دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال چهاردهم، شماره‌ی ۵۲
زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۸-۱

ارزیابی اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنکاری و بررسی راهکارهای مقابله با آن

سمیه بهارلوئی
گروه زمین شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
Email: So.Baharluei@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰

چکیده

فعالیت‌های معدنی منجر به تولید مقادیر زیادی باطله‌های فلزات سنگین از جمله سرب، روی، آرسنیک، کادمیم و نیکل می‌شوند که غلظت‌های بالاتر از استانداردهای تعیین شده برای آن، اثرات زیان آوری بر محیط زیست و عملکرد طبیعی سیستم‌ها و ارگانیزم‌های محل تجمع این عناصر خواهد داشت. یکی از عمده نتایج مخرب این فعالیت‌ها، آلوده شدن سفره‌های آب زیرزمینی به واسطه انباشت باطله‌ها است. در صورتیکه باطله ها به درستی کنترل و مدیریت نشوند، مواد مضر آن‌ها وارد آب‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی شده و منطقه را آلوده می‌سازند. در سال های اخیر، استفاده از دستاوردهای بیوتکنولوژی به ویژه میکروارگانیسم‌ها به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد به منظور حذف فلزات سنگین و ترکیبات آن‌ها و کاهش آلودگی بسیار راهگشا بوده است. بر حسب میزان آلودگی ممکن است ظرفیت پلاسمیدی یا ساختار سلولی این میکروارگانیسم‌ها تغییر یابد تا آن جایی که قدرت تحمل غلظت های بالاتر ترکیبات سمی و فلزات سنگین را داشته باشند و به عبارت دیگر با غلظت‌های بالاتر نیز سازگاری پیدا کنند.

کلیدواژه: اثرات زیست محیطی، فعالیت‌های معدنکاری، راهکارهای مقابله‌ای.

مقدمه

افزایش جمعیت شهرنشینی و صنعتی‌شدن منجر به تولید مقادیر زیادی آلاینده‌های سمّی و اثر سوء آن بر محیط زیست در سراسر جهان شده است. برخی از این آلاینده‌ها به طور طبیعی رخ می‌دهند، اما منابع انسانی به ویژه فعالیت‌های معدنی به طور قابل توجهی به افزایش آن‌ها کمک کرده‌اند. اگرچه معدنکاری مزایای اجتماعی و اقتصادی فراوانی برای ملت‌ها به ارمغان می‌آورد، ولی اثرات مخرب دراز مدت آن بر محیط زیست و سلامت عمومی را نمی توان نادیده گرفت. فعالیت‌های معدنی می‌توانند منجر به تولید مقادیر زیادی باطله های فلزات سنگین شوند که به روش کنترل نشده آزاد شده و موجب آلودگی گسترده‌ی اکوسیستم می‌شوند. برخی فلزات سنگین برای فرآیندهای فیزیولوژیکی زندگی مهم و ضروری هستند اما غلظت‌های بالاتر از استانداردهای تعیین شده برای آن، اثرات زیان آوری بر سلامت انسان و جانوران خواهد داشت و حذف این ترکیبات مطابق استانداردها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است [۱]. به طوری که، سرمایه گذاری‌های عظیم و ارائه و اجرای طرح‌های جدید برای حل یا کاهش سریع این مشکل در کشورهای پیشرفته، خود گویای این توجه و نگرانی است. روش‌های مختلفی از جمله استفاده از مکانیسم فیلتراسیون، اسمز معکوس و اکسیداسیون و احیاء به منظور حذف زیستی این ترکیبات از محیط زیست وجود دارد اما یکی از کارآمدترین این روش‌ها، روش تصفیه بیولوژیکی است. این روش به دلیل توانایی اثبات شده گروهی از میکروارگانیسم‌ها در تجزیه فلزات سنگین و ترکیبات آن، در بسیاری از موارد نسبت به سایر روش‌های تصفیه برتر است [۲]. در این مطالعه هدف بر این است که ابتدا به بررسی شرایط و نحوه تولید سایت‌های آلوده در حوزه معدنکاری بپردازیم و سپس راهکارهای مقابله با کاهش این آلودگی زیستی را مورد ارزیابی قرار دهیم.

