

## اثرات زیست‌محیطی و ژئوشیمی سرب و روی معدن انگوران زنجان

سید علیرضا آشفته

عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، St\_a\_ashofteh@azad.ac.ir

### چکیده

معدن سرب و روی انگوران در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهر زنجان واقع شده است. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که عناصر آرسنیک، نقره، روی و کادمیوم با افزایش عمق روند افزایشی داشته و سرب روند خاصی را نشان نمی‌دهد همچنین در کانسنگ سولفیدی، عناصر نقره با جیوه و کلسیم با منیزیم و در کانسنگ کربناتی، عناصر سرب با آرسنیک و نقره با جیوه دارای همبستگی بالایی هستند. هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان آلودگی عناصری از جمله روی، سرب، کادمیوم و جیوه در ناحیه مجاور معدن انگوران و اثرات این آلودگی بر روی منابع آب و خاک منطقه می‌باشد که برای این منظور تعدادی آنالیزهای ژئوشیمیایی از آب، خاک و کیک‌های معدنی این منطقه فراهم گردید. جهت بررسی آلودگی این عناصر تعداد ۶۰ نمونه خاکی، ۲۱ نمونه آبی و ۱۱ نمونه از کیک‌های منطقه برداشت شد. با توجه به نتایج آنالیزها و تطبیق آنها با استانداردها نتیجه می‌شود که کیفیت آب رودخانه به تدریج از ورودی به خروجی و با عبور رودخانه از حوالی معدن کاسته می‌شود همچنین میزان آلودگی در کانسار نسبت به سایر مناطق در حد بالایی بوده و رابطه معکوس بین فاصله از کانسار و میزان آلودگی مشاهده می‌شود. پژوهش حاضر نشان داد که میزان غلظت سرب در منطقه بالا بوده که مقدار بالای نسبی این عنصر در خاک و آب منطقه در اثر عدم توجه کامل به مبانی معدنکاری و زیست‌محیطی است.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی زیست‌محیطی، روی، ژئوشیمی، سرب، معدن انگوران.

### ۱. مقدمه

با استخراج معادن و عمیق و وسیع‌تر شدن فضای عملیاتی آنها وسعت زمین‌های تحت تأثیر فعالیت‌های معدنکاری به ویژه محل انباشت باطله روز به روز در حال افزایش است و ضرورت انجام بازسازی معادن نیز بیشتر می‌شود. بازسازی معادن به صورت بخش جدایی‌ناپذیر از طراحی کل معدن باید از همان مراحل ابتدایی عملیات معدنکاری مورد توجه قرار گیرد. به این ترتیب علاوه بر حفظ محیط‌زیست زمین‌ها به چرخه تولید باز می‌گردند برای همین مسائل است که باید قبل از طرح بهره‌برداری معدن ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را انجام داد تا میزان خسارت‌های وارده بر محیط‌زیست را محاسبه کرد و پروژه را در جهتی که این خسارات کاهش یابد یا به حداقل برسد در پیش گرفت. امروزه دیگر برای صدور طرح بهره‌برداری یک پروژه معدن قبل از هر چیز مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی (EIA) پروژه مدنظر را می‌خواهند و با توجه به آن پروانه را صادر می‌کنند در واقع پس از تایید شدن طرح بهره‌برداری معدن و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی باید ابتدا در فکر کاهش و به حداقل رساندن این اثرات باشیم و بهترین مرحله برای این کاهش‌ها و به حداقل رساندن‌ها قبل از شروع طرح معدنی است مثلاً می‌توان با تغییر روش استخراج یا یک طرح بازسازی مناسب برای پروژه اثرات زیست‌محیطی را به حداقل رساند.

وجود معدن انگوران از سویی موجب رشد اقتصادی منطقه و از سویی دیگر عاملی برای تهدید محیط‌زیست این ناحیه می‌باشد. آلودگی‌های معدنی ممکن است به صورت طبیعی باشد و یا عوامل انسانی موجب تشدید آن شده باشند. با وجود اینکه ایران یک کشور در حال توسعه بوده و برای پیشرفت خود ناچار به توسعه معادن می‌باشد اما باید خاطرنشان کرد که اهمیت منابع آبی کمتر از منابع معدنی نیست بنابراین برای توسعه پایدار صنعت معدن کشور لازم است تا جنبه‌های زیست‌محیطی صنایع معدنی کشور مورد شناسایی قرار گیرد. در نتیجه فعالیت‌های معدن و استحصال سرب و روی هزاران تن پسماند حاوی فلزات سنگین تولید می‌شود. محل تجمع این پسماندها تأثیرات نامطلوبی بر اکوسیستم منطقه ایجاد نموده است. یکی از این مخاطرات مجاورت معدن انگوران و پسماندهای حاصل از معدنکاری و کارخانجات فرآوری با منابع آبی حوضه آبریز انگوران می‌باشد (آشفته، ع، حاج‌علی ش.، ۱۳۹۲).

