

Investigation of Cyanide and Heavy Metals Contamination of Groundwater, Soil and Waste of Gold Industries: A Case Study of Takab Kanikaran

ABSTRACT

Background and Aim: In gold extraction factories, the waste dams are located to collect and store waste and waste materials from gold extraction factories which can be regarded as an important source of pollution to cyanide and heavy metals. In this study, cyanide, and heavy metals pollution in groundwater, soil and waste of Takab Kanikaran Gold Extraction Factories were studied.

Materials and methods: In this descriptive cross-sectional study, from 19 sampling stations, the samples were collected from piezometric wells, soil, and tailings dam around Kanikaran factory in a year. Water samples were stabilized at 4 ° C and transferred to the laboratory. Then, the heavy metals were measured in water, soil and tailings samples by atomic absorption spectrophotometry.

Results: The amount of Cyanide, Mercury, and Arsenic in water samples, in the range of (0-105), (0-83.7), and (0-120.4) mg/l, respectively. The amount of these contaminants in soil samples was in the range of (37.02-58), (0-25.6), and (27.6-420) mg/kg, respectively.

Conclusion: The result showed no significant difference in the average amount of Arsenic concentration in the water of the studied wells. But, in the case of Mercury and Cyanide, the studied wells have significant differences. Tailings samples have the highest concentration of cyanide and heavy metals which were significantly different from other samples

Keywords: Heavy metals, Cyanide, Gold Extraction, Tailings, , Tekab Kanikaran

Sakineh rostami tarzmi

PhD Student Majoring in Environmental Pollution, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Farid Gholamreza Fahimi

* Assistant Professor of Environment and Natural Resources Department, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran. (Corresponding Author): Email: fgh.fahimi@gmail.com

Reza amirnezhad

Assistant Professor of Environment and Natural Resources Department, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Aptin rahnavard

Assistant Professor of Environment and Natural Resources Department, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Ahmad Tavana

Assistant Professor of Environment and Natural Resources Department, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Received: 2022/01/31

Accepted: 2022/05/01

Document Type: Research article

► **Citation:** rostami tarzmi s, gholamreza fahimi f, amirnezhad r, rahnavard a, tavana a. Investigation of Cyanide and Heavy Metals Contamination of Groundwater, Soil and Waste of Gold Industries: A Case Study of Takab Kanikaran. *Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2022; 8(2): 182-193.

بررسی آلودگی به سیانید و فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی، خاک و پسماندهای باطله کارخانجات استحصال طلا: مطالعه موردی کارخانه کانی کاران تکاب

چکیده

زمینه و هدف: درکارخانجات استحصال طلا، سدهای باطله مکان‌هایی برای جمع‌آوری و نگهداری پساب‌ها و مواد باطله حاصل از کارخانجات استحصال طلا می‌باشند و در صورتی که کنترل و مدیریت مناسبی نداشته باشند، می‌توانند به‌عنوان منبع مهم آلودگی به سیانید و فلزات سنگین محیط باشند. در این مطالعه، آلودگی به سیانید و فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی، خاک و پسماندهای باطله کارخانه استحصال طلای کانی کاران تکاب مورد مطالعه قرارگرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی-مقطعی، نمونه‌برداری از چاه‌های پیرومتری، خاک‌های اطراف کارخانه کانی کاران و سد باطله کارخانه مذکور در یک دوره یک‌ساله (۱۹ ایستگاه نمونه‌برداری) انجام شد. نمونه‌های آب پس از تثبیت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل و فلزات سنگین درنمونه‌های آب، خاک و باطله به‌روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: میزان سیانید، جیوه و آرسنیک در نمونه‌های آب به‌ترتیب در محدوده ۰-۸۳/۷، ۰-۱۰۶ و ۰-۱۲۰/۴ میلی‌گرم درلیتر مشاهده شد. همچنین میزان این آلاینده‌ها در نمونه‌های خاک به‌ترتیب در محدوده ۵۸-۳۷/۰۲، ۲۵/۶-۰ و ۴۲۰-۲۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

نتیجه‌گیری: از نظر میزان آرسنیک تفاوت معنی‌داری در میانگین غلظت در آب چاه‌های مورد بررسی وجود نداشت، اما در خصوص جیوه و سیانید، چاه‌های مورد بررسی دارای تفاوت معنی‌داری بودند. نمونه‌های خاک مربوط به کیک باطله دارای بیشترین غلظت سیانید و فلزات سنگین بود و تفاوت معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشتند.

کلید واژه‌ها: زرشوران تکاب، سیانید، فلزات سنگین، معدن طلا.

سکینه رستمی طرزم

دانشجوی دکترای تخصصی آلودگی محیط زیست،
واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

فرید غلامرضا فهیمی

* استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد
تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران. (نویسنده
مسئول):

ایمیل: fgh.fahimi@gmail.com

رضا امیر نژاد

استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد تنکابن،
دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

احمد توانا

استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد تنکابن،
دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

آبتین راهنورد

استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد تنکابن،
دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

◀ **استناد:** رستمی طرزم س، غلامرضا فهیمی ف، امیرنژاد ر، راهنورد آ، توانا ا. بررسی آلودگی به سیانید و فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی، خاک و پسماندهای باطله کارخانجات استحصال طلا: مطالعه موردی کارخانه کانی کاران تکاب. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۱؛ ۲۸(۲): ۱۸۲-۱۹۲.