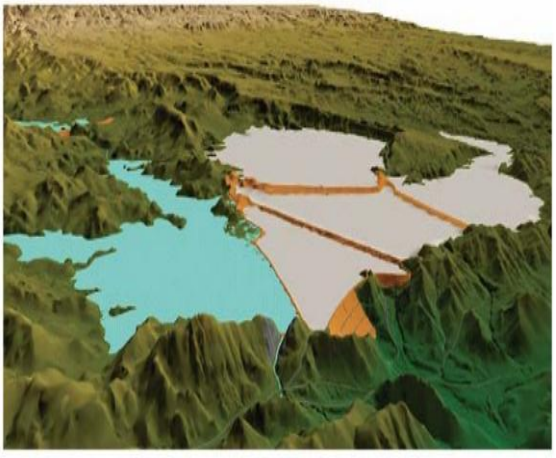
مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی نقش فعالیت‌های معدنکاری خصوصا دپوها و استخرهای باطله در تولید سایت‌های آلوده و آزادسازی فلزات سنگین در محیط آب و خاک و همچنین ارزیابی راهکارهای کاهش آلودگی زیست محیطی، مروری بر کارهای انجام شده قبلی به صورت مطالعات کتابخانه‌ای انجام و تازه‌ترین دستاوردها جهت مقابله با آلودگی‌های زیستی ناشی از فعالیت‌های معدنی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت که نهایتا نتایج آن به صورت یک مقاله مروری گردآوری شد.

یافته‌ها و بحث

همواره یک پروژه معدنی اثرات متعددی بر روی محیط زیست اطراف می‌گذارد که این اثرات شامل اثرات بر محیط فیزیکی، محیط بیولوژیکی، محیط اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی است. از آثار زیست محیطی بر محیط فیزیکی می توان اثرات آن بر اقلیم و کیفیت هوا، اثر روی آب، اثر بر خاک و صدا و از آثار بیولوژیکی، اثر بر گیاهان و جانوران را نام برد. بر اساس نوع روش معدنکاری و استخراج (روباز یا زیرزمینی) ممکن است هر یک از این آثار در شدت کم یا زیاد بر آلودگی محیط زیست مؤثر باشند. در تمامی فعالیت های معدنی، ماده معدنی از زمین جدا شده که این عمل مستقیما بر محیط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تأثیر خواهد داشت. یکی از عمده نتایج مخرب این فعالیت‌ها، آلوده کردن سفره‌های آب زیرزمینی به واسطه انباشت باطله‌ها ست. در فعالیت‌های معدنی، سنگ‌های یک منطقه استخراج و با خارج کردن مواد معدنی با ارزش از سنگ، مواد باقی مانده در سنگ، مواد زائد یا باطله‌هایی هستند که معمولا در محل های کم و بیش نزدیک به محل فعالیت‌های معدنی انباشته می‌شوند. سد باطله یک ساختار طراحی شده، برای نگه داشتن مواد باطله و آب حاصل از معدنکاری است [۳]. که از ذرات ریز سنگ‌های خارج شده از مرحله تغلیظ حاصل شده‌اند و پتانسیل آلودگی بسیار بالایی دارند. بسیاری از باطله های معدنی سمی بوده و به طور خطرناکی تأثیر مستقیم و غیر مستقیم بر محیط زیست می‌گذارند که یکی از اثرات دراز مدت در مناطق معدنی، افزایش تمرکز فلزات سنگین در مناطق انباشت باطله‌ها و در نتیجه تأثیر بر رژیم

