا, جعفری, اعظم. (۱۳۹۴). ارزیابی شاخص های آلودگی زیست محیطی در اطراف کارخانه مس سرچشمه . مهندسی زراعی.(2)38 ,۳۷-۵۳.
- غضنفری مقدم, محمد صادق, اورعی, جواد. (۱۳۹۸). بررسی پراکنش عنصر مس در خاک تحت تاثیر فعالیت های معدن مس میدوک (شهربابک) فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست ,(2)21 ,۱۰۱-۱۱۰.
- فیض نیا, سادات, مختاری, احمد رضا, جعفری, محمد, قانعی بافقی, محمد جواد ,خداییان, زیبا. (۱۳۹۸). بررسی پراکنش سرب و شاخص‌های زیست محیطی آن در خاک‌های مجاور معدن سرب و روی کوشک – بافق .مرتع و آبخیزداری(2)72 ,ا.۵۱۷-۵۲۶.
- کرد, بهروز, صفی خانی, فضل الله, خادمی, امین, پورعباسی, سارا. (۱۳۹۷ .(بررسی نقش گیاهان مرتعی در پالایش خاکهای آلوده به سرب و روی اطراف معدن سرب و روی آهنگران ملایر .تحقیقات مرتع و بیابان ایران.(1)25 ,۷۸-۸۸.
- کرمی, مصطفی, ایوبی, شمس الله, خادمی, حسین. (۱۳۹۶). تأثیر نوع سنگ آذرین بر میزان غلظت عناصر سنگین خاک های حاصل از آن در منطقه قروه استان کردستان .مهندسی زراعی-87 ,(1)40 ,
- نیسی عبدالکاظم، وثوقی مهدی، محمدی بصیر، محمدی محمدجواد، نعیم آبادی ابوالفضل، هاشم زاده بایرام. گیاه پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان: یک مطالعه مروری .مجله دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه. ۱۳۹۳ ;۲) ۲): ۵۵-۶۵.
- ", John Wiley & Sons, Vol.5(2002) 301.
- Baghaie, A. H., Khademi, H. and Mohammadi, J.,2007. Geostatistical analysis of spatial variability ofLead and Nickel around two industrial factories inIsfahan province. Journal of Agriculture, sciences and Natural Resources,14(2):11-19.
- Madrid, F., Biasioli, M., Ajmone-Marsan, F. 2008. Availability and bioaccessibility of metals in fine particles of some urban soils. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 55: pp. 21-32.
- Nael, M. 2009. The effect of parent material and method formation and evolution of soils on the distribution some of major and trace elements in forest soils of Fooman-Masouleh region. P.HD. Thesis, Department of Soil Sciences, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.(in Persian with English abstract)
- Naidu, A., Cooper, L., Finney, B. et al. Organic carbon isotope ratios (δ13C) of Arctic Amerasian Continental shelf sediments. Int J Earth Sci 89, 522–532 (2000). https://doi.org/10.1007/s005310000121
- Reeve R.N.,"Introduction to environmental analysis
- Shaltout KH; Mady MA, 1996. Analysis of raudhas vegetation in central Saudi Arabia. Journal of Arid Environments, 344441-454.
- 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), 268-292.