مقدمه

صنایع معدنی از عوامل مطرح در ایجاد آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد؛ به این طریق که باعث پراکنش بسیاری از فلزات سنگین در فاز آبی محیط زیست شده و به دنبال آن آلودگی را وارد زیست بوم منطقه می‌کند. توسعه صنایع با در نظر گرفتن شرایط توسعه پایدار، از پایه‌های مهم در هر کشوری می‌باشد. کارخانجات استحصال طلا یکی از صنایعی است که اگر به صورت صحیح و اصولی و مطابق با اهداف توسعه پایدار فعالیت نمایند، آلودگی‌های زیست‌محیطی بی‌شماری را در محیط زیست ایجاد خواهند نمود. در این کارخانجات، سدهای باطله مکان‌هایی برای جمع‌آوری و نگهداری پساب‌ها و مواد باطله حاصل از کارخانجات استحصال طلا می‌باشد و عدم مدیریت صحیح این سدها می‌تواند بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، بهداشت و سلامت جامعه پوشش گیاهی و جانوری منطقه و خاک منطقه اثرات نامطلوبی ایجاد نماید (۱، ۲).

از دهه‌های گذشته معدن‌کاری و استخراج فلزات، از منابع اصلی در ایجاد آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین بوده است. اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری بر روی زمین‌های اطراف می‌تواند قبل، همزمان یا بعد از آن اتفاق بیفتد و شامل: از بین رفتن پوشش گیاهی، احداث راه‌ها برای حمل و نقل، زیرساخت‌ها، مغزه‌گیری، اکتشاف، ایجاد حفرات بزرگ، توده‌های سنگ‌های باطله و سدهای باطله فرآوری، فرونشست زمین، مصرف بی‌رویه آب، تخریب یا به هم ریختگی در زیستگاه‌های طبیعی، ایجاد حرارت، ایجاد صداهای مزاحم و رهاسازی آلاینده‌های جامد، مایع و گازی شکل در اکوسیستم‌های اطراف منطقه معدنی است (۳، ۴).

از طرف دیگر سدهای باطله، مکانی برای جمع‌آوری و نگهداری پساب‌ها و مواد باطله حاصل از کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی است. عدم مدیریت صحیح این سدها نیز می‌تواند بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیرگذار باشد. مدیریت پسماند و پساب باطله، بزرگ‌ترین مسئله در حفظ محیط زیست بوده و این مسئله به خصوص در مورد کانسارهای بزرگ با عیار کم، اهمیت زیادی دارد (۵، ۶).

محلول شدن فلزات سنگین سمی در جریان معدن‌کاری و استخراج فلزات، از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی به شمار می‌آید. در این راستا ایجاد سدهای باطله ایمن جهت نگهداری پسماندها و جلوگیری از گسترش مواد آلاینده، از ارکان اصلی فرآوری مواد معدنی است. پایش آلاینده‌های زیست‌محیطی با نگرش زمین‌شناسی، روشی سودمند در مدیریت کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده و به طور مستقیم با سلامت افراد جامعه در ارتباط است. در زمینه ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ناشی از معدن‌کاری و فرآوری مواد معدنی، تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است (۳، ۶). مهم‌ترین اثرات فاز بهره‌برداری کارخانجات استحصال طلا، پسماندهای ویژه تولیدی آن است که علی‌رغم تمامی اقدامات زیست‌محیطی، امری غیرقابل اجتناب و به صورت شاخص پیامد زیست‌محیطی بالقوه منفی شدید مشخص شده است (۷).

سیانور از ترکیبات کربن و نیتروژن می‌باشد که معمولاً با طلا و نقره و برخی فلزات دیگر ترکیب می‌شود و به همین دلیل کاربرد بسیار گسترده‌ای در صنایع معدنی دارند. سیانور به راحتی در آب حل می‌شود و بلافاصله گاز اسید هیدروسیانیک یا هیدروژن سیانید تولید می‌کند که گازی سمی، خطرناک و بی‌رنگ است و بوی بادام تلخ را می‌دهد. سیانورها به شدت سمی هستند و مسمومیت آن می‌تواند از طریق خوردن، تنفس، منافذ پوستی یا تماس با چشم حاصل شود. مسمومیت با آن در یک زمان کوتاه بر روی مغز، شش‌ها و قلب اثر می‌گذارد و باعث می‌شود تا شخص مسدوم به حالت کما برود و سپس فوت کند (۸).

معدن‌کاری و فرآوری، سبب فرسایش خاک و از بین رفتن لایه سطحی و خاک حاصل‌خیز شده و نفوذ فلزات سنگین از محل باطله‌های معدنی به سفره‌های آب زیرزمینی را به همراه دارد (۹).

عبدالوهاب و ماریکار، معادن طلای عمان را به منظور ارزیابی توزیع معادن طلا در زمینه فلزات سنگین نسبت به دیگر زمینه‌های

سطحی توسط فلزات سنگین در حوضه معدنی بایامار در شمال غربی رومانی، فعالیت‌های معدنی را عامل تولید مقدار انبوهی از باطله که غنی از فلزات سنگین و سیانید (که عامل اصلی آلودگی در منطقه می‌باشد)، معرفی نمودند. ارزیابی آلودگی آب سطحی توسط فلزات سنگین، تجمع بالایی از فلزات سنگین را نشان داد که منشأ اصلی آن، شاخه‌های رود سومس با pH پایین بود که بیان‌کننده این است که معدن کاری، منشأ ورود آلودگی به آب‌های سطحی است (۱۲).