هیدروژئولوژیکی منطقه می‌باشد. در صورتیکه باطله‌ها به درستی کنترل نشوند و یا مدیریت صحیحی روی آن ها اعمال نشود، مواد مضر آن ها وارد آب‌های درون باطله‌ها شده و در نتیجه سفره‌های آب زیرزمینی منطقه را آلوده می‌سازند. ایجاد شرایط نامطلوب نظیر رهاسازی دپوهای باطله در حریم آبراهه‌های اصلی سبب آلودگی زیاد در آب‌های سطحی و نیز لایه‌های سطحی خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود که این امر به ویژه در مواقع بارندگی تشدید و نمود بیش‌تری پیدا می‌کند زیرا حجم زیادی از این مواد به قسمت‌های پایین‌تر انتقال می‌یابد. به نظر می‌رسد ضرایب تغییرات فلزات سنگینی (CV) که با منابع طبیعی کنترل می‌شوند، تقریبا کم است در حالی که برای فلزات سنگین متأثر از منابع انسانی، این ضرایب زیاد است [۴]. بنابراین طبق مطالعات سهرابی زاده و همکاران [۵]، تغییرات آهن با منابع طبیعی در ارتباط است در حالیکه مس، کادمیم، منگنز، سرب و روی متأثر از فعالیت انسانی اند، به طوری که در مطالعه‌ای که در معدن سونگون توسط واعظی و سعد آباد [۶]، صورت گرفت نیز، غلظت فلز آهن در تمامی ایستگاه‌ها پایین و آنومالی‌های مشاهده شده در ایستگاه‌ها حاکی از زمین زاد بودن آن‌ها (سنگ‌های آذرین منطقه) بوده است. می‌توان گفت عموما مواد باطله‌ای که در اطراف معادن انباشته می‌شوند حاوی مواد واکنش دهنده‌ای هستند که تمایل به اکسید شدن در حضور اکسیژن، آزاد سازی فلزات سمی و تولید اسید را دارند و همه این موارد، منبعی از مواد آلاینده برای محیط زیست از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه قلمداد می‌شوند. در بررسی آلودگی آب زیر زمینی مربوط به سد باطله معدن مس در کشور عمان که توسط شارما [۷] انجام شده، ابر آلودگی تا فاصله ۱۴ کیلومتر پایین‌تر از سد باطله حرکت داشته است، در حالی که در پشت این سد باطله بدون پوشش ۱۱ میلیون تن باطله سولفیدی و ۵ میلیون متر مکعب آب دریا که برای معدنکاری استفاده می‌شد، قرار دارد. در زیر، برای نمونه تصویری از سد باطله مربوط به معدن مس سرچشمه (شکل ۱- الف) و معدن مس سونگون (شکل ۱- ب) آورده شده است.



الف

ب

شکل ۱: تصویری از سد باطله معدن مس سرچشمه (الف) [۸]، سد باطله معدن سونگون (ب) که علائم قرمز و آبی رنگ معرف گمانه‌های مطالعاتی می باشند [۶]

سدهای نگهدارنده پساب به منظور حفاظت از محیط زیست در مقابل پخش گسترده مواد زائد حاصل از استخراج معادن و همچنین نگهداری از منابع ارزشمند آب ساخته می‌شوند.

با توجه به تولید پساب‌های مختلف در حین عملیات کارخانه های تغلیظ که آلودگی‌های زیست محیطی فراوانی همچون انواع مواد شیمیایی با pH نامناسب، یون‌های فلزات سمی و ذرات ریز معلق دارند، طراحی سدهای باطله به جهت کنترل آلودگی ناشی از باطله‌ها و حفاظت از متابولیسم طبیعی امری حیاتی است.

در این خصوص، در معادن خاصه معادن روباز با حجم وسیعی از باطله‌ها، طراحی سدهای باطله اهمیت بسیاری دارد. از جهتی دیگر، پساب‌های کارخانه‌های فرآوری، عناصر سمی زیادی را با خود به داخل سد باطله حمل می‌کنند و در صورتی که سدهای باطله پایداری لازم را در طراحی نداشته باشند باعث نفوذ عناصر سمی به داخل آب‌های زیرزمینی می‌شوند [۸].

فلزات سنگین به دلیل پایداری و تجزیه ناپذیری و همچنین مشکلات دسترس پذیری زیستی از آلاینده‌های مهم و خطرناک محیط زیست محسوب می‌شوند.

بر اساس فرایندهای هیدرودینامیکی و زیست زمین شیمیایی و شرایط زیست محیطی (pH، شوری و دما)، رسوبات به عنوان مصرفگاه مهم فلزات سنگین در سامانه‌های آبی شناخته شده‌اند، ولی با تغییر در شیمی رسوبات می‌توانند فلزات و آلاینده‌ها را به آب روی رسوب خود انتقال دهند و با تحرک دوباره آلاینده‌ها در بوم سامانه، به عنوان منبع آلودگی عمل کنند [۹].

به همین دلیل تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات برای ارزیابی کیفیت محیط زیست ضروری است. در مطالعه ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین و نحوه توزیع آن‌ها در رسوبات منطقه، عموما شاخص‌های آلودگی نظیر ضریب آلودگی، شاخص بار آلودگی، عامل غنی شدگی و شاخص زمین انباشتگی محاسبه می‌گردد.

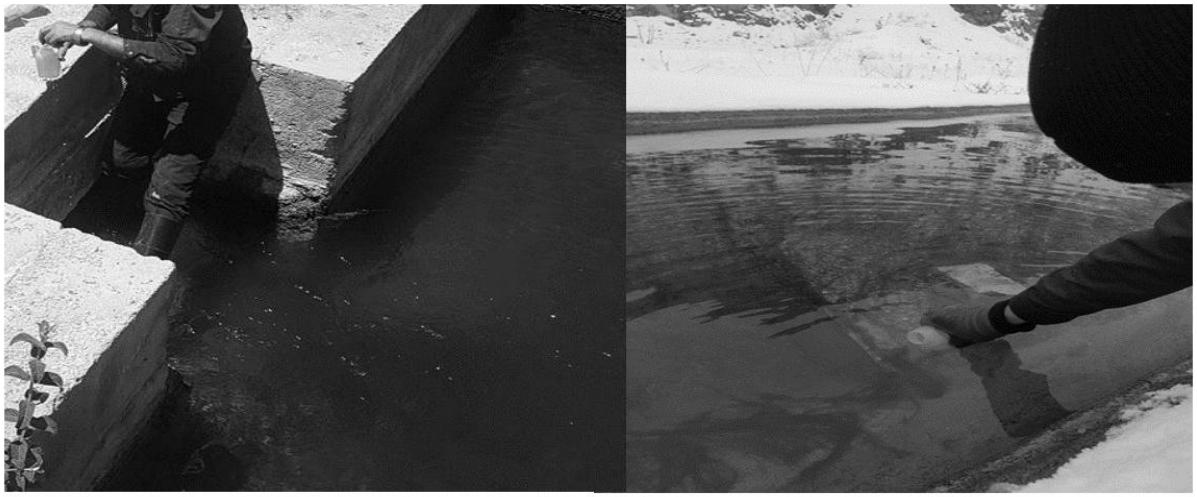
جهت نمونه‌برداری عموما نمونه‌ها از رسوبات منتهی به سد باطله برداشت می‌شود. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلن ریخته و مهر و موم می شوند.

از آن جایی که کانی‌های رسی توانایی زیادتری در جذب عناصر سنگین دارند، پس از اطمینان از خشک شدن نمونه‌ها و همگن سازی، ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میلی‌متر با الک جدا شده و سپس به روش ICP-MS مورد تجزیه ژئوشیمیایی قرار می‌گیرند.

در شکل ۲ تصویری از ایستگاه نمونه برداری از مسیر جریان زهاب اسیدی در معدن مس سونگون آورده شده است. در تحقیق انجام شده توسط شایسته‌فر و رضایی [۸]، در معدن مس سرچشمه، که در آن شاخص‌های آلودگی از جمله فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشتگی محاسبه شده، آلودگی‌ها به طور واضحی به زهاب اسیدی معدن و باطله‌های حاصل از کارخانه فرآوری و ذوب ارتباط داده شده است.

در بررسی‌های صورت گرفته، ضریب آلودگی برای فلزات آهن، سرب، منگنز، روی، مولیبدن و مس بالاتر از یک گزارش شده است که نشان دهنده غلظت‌های بالای این فلزات و تأثیر عوامل انسانی علاوه بر عوامل طبیعی بر غلظت این فلزات می‌باشد.

از عوامل انسانی موجود در منطقه از یک سو، به ورودی پساب کارخانه تغلیظ و زهاب اسیدی معدن و از سویی دیگر، به رهاسازی مقادیر زیادی خرده سنگ و باطله در بستر آبراهه اشاره شده است که در نتیجه آن، این سنگ ها با کاهش شیب آبراهه، امکان نفوذ را افزایش داده و بالطبع هوازدگی شیمیایی در سنگ به تولید زهاب اسیدی و افزایش مقدار فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی بستر آبراهه‌ها منجر شده است.



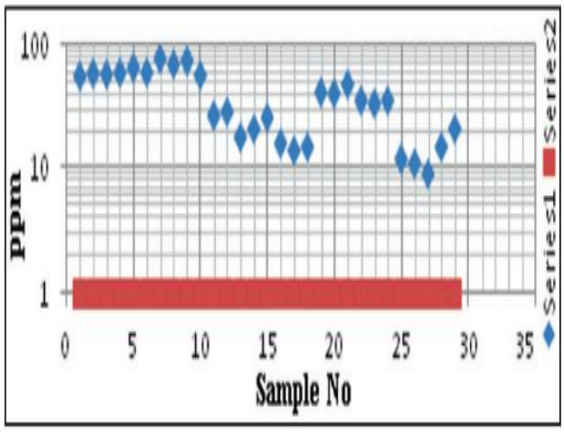
شکل ۲: ایستگاه نمونه برداری از مسیر جریان زهاب اسیدی معدن سونگون [۱۰]