اوپیری و همکاران طی پژوهشی که به بررسی سیانید آزاد در آب‌های سطحی وزیرزمینی منطقه Bogoso پرداختند، دریافتند سیانید آزاد و سیانید کل به میزان بسیار بالاتر از استانداردهای زیست‌محیطی در پساب ورودی به محیط و آب‌های طبیعی وجود دارد (۱۳).

مطالعات متعدد فوق نشان داد یکی از اثرات این فعالیت‌های معدنی، آلودگی فلزات سنگین و سیانید در باطله‌ها، منابع آب و خاک می‌باشد. به همین منظور، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آلودگی به سیانید و فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی، خاک و پسماندهای باطله کارخانه استحصال طلای کانی کاران تکاب انجام شد.

روش کار

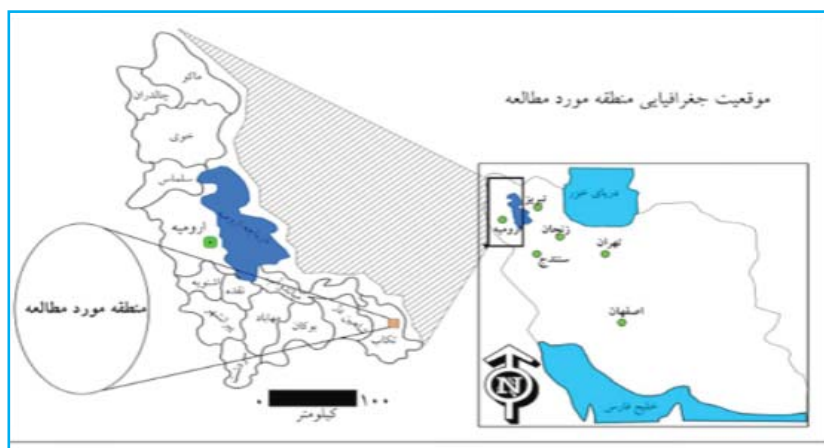
معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه زرشوران- آغدره در شمال تکاب و در فاصله حدود ۳۵ کیلومتری شمال تکاب و در اطراف معادن آرسنیک طلای زرشوران و آنتیموان - طلای آغدره قرار گرفته است (شکل ۱). به دلیل بالا بودن پتانسیل کانی‌سازی طلا، این منطقه از نظر معدنی بسیار مورد توجه است. کارخانه‌های فرآوری طلا (شرکت فرآوری آق‌دره، شرکت پیشتازان فناوری طلا و مجتمع معدنی صنعتی طلای زرشوران) در استان آذربایجان غربی در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان تکاب در منطقه زرشوران واقع شده‌اند (۱۴).

زیست‌محیطی مطالعه کردند. نمونه‌های جمع شده از حیث وجود فلزات سنگین شامل وانادیوم، کروم، منگنز، نیکل، مس، کادمیوم، کبالت، سرب، روی، آلومینیوم، استرانسیم، آهن و باریم آنالیز شدند. آب در استخر تبخیر اسیدی دارای تمرکز بالایی از آهن به علاوه مقداری ته‌نشین شده از روی، وانادیوم و آلومینیوم بود، در حالی که آب مناطق شهری مقدار تمرکز آلومینیوم را بیش از حد استاندارد جهانی سازمان بهداشت جهانی ۱ نشان داد. نمونه‌های گیاهی صحرایی در نزدیکی چاله‌های معدنی طلا، تمرکز بالایی از عناصر سنگین را داشتند (آلومینیوم، منگنز، نیکل، آهن، کروم و وانادیوم)، در حالی که نمونه‌های گیاهی مشابه کنترل شده مقدار کمتری از عناصر سنگین را به همراه داشت. آب‌های سطحی مقدار تمرکز زیادی از مس و مقدار زیادی از منگنز، نیکل، آلومینیوم، آهن، مس، روی، سرب، کبالت و کادمیوم را نشان داد. نتایج این مطالعه نشان داد که برخی عناصر سمی جذب شده توسط گیاهان، بیانگر عدم تحرک عناصر است (۱۰).

در پژوهش معانی جو و کرمی، پراکنش عناصر سنگین در اطراف معدن داشکسن به منظور مطالعه و تعیین منبع اصلی و گسترش فلزات آلوده کننده در نزدیکی معدن صورت گرفت. این معدن باعث آلودگی گسترده خاک توسط آرسنیک و عناصر معدنی سمی شامل جیوه، آنتیموان و کادمیوم شده است. نمونه‌ها به منظور تعیین مقدار جیوه، آرسنیک، کادمیوم، سرب و آنتیموان جمع‌آوری شدند. تجمع هر فلز سنگین توسط پارامترهای مختلفی (pH خاک، محتوی اکسید آلومینیوم و آهن، رس، مواد ارگانیک و ظرفیت تبادل کاتیونی بررسی شد. ماکزیمم مقدار موجود در خاک به ترتیب ۴۸۵، ۳/۲، ۱۰۰، ۲۷۱۰ و ۶۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم برای آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب و آنتیموان بود. غلظت آرسنیک، کادمیوم، جیوه و آنتیموان بیش از حد مطلوب بود. ارتباط مثبتی بین موجودات زنده و محتوای رسی در بیشتر عناصر این منطقه مشاهده شد. آنالیز فاکتور غنی‌شدگی منشأسنگی را برای فلزات سنگین این منطقه نشان داد (۱۱).