در مطالعه‌ای که شریعتی و همکاران [۱۱]، بر روی میزان آلایندگی ناشی از صنایع معدنی و فرآوری کانسار سرب و روی انگوران انجام داده‌اند، بررسی‌ها نشان می‌دهد که محیط زیست این منطقه بیش‌ترین تأثیرات منفی خود را از انباشت باطله‌ها و پسماندهایی دریافت می کند که با عنوان کیک در حاشیه رودها و آبراهه و زمین‌های باز (به طور عمده زراعی) رها می‌شوند. این کیک‌ها که در حقیقت پسماندهای حاصل از عملیات فلوتاسیون و ذوب روی و سرب و فرایند تولید کنسانتره هستند، شاید از نظر صنعتی بیش‌تر سرب و روی خود را از دست داده‌اند اما از دیدگاه زیست محیطی چندین برابر حد مجاز، سرب و روی و دیگر عناصر بالقوه سمی را در خود دارند. میزان این عناصر در برخی نمونه‌ها تا بیش از ۱۰۰۰۰ پی پی ام سرب، روی و نیکل، بیش از ۸۰۰۰ پی پی ام آرسنیک و ۴۰۰۰ پی پی ام کادمیم گزارش شده است.

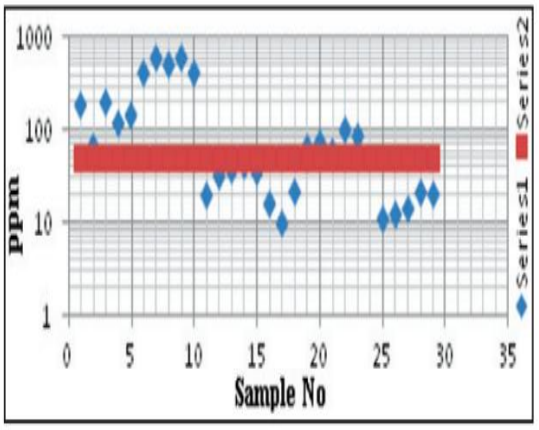
ایشان بر این باورند که استخرهای باطله و یا استخرهای تجمع پساب یکی دیگر از اصلی‌ترین عوامل ایجاد خطر برای محیط زیست منطقه به شمار می‌روند و به نظر می‌رسد بیش‌ترین بازتاب این بی هنجاری‌ها در رسوبات و آب منطقه به چشم می‌خورد اما خاک کشاورزی نیز از این آلودگی‌ها متأثر شده و بی هنجاری‌های عمده ای از نظر زیست محیطی در خود جای داده است.

شکل ۳- الف تا د، میزان اختلاف نمونه‌های برداشت شده از خاک منطقه را با استاندارد EPA نشان می‌دهد. این نمودارها نشان می‌دهند که حد میانگین عناصر سرب، روی، کادمیم و آرسنیک چندین برابر استاندارد حد مجاز عناصر در خاک هستند. نمودارهای شکل ۴- الف تا د، نیز مقایسه نمونه آب‌های برداشت شده از منطقه با استانداردهای جهانی را نشان می‌دهد. بر طبق این نتایج، آب های آشامیدنی و کشاورزی جاری در منطقه بسیار بیش‌تر از حد مجاز توصیه شده در استانداردهای جهانی زیست محیطی، به عناصر سرب، روی، آرسنیک و کادمیم آلوده‌اند که این امر بیانگر انتقال آلاینده‌ها از کیک‌ها و پساب‌های صنعتی و معدنی به منطقه هستند.

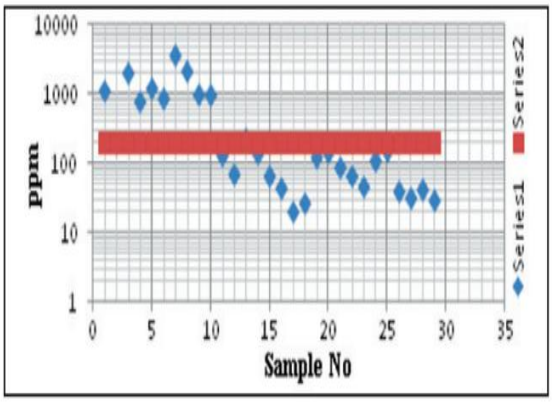
اثرات نامطلوب فلزات سنگین به ویژه آرسنیک، سرب و کادمیوم بر انسان به خوبی شناخته شده است، بنابراین وجود آن ها در درازمدت باعث اختلالات شدید در عملکرد طبیعی سیستم ها و ارگانیزم های محل تجمع عناصر می‌شود [۱۲].