در مطالعه لوی و همکاران به منظور ارزیابی آلودگی آب‌های



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

از سنگ‌های آتشفشانی الیگومیوسن شامل گدازه‌های با ترکیب آندزیتی است. آخرین رخنمون فعالیت‌های آتشفشانی الیگومیوسن در این منطقه، گدازه‌های داسیتی و گاه به صورت ایگنمبریتی است. همچنین، رخنمون‌هایی از واحدهای مارنی و ماسه سنگی گچدار مربوط به الیگومیوسن به همراه آهک‌های سازند قم در این مجموعه حضور دارند. بر روی واحدهای آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن، تناوبی از مارن و ماسه سنگ قرمز همراه با گچ (رسوبات سازند قرمز بالایی) به طور ناهم شیب قرار گرفته است. در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه، رخنمونی از یک توده نفوذی با ترکیب میکرودیوریتی و مربوط به پلیوسن رخنمون دارد (۲) که واحدهای سنگی میزبان رادگرسان کرده است.

در بخش‌های غربی منطقه نیز گرانیت آغدره قابل مشاهده است. از نظر کانه‌زایی، واحدهای مرمری پرکامبرین در معدن زرشوران و آهک‌های الیگومیوسن در معدن آغدره، میزبان کانی‌زایی آرسنیک، آنتیموان و طلا هستند (۱۶).

۱-مرحله اول نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی: به منظور بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، تعداد ۹۶ نمونه آب از چاه‌های پی‌زومتری کارخانه کانی‌کاران تکاب، با استناد به دستورالعمل نمونه‌برداری سازمان حفاظت محیط زیست کشور جهت بررسی آلودگی به عناصر جیوه، آرسنیک و سیانید برداشت و ۲۵۴ پارامتر اندازه‌گیری شد و موقعیت جغرافیایی مکان‌های نمونه‌برداری توسط سیستم مختصات جغرافیایی تحت

منطقه مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی واقع در ۴۲ کیلومتری شمال شهر تکاب و ۱۵ کیلومتری مجموعه میراث فرهنگی و گردشگری تخت سلیمان واقع شده است. این منطقه در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. کانسار منطقه زرشوران از نظر استخراج آرسنیک در ایران شهرت دارد و در طی چند سال، از آن اریمنت ورآلگار استخراج شده است، ولی در سال‌های اخیر به عنوان منطقه امیدبخش طلا مورد اکتشاف قرار گرفته است. محدوده زرشوران تکاب در واقع محل اصلی مطالعه در این پژوهش می‌باشد (۱۵).

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه زرشوران - آغدره، متشکل از سازندهای زمین‌شناسی مربوط به پرکامبرین، ترشیری و عهد حاضر شامل مجموعه سنگ‌های دگرگونی، آذرین و رسوبی است (۲). کهن‌ترین سنگ‌های شناخته شده در این منطقه شامل: موسکویت شیست، کوارتز-کلریت - اپیدوت شیست، بیوتیت شیست و سنگ‌های اولترامافیک همراه با میان لایه‌های کوارتزیستی است که در زیر آهک و دولومیت‌های مرمری شده (مرمر جانگوتاران) رخنمون دارند. مجموعه آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن، گسترده‌ترین واحد سنگی در این منطقه بوده و شامل ردیف ضخیمی از برش و کنگلومرای آتشفشانی همراه با برش‌های هیالوکلاستی است. بخش عمده‌ای

سیستم متریک ثبت گردید. براساس هدف مطالعه و حساسیت موضوع، سعی براین شد که صرفاً از آب چاه‌های پیزومتری موجود درداخل کارخانه جهت بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی به آرسنیک، جیوه و سیانید برداشت شود. اسامی نقاط نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی در محل استقرار کارخانه کانی کاران به شرح زیرنام گذاری شده است:

۱- ایستگاه نمونه‌برداری اول: PS1، ۲- ایستگاه نمونه‌برداری دوم: PS2، ۳- ایستگاه نمونه‌برداری سوم: PS3، ۴- ایستگاه نمونه‌برداری چهارم: PS4

در شکل ۲، جانمایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آورده شده است.



شکل ۲. جانمایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

با توجه به اینکه مقایسه مقادیر آلاینده‌های مختلف با مقادیر استاندارد صورت گرفت، میزان استاندارد عناصر مورد مطالعه در آب‌های زیرزمینی و خاک براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور در جدول ۱ و همچنین مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری جهت پایش آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه به فلزات سنگین و سیانید در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. میزان استاندارد عناصر مورد مطالعه در آب و خاک

آرسنیک	جیوه	سیانید	
۰/۱	ناچیز	۰/۱	آب‌های زیرزمینی (میلی گرم بر لیتر)
۶۰	۵۵	۵	pH بیشتر از ۷
۱۷	۱۲	۵	حفاظت محیط زیست
۱۰۰	۱۰	۱۰۰	حفاظت آب‌های زیرزمینی

خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

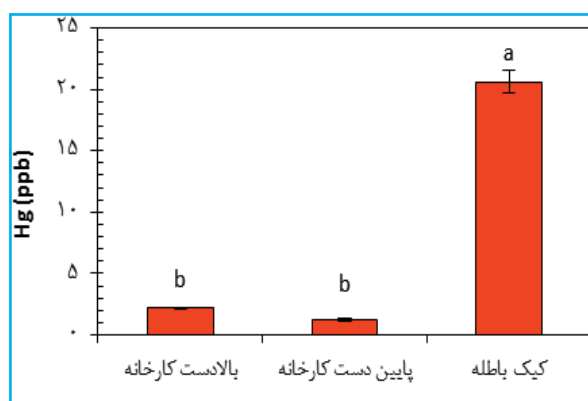
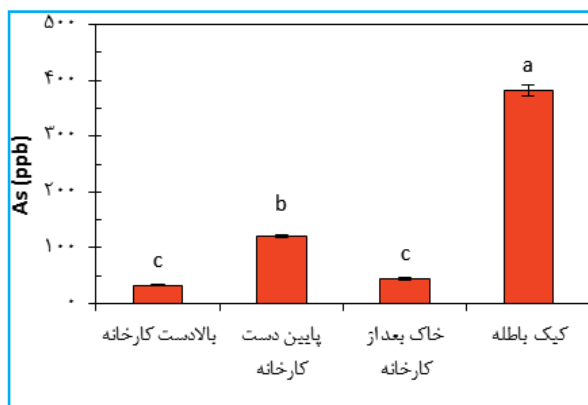
جدول ۲. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری جهت پایش آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه به فلزات سنگین و سیانید

مختصات جغرافیایی			نام ایستگاه سنجش	ردیف
عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	موقعیت مکانی		
E 47° 6' 36/87"	N 36° 37' 18/68"	چاه پیژومتريک واقع در غرب تأسیسات کارخانه در پایین‌دست حوضچه ذخیره پساب با فاصله کمتر از ۱۵ متر از آن	PS1	۱
E 47° 6' 37/84"	N 36° 37' 43/52"	چاه پیژومتريک در شمال تأسیسات	PS2	۲
E 47° 6' 49/24"	N 36° 37' 23/26"	چاه پیژومتريک در حدود ۱۶۰ متری شمال شرقی تأسیسات کارخانه و در حدود ۲۶۰ متری جنوب شرقی سد باطله موجود	PS3	۳
E 47° 6' 49/84"	N 36° 37' 18/11"	چاه پیژومتريک در حدود ۱۶۰ متری شرق (جنوب شرق) تأسیسات کارخانه (محل فیلترپرس‌ها و آبیگری لجن) و در حدود ۴۰۰ متری جنوب شرقی سد باطله موجود	PS4	۴

جهت تعیین غلظت عناصر و فلزات سنگین در نمونه‌های آب، نمونه‌ها به آزمایشگاه جهاد دانشگاهی ارومیه فرستاده شد و در آنجا توسط روش Inductively Coupled Plasma (ICP-MS) Mass Spectrometry و بادستگاه مدل 700-ES ساخت کمپانی Varian BV آنالیز گردیدند. از مزایای این سیستم امکان اندازه‌گیری همزمان چندعنصری می‌باشد که سبب افزایش دقت، صحت، تکرارپذیری خوب و سرعت بالا در آنالیز نمونه‌ها می‌شود. پلاسمای جفت شده القایی (ICP) یک سیستم آنالیز عنصری می‌باشد که نوع عملکرد آن، طیف‌بینی نشری و روش اتم‌سازی آن از طریق پلازما صورت می‌گیرد. پلازما مجموعه‌ای از الکترون‌ها و یون‌های مثبت گاز آرگن، دارای انرژی بالا و دمای در حدود ۱۰۰۰۰ درجه کلوین می‌باشد. این محیط به وسیله امواج رادیویی با توان بالا ایجاد می‌شود. این روش می‌تواند علاوه بر اندازه‌گیری عناصر کمیاب، ایزوتوپ‌ها را نیز تعیین کند. در این روش، یون‌های موجود در پلازما، از طریق یک سوراخ کوچک به داخل سیستم خلأ کشیده شده و توسط یک عدسی یونی در درون طیف‌سنج جرمی متمرکز و تعیین گردید.

۲- مرحله دوم نمونه‌برداری خاک اطراف و سد باطله کارخانه کانی کاران: جهت بررسی خاک منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی نسبت به فلزات سنگین، ۴۸ نمونه از خاک اراضی بالادست، پایین‌دست، بعد از کارخانه کانی کاران و نیز از پسماندهای تخلیه شده در سد باطله (شکل ۲)، از عمق ۳۰-۰

سانتی‌متری، توسط بیلچه پلاستیکی برداشت شده و جهت آنالیز، به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در هوای آزاد اتاق از الک ۱۰ عبور داده شدند، سپس با استفاده از هاون عقیق پودر گردیدند و دوباره از الک ۲۰۰ عبور داده شدند. در ادامه ۱ گرم از هر یک از نمونه‌های خاک وزن و در بشر پلی‌اتیلنی قرار گرفت و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک (HCL) و اسید فلوئوریدریک (HF) به میزان ۷ سی‌سی، نمونه‌ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هر کدام ۷ سی‌سی اسید نیتریک (HNO_3) و اسید کلریدریک به صورت تیزاب سلطانی (Aqua regia) اضافه گردید و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی تمام نمونه‌ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هریک از آنها و حرارت ملایم، محلولی کاملاً شفاف به دست آمد (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۶). تمام نمونه‌های به دست آمده توسط دستگاه ICP - MS مورد آنالیز قرار گرفتند. مزیت استفاده از دستگاه ICP-MS این است که قادر می‌باشد چندین فلز را به صورت همزمان اندازه‌گیری نماید (۱۱). در این پژوهش غلظت‌های سه آلایندة خطرناک شامل عنصر جیوه، آرسنیک و سیانید مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر میانگین سالانه این آلایندة‌ها در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری با استفاده از آزمون توکی مورد مقایسه آماری قرار گرفت.



نمودار ۲. مقایسه میانگین غلظت سالانه مقادیر آلاینده‌ها در نمونه‌های خاک

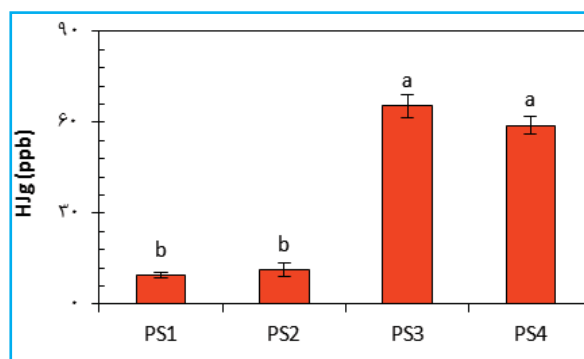
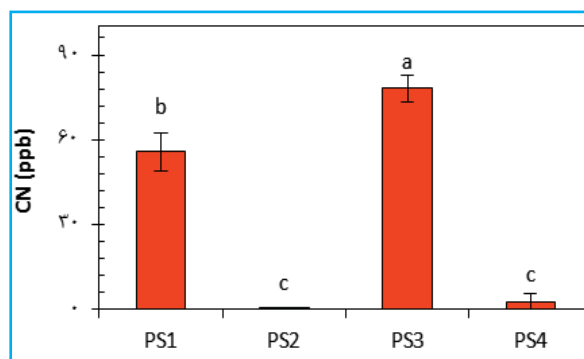
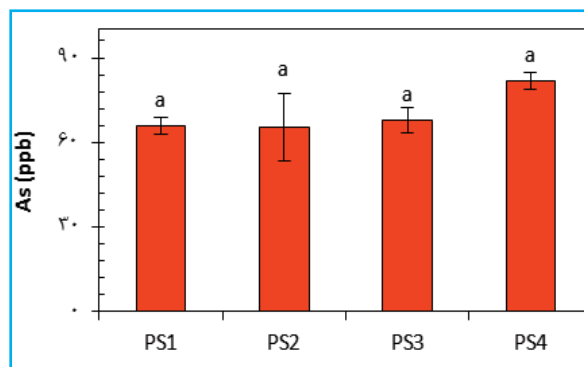
بحث

کمترین و بیشترین مقدار آرسنیک در چاه پیزومتری PS1 از ۹۹/۹ ppb تا ۶۱/۹ ppb در خرداد ماه تا ۹۴/۹ ppb در دی ماه متغیر بود. کمترین و بیشترین مقدار آرسنیک در چاه پیزومتری PS2 از ۹۹/۹ ppb تا ۶۹/۹ ppb در آبان ماه تا ۱۲۰/۴ ppb در دی ماه، چاه پیزومتری PS3 از ۹۹/۹ ppb تا ۴۴/۳ ppb در خرداد ماه تا ۹۳/۲ ppb در بهمن ماه و در چاه پیزومتری PS4 از ۵۰/۴ ppb در اردیبهشت ماه تا ۸۸/۳ ppb در بهمن ماه بود. در مجموع، غلظت میانگین آرسنیک در چاه‌های پیزومتری در فصول بهار و تابستان (۶۰/۵ ppb) کمتر از فصول پاییز و زمستان (۸۰ ppb) بود. نتایج نشان داد که میزان آرسنیک در چاه‌های پیزومتری پایین‌تر از حد استانداردهای زیست‌محیطی می‌باشد.

کمترین و بیشترین مقدار جیوه در چاه پیزومتری PS1 از ۹۹/۹ ppb تا ۸/۴ ppb در شهریور ماه تا ۱۴/۳ ppb در تیر ماه متغیر بود. کمترین

یافته‌ها

در نمودار ۱ مقایسه آماری میانگین سالانه سه آلاینده جیوه، آرسنیک و سیانید در چاه‌های پیزومتری ارائه شده‌است.



نمودار ۱. مقایسه میانگین غلظت سالانه مقادیر آلاینده‌ها در نمونه‌های آب

غلظت میانگین سالانه آرسنیک و جیوه در نمونه‌های خاک نیز مورد مقایسه آماری قرار گرفت. نتایج آن در نمودار ۲ نشان داده شده‌است.

و بیشترین مقدار جیوه در چاه پیزومتری PS2 از ۱۱/۲ ppb در مهر ماه تا ۲۳/۹ ppb در بهمن ماه، چاه پیزومتری PS3 از ۵۰/۱ در اسفند ماه تا ۸۳/۷ ppb در آبان ماه و در چاه پیزومتری PS4 از ۴۶/۳ ppb در بهمن ماه تا ۷۵/۱ ppb در خرداد ماه بود. در مجموع، غلظت میانگین جیوه در چاه‌های پیزومتری در فصول پاییز و زمستان (۳۴/۷ ppb) کمتر از فصول بهار و تابستان (۳۷/۹ ppb) بود.