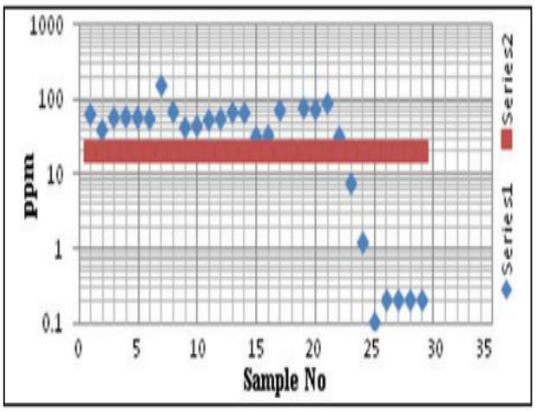
ب



الف

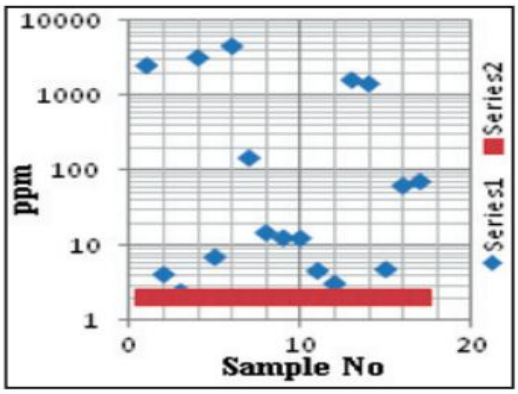


د

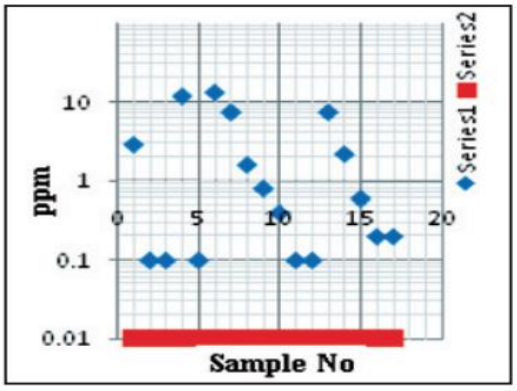


ج

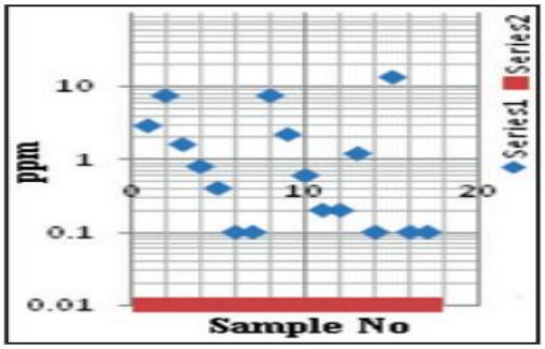
شکل ۳: نمودار میزان عناصر سرب (الف)، کادمیم(ب)، آرسنیک (ج) و روی (د)، در خاک‌های منطقه ماه نشان، معدن انگوران و مقایسه با استاندارد EPA [۱۱]



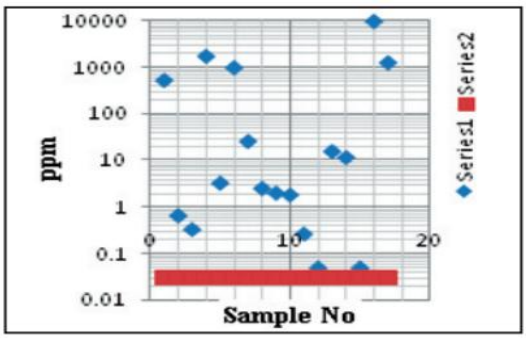
ب



الف



ج



د

شکل ۴: مقایسه میزان میانگین سرب (الف)، روی (ب)، آرسنیک (ج) و کادمیم (د) آب آشامیدنی و کشاورزی منطقه ماه نشان، معدن انگوران با کم‌ترین استاندارد بین المللی [۱۱]

پساب اسیدی معدن بدون شک ناهنجارترین مشکل محیط زیستی است که در معادن سولفیدی فلزی به دلیل حجم بالای باطله‌های سولفیدی و ایجاد شرایط مناسب برای اکسایش این کانی‌ها، امکان تولید آن وجود دارد [۱۳]. خاصیت اسیدی حاصل از زهاب اسیدی (AMD) موجب افزایش غلظت فلزهای سنگین شده و اثر سمی و مخرب آن ها را تشدید می کند. آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب، نیکل، منگنز، مولیبدنیوم، سلنیوم، از کاتیون‌هایی هستند که به طور معمول در این زهاب‌ها حضور دارند. آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و رسوبات از جمله محیط‌های میزبان زهاب‌ها می باشند [۱۴].

تأثیر زهاب‌های اسیدی معدن می‌تواند به طور نامحدود در زمان فعالیت یک معدن و یا حتی سال ها پس از پایان عملیات معدنکاری وجود داشته باشد، زیرا فرآیندهای تشکیل آن آتوکاتالیستی است و به محض وقوع در مقیاس بزرگ نمی توان جلوی آن را گرفت [۱۵] و این امر نیاز به سیستم تصفیه زهاب اسیدی را تایید می‌نماید.

هر چند تکنولوژی‌های مرسوم فیزیکوشیمیایی مثل ته نشینی، فیلتراسیون، اسمز معکوس، اکسیداسیون احیاء و جداسازی توسط غشاء، برای برداشت آلودگی‌های عمده فلزی از پساب‌های صنعتی مناسب بوده، اما به دلیل عدم کاهش غلظت‌های فلزات سنگین به حد استانداردهای قانونی، هزینه زیاد تشکیل مواد حد واسط سمی، مشکلات در جمع آوری پساب‌های جامد تولید شده، مورد چندان مناسبی نمی‌باشند [۱۶] از این رو در سال‌های اخیر دستاوردهای بیوتکنولوژی و استفاده از میکروارگانیسم‌ها به عنوان یک ابزار متفاوت، به منظور حذف فلزات سنگین و ترکیبات آن‌ها به مقدار زیادی مورد توجه قرار گرفته است [۱۷]. جذب زیستی روشی ساده و کم هزینه است که طی واکنش‌های تعادلی و از طریق باند کردن و جذب فلزات روی گروه‌های عاملی سطح سلول، فلزات را از محیط استخراج می کنند [۱۸].

باکتری‌ها زمانی که برای مدت طولانی در شرایط غیر طبیعی از نظر عوامل محیطی قرار می‌گیرند، از طریق توانایی‌های جدیدی که می‌توانند منشأ ژنتیکی و یا ساختاری داشته باشند، خود را با شرایط موجود وفق می‌دهند [۱۹].

بر حسب میزان آلودگی ممکن است ظرفیت پلاسمیدی یا ساختار سلولی آن‌ها تغییر یابد تا آن جایی که قدرت تحمل غلظت‌های بالاتر ترکیبات سمی را داشته باشند و به عبارت دیگر با غلظت‌های بالاتر نیز سازگاری پیدا کنند.

از دیگر راهکارهای کاهش آلودگی محیط زیست، می‌توان به تعیین شبکه جریان آب‌های زیرزمینی در نزدیکی محل استقرار سازه، اشاره داشت که در آن جا احتمال ورود

محلول‌های مضر به آب های زیرزمینی وجود دارد و ضروری است محل هایی انتخاب گردد که شرایط هیدروژئولوژیکی در آن حداقل پتانسیل آلودگی را دارا باشد و نهایتا از روش هایی همچون گیاه پالایی نیز می‌توان جهت کاهش آلودگی های ناشی از سدهای باطله، استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

نمودارهای مربوط به غلظت فلزات سنگین همچون؛ سرب، روی، آرسنیک، کادمیم و نیکل در نمونه‌های برداشت شده از آب آشامیدنی، کشاورزی و نمونه خاک نزدیک به اماکن فعال معدنی، میزان غلظت این فلزات را نسبت به استانداردهای جهانی زیست محیطی بسیار بالاتر نشان می دهد که این امر بیانگر انتقال آلاینده‌ها از کیک‌ها و پساب های صنعتی و معدنی به آب و خاک منطقه است.

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، تخمین دقیق شبکه جریان آب‌های زیرزمینی و انتخاب مکانی با حداقل ریسک آلودگی برای دپوها و سدهای باطله، از جمله موارد بسیار ضروری برای کاهش میزان آلودگی زیست محیطی است.

از آن جایی که بخش عمده‌ای از آلودگی محیط زیست مرتبط با فعالیت‌های معدنی است، حتی الامکان سعی شود روش‌های استخراجی که کم‌ترین آسیب را به محیط زیست خصوصا سفره‌های آب زیر زمینی وارد می‌کنند، جهت استخراج مواد معدنی به کار گرفته شوند.