کمترین و بیشترین مقدار سیانید در چاه پیزومتری PS1 از ۴۱/۳ ppb در شهریور ماه تا ۹۴/۳ ppb در فرودین ماه متغیر بود. بیشترین مقدار سیانید در چاه پیزومتری PS2، ۰/۱ ppb در بهمن ماه، چاه پیزومتری PS3 از ۵۲/۸ ppb در شهریور ماه تا ۱۰۵/۵ ppb در فروردین ماه و بیشترین مقدار در چاه پیزومتری PS4، ۳۰/۴ ppb در خرداد ماه بود. براساس بررسی‌های انجام شده در چاه‌های پیزومتری PS2 و PS4 مقدار سیانید در اکثر ماه‌ها در حد بسیار کم و ناچیز بود. میزان سیانید در حد استانداردهای زیست‌محیطی بود.

در مقایسه آماری غلظت سیانید، جیوه و آرسنیک، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری میان نتایج چاه‌های مورد بررسی از منظر غلظت آرسنیک وجود نداشت، اما در خصوص سیانید، بیشترین مقدار مربوط به چاه PS3 و پس از آن PS1 بود. مقادیر سیانید در چاه‌های PS2 و PS4 نیز کمتر از دو چاه دیگر بود و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین این دو چاه وجود نداشت. جیوه نیز بیشترین مقدار را در چاه‌های PS3 و PS4 (بدون اختلاف آماری معنی‌دار) داشت و کمترین مقدار مربوط به چاه‌های PS1 و PS2 (بدون اختلاف آماری معنی‌دار) بود.

بیشترین مقدار آرسنیک در کیک باطله بود. بیشترین مقدار آن ۴۲۰ ppm و کمترین مقدار آن ۳۵۰ ppm بود که این مقادیر بسیار بالاتر از حد تعیین شده برای حفاظت محیط زیست و آب‌های زیرزمینی تعیین شده توسط استاندارد زیست‌محیطی بود. میانگین غلظت آرسنیک در نمونه خاک باطله بالادست کارخانه ppm ۴۴/۷، پایین‌دست ppm ۱۲۰/۷ و در اطراف و بعد از کارخانه

۳۲/۵ ppm بود. حتی این مقدار از آرسنیک نیز در اطراف کارخانه از نظر استاندارد در وضعیت نامطلوبی قرار گرفته بود.

میانگین مقدار جیوه در کیک باطله ppm ۱۲/۶ و کمترین و بیشترین مقدار آن ppm ۱۶/۴ و ppm ۲۵/۶ بود. براساس استاندارد، این مقادیر بالاتر از حدود تعیین شده بودند. بر عکس آرسنیک، جیوه در نمونه‌های بالادست بیشتر از مقدار آن در نمونه‌های پایین‌دست کارخانه بود. میانگین جیوه در بالادست ppm ۲/۱ و در پایین‌دست ppm ۱/۲ بود که از این نظر در وضعیت مطلوبی قرار گرفته بود.

مقدار میانگین سیانید در نمونه‌های خاک برداشتی از سد باطله ppm ۴۷/۸ بود. کمترین و بیشترین مقدار آن نیز به ترتیب ppm ۴۱/۱ و ppm ۵۵/۱ بود. این مقدار از سیانید از نظر استاندارد حفاظت از محیط زیست و برای خاک‌هایی با شرایط بازی بالاست و در وضعیت نامطلوب قرار گرفته بود.

بیشترین مقدار غلظت آرسنیک جیوه در نمونه‌های کیک باطله بود. همچنین از نظر آماری، اختلاف آماری معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشت. در خصوص جیوه، نمونه‌های خاک پایین‌دست و بالادست کارخانه مقادیر کمی از جیوه را داشتند و این دو نیز از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در خصوص آرسنیک پس از کیک باطله، نمونه مربوط به پایین‌دست کارخانه بیشترین مقدار آرسنیک را داشت و پس از آن نمونه‌های خاک بعد از کارخانه و خاک بالادست کارخانه مقادیر کمتری از آرسنیک را داشتند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه به بررسی غلظت آرسنیک، جیوه و سیانید در آب زیرزمینی، باطله و خاک اطراف کارخانه استحصال طلای کانی‌کاران تکاب پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که وضعیت آب زیرزمینی محدوده از حیث وجود این فلزات در وضعیت مطلوبی قرار گرفته است. با این حال نمونه خاک مربوط کیک باطله محدوده مورد مطالعه در وضعیت نامطلوبی قرار داشت؛ به‌خصوص کیک‌های باطله دارای مقادیر بالایی از آرسنیک، سیانید و جیوه بودند که برای محیط زیست منطقه در

سنگین رامشخص نمایند.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی: این مقاله منتج از پایان‌نامه دکتری با کد ۱۶۲۲۸۹۸۸۹ می‌باشد. بدین وسیله از مسئولان اجرایی کارخانه کانی‌کاران و رئیس اداره حفاظت محیط زیست شهرستان تکاب و رئیس اداره هواشناسی تکاب تشکر و قدردانی می‌شود.

رده خطرناک قرار گرفته است. بنابراین غلظت این عناصر عمدتاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه می‌باشد.