منابع

[1] Alluri, H.K., 2007, Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. African Journal of Biotechnology. Vol. 6, No. 25, PP. 2924-2931.

[2] Iddou, A. and Oualib, M.S., 2008, Waste- activated sludge (WAS) as Cr (III) sorbent biosolid from wastewater effluent. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 66: 240- 245.

[3] Jantzer, I., Bjelkevik, A., Pousette, K., 2005, Material properties if tailings from Swedish mine.

[4] Yongming, H., Peixuan, D, Junji, C., Posmentier, E. S., 2006, Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of xi'an, central China, science of the total Environment, Vol 355 (1-3):176-186.

[۵] سهرابی‌زاده، ز.، سودایی‌زاده، ح.، حکیم‌زاده، م.، ع.، تقی‌زاده مهرجردی، ر.، قانعی بافقی، م.، ج.، ۱۳۹۹، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک های پیرامون معدن سرب و روی کوشک بافق با استفاده از شاخص‌های آلودگی و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره۱، ص ۱۵-۳۴.

[۶] واعظی هیر، ع.، جودت سعد آباد، ی.، ۱۳۹۶، بررسی احتمال نشت آلاینده از تکیه‌گاه‌های سد باطله معدن مس سونگون با استفاده از خصوصیات ژئوتکنیک و شواهد هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۷، شماره ۳، ص ۱۰۵-۱۱۳.

[7] Sharma, RS., Al-busaidi, TS., 2001, Groundwater pollution due to a tailings dam, Engineering Geology.

[۸] شایسته فر، م.، ر.، رضایی، ع.، ۱۳۹۰، ارزیابی میزان آلودگی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات معدن مس سرچشمه با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره ششم، ص ۲۵-۳۴.

[9] Zhang, W., 2009, Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze river intertidal zone: An assessment from different indexes, Environmental pollution, Vol. 1-11.

[۱۰] افشون، م.، ر.، مهردادی، ن.، ۱۴۰۰، بررسی کمی و کیفی زهاب اسیدی معدن‌های (AMD) در دامپ باطله معدن مس سونگون با تأکید بر تصفیه‌پذیری آن، فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، ص ۱۴۳-۱۶۰.

[۱۱] شریعتی، ش.، آقانباتی، س. ع.، موسوی حرمی، س.، ر.، مدبری، س. و آدابی، م.، ح.، ۱۳۹۰، بررسی میزان آلایندگی ناشی از صنایع معدنی و فرآوری سرب و روی بر آب و خاک منطقه انگوران- دندی، مجله علوم زمین، شماره ۸۱، ص ۴۵-۵۴.

[12] Nriagu, J.O., 1988, A silent epidemic of environmental metal poisoning. Environmental Pollution, 50, 139-161. doi:10.1016/0269-7491(88)90189-3.

[13] Hamidi, A., 2015, Feasibility study of industrial wastewater treatment using nanosorbent of Salvadora Persica Plant, Case Study of Sarchashmeh mineral wastewater, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, M.Sc. Thesis, University of Shahrood, Iran.

[14] Masoumim, A., Dolati Ardeh Jani F. and Aslani M., Khorasanipour, S., 2014, Acid mine drainage, formation sources and related chemical relationships, The First National Conference on Environmental pollution with a focus on clean land, 12th May, Ardebil, Iran.

[15] Kontopoulos, A., 1998, Acid mine drainage control, Effluent Treatment in the Mining Industry, 57-118.

[16] Hussein, H., Farag, S., Kandeel, K., and Muawad, H., 2005, Biosorption of heavy metals from waste water using pseudomonas sp., Electronic Journal of Biotechnology, Vol 7, 711-714.

[17] Cabrera G., Gomez, J.M., and Cantero, D., 2005, Oxidation of Acidithiobacillus ferrooxidans in the presence of heavy metal ions, Enzyme and microbial Technology, 36, 301-306.

[18] Chojnacka, K., Chojnacki, A., and Gorecka, H., 2005, Biosorption of Cr+2, Cr+3 and Cu+2 ions by blue green Algae Spirulina sp., kinetics, equilibrium and the mechanism of the process. Chemosphere 59, 75- 84.

[19] Pradhan, S., and Rai, L.C., 2001, Biotechnological potential of Microcystis sp. In Cu., Zn and Cd. biosorption from nsingle and multimetallic systems. Biometals, 14, 67-74.