بنابراین با توجه به اینکه بیشترین میزان آرسنیک، سیانید و جیوه در خاک‌های تعبیه شده در سد باطله بود، این محدوده نیازمند پالایش مطابق با راهبردهای کیفی خاک و آب می‌باشد. همچنین پایش منظم میزان غنای فلزات سمی به منظور کنترل انتشارات صنعتی در منطقه ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه استقرار صنایع استحصال طلا منجر به افزایش غلظت انواع فلزات سنگین و سیانید را در منطقه در پی خواهد داشت لذا پیشنهاد می‌گردد نسبت به ایزوله سازی سد باطله و نیز حوضچه جمع آوری پسابهای آلوده اقدام لازم صورت پذیرد. جوانب احتمالی آلودگی با سایر فلزات

References

1. Abiya S, Odiyi B, Ologundudu F, Akinnifesi O, Akadiri S. 2018. Assessment of heavy metal pollution in a gold mining site in Southwestern Nigeria. *Journal of Genetics and Cell Biology*. 1(2):30-5.
2. Cesar R, Arruda F, Ramiro V., Faria R, Barcelos D, Pontes F. 2021. Deposition of gold mining tailings in tropical soils: metal pollution and toxicity to earthworms. *Journal of Soils and Sediments*. pp: 1-12.
3. Ahmadi S, Jahanshahi R, Moeini V, Mali S. 2018. Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area. *Iran. Environmental earth sciences*. 77(5):1-13.
4. Gerson JR, Topp SN, Vega CM, Gardner JR, Yang X, Fernandez LE. 2020. Artificial lake expansion amplifies mercury pollution from gold mining. *Science advances*. 6(48):eabd4953.
5. Amoakwah E, Ahsan S, Rahman MA, Asamoah E, Essumang D, 2020. Assessment of heavy metal pollution of soil-water-vegetative ecosystems associated with artisanal gold mining. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 29(7):788-803.
6. Ghafouri L, Darabi H, Rahmati S. 2021. Sources and ecological risk mapping of trace elements in multi-contaminated soils of gold mine employing GIS methods-Muthe Gold Mine. *Iran*.
7. N'Guessan AK, Kamelan MT, Zéré G. 2021. Clandestine gold mining and pollution risks of sediments from Bagoue river (Niger watershed. *Cote d'Ivoire*).
8. Zhang C, Wang X, Jiang S, Zhou M, Li F, Bi X. 2021. Heavy metal pollution caused by cyanide gold leaching: a case study of gold tailings in central China. *Environmental Science and Pollution Research*. pp:1-10.
9. Saedpanah S, Amanollahi J. 2019. Environmental pollution and geo-ecological risk assessment of the Qhorveh mining area in western Iran. *Environmental Pollution*. 253:811-20.
10. Abdul-Wahab S, Marikar F. 2021. The environmental impact of gold mines: pollution by heavy metals. *Open engineering*. 2(2):304-13.
11. Maani Joo M, Karami M. 2021. Study of scattering of a number of heavy metals in the soils around Dashksen village (Qorveh, Kurdistan province). *iran. Bi-Quarterly Journal of Applied Sedimentology*. 9 (17). (in persian)
12. Levei EA, Frentiu T, Ponta M, Senila M, Moldovan OT. 2015. Assessment of pollutants input of acid mine drainage and domestic activities in Aries River water. *Romania-a chemometric approach. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*. 14(11).
13. Obiri S, Doodoo D, Okai-Sam F. 2007. Essumang D. Determination of free cyanide and total cyanide concentrations in surface and underground waters in Bogoso and its surrounding areas in Ghana. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*. 21(2):213-20.
14. Hosseini Nejad S, Razmara M. 2018. Investigation of mercury pollution in surface waters of Zarshuran-Takab gold mine. *First International Conference on Biology and Earth Sciences*. Hamedan. <https://civilica.com/doc/903390> (in persian)
15. Abbasi B, Maleki R, Pir Kharati H. 2017. Study of the effect of mining and gold mining on the level of water pollution with arsenic and mercury in Zarshuran Takab region. *Journal of Environmental Geology*. 11 (40): 39-48. (in persian)

16. Mousavi S, and Mokhtari M, Khosravi Y, Rafiei A, Hosseinzadeh R. 2018. Investigation of environmental pollution of canal sediments with heavy elements in Zarshuran-Aghdareh region (north of Takab). Water and Soil Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)(in persian).
17. Yari S, Hashemzadeh MR. 2019. Determining the level of arsenic pollution in Zarshuran mine in Takab city and presenting solutions based on ecological purification of the region. 2nd International Congress on Agricultural and Environmental Development with emphasis on UNDP. Tehran. <https://civilica.com/doc/950557> (in persian).
18. Nabais JV, Carrott PJM, Ribeiro Carrott MML. 2006. Belchior M. Boavid D. Diall T. Gulyurtlu I. Applied Surface. 252(2006) 6046-6052.
19. Ranganathan K. 2003. Carbon. 41: 1087-1092.
20. Bagheri H, Naderi M. 2009. Hazardous Materials. 165: 353-358.
21. Sharma P. Dubey R. S. Plant physiol. 17 (2005) 35-52.
22. Davoodi M, Forghani Tehrani G. 2012. Environmental Study of Mineral Waste. 30th Earth Sciences Conference. Tehran (in persian).
23. Azami J, Bahramifar N. 2017. Relationship between cyanide content and height, depth and distance from Moteh Gold Complex in soil and water of Moteh Wildlife Sanctuary. Isfahan. Environmental Science and Technology. 20 (1 (Series 76)), 81-91. (in persian)