## ۲. کانسارهای سرب - روی و اثرات زیست‌محیطی استخراج و فرآوری آنها

سرب و روی شامل گالن، اسفالریت، تتراهدريت است. اثرات فیزیولوژیکی که شناخته شده هستند به ترتیب با افزایش مقادیر سرب عبارتند از سرگیجه، کم‌خونی، از دست دادن حس جهت‌یابی، اغماء و مرگ. سرب از طریق جایگزینی آهن باعث کم‌خونی و از طریق جمع شدن در استخوان‌ها باعث کمی کلسیم در بدن می‌شود. سرب با توجه به این خصوصیات منفی عامل ایجاد سرطان نمی‌باشد. معدنکاری سرب و روی دارای خطراتی است اما خطر عمده سرب بیشتر مربوط به جذب در محصولاتی نظیر بنزین و رنگ است که مصرف گسترده‌ای در جامعه دارند. فلز روی نیز می‌تواند باعث کاهش رشد در انسان‌ها می‌شود.



شکل ۱. تخریب محیط‌زیست در اثر فعالیت‌های معدنی (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۸)

آب‌های معدن که حاوی عناصر آلوده هستند و یا طغیان رودخانه آلوده (به دلیل عملیات معدنی) سبب آلودگی زمین می‌شود. وجود بعضی از عناصر بالاخص فلزات سنگین در آب، سبزیجات و خاک برای انسان و حیوانات کشنده خواهند بود. سرب حتی در مقیاس کم در بدن انسان باعث آسیب رساندن به مغز، کلیه و کبد خواهد شد. مقدار سرب خاک باید کمتر از ۲۵ میکروگرم در هر گرم خاک باشد. سرب عنصری ضروری برای رشد و نمو گیاه نیست اما توسط گیاهان جذب می‌شود و بدین طریق گیاه در معرض آلودگی به این عنصر سمی قرار می‌گیرد. عوامل مؤثر در جذب سرب از خاک شامل ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مقدار فسفات موجود در خاک، کود، سایر فلزات سنگین، حرارت، مواد آلی موجود در خاک، سن گیاه، نوع آن و بالاخره تغییرات محیط هستند. به شکل کلی عقیده بر این است که مقدار سرب خاک باید بالاتر از  $1000 \text{ ppm}$

باشد تا بتواند اثرات نامطلوب در گیاه باقی گذارد. متأسفانه مقدار سرب منتشر شده در اتمسفر سالانه بالغ بر ۳۰۰۰۰۰ تن می باشد که به مراتب بیشتر از ۲۰۰۰۰ تن سرب آزاد شده توسط فرآیندهای طبیعی است. مهم ترین منابع آلودگی سرب ناشی از فعالیت های بشر، احتراق بنزین و زغالسنگ است و ذوب کانسنگ های سولفیدی با فاصله زیادی از این دو منبع در جایگاه سوم قرار دارد شکل (۱).

شدت آلودگی	آلودگی هوا	آلودگی آب	آلودگی خاک	اثر بر فعالیت و سلامت انسان
شدید	آزبست، کرم، برلیوم، جیوه، کادمیم، کبالت	اورانیوم، جیوه، سیانور	اورانیوم، برلیوم، کادمیم	کادمیم، برلیوم، اورانیوم، آرسنیک، آزبست
شدید تا متوسط	مس، اورانیوم، آرسنیک، سرب	مولیبدن، آرسنیک، برلیوم، آنتیموان، کادمیم، کبالت	کبالت، جیوه، آرسنیک، منگنز، مس، کرم	کبالت، سرب، آنتیموان، مولیبدن، سیلیس
متوسط	سیلیس، آنتیموان	مس، منگنز، نیکل، کرم	قلع، سرب، آنتیموان، آلومینیوم، نیکل	منگنز، کرم، نیکل
متوسط تا ضعیف	قلع، آلومینیوم، نیکل، روی، آهن، مولیبدن، منگنز	قلع، آلومینیوم، کبالت، روی، آهن، سرب	روی، مولیبدن	روی، آهن، آلومینیوم، مس، زغالسنگ، قلع
ضعیف			زغالسنگ، سیلیس، آهن	

جدول ۱. طبقه بندی مواد معدنی بر اساس شدت آلودگی (پایگاه ملی داده های علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۸)

### ۳. زهاب اسیدی معدن

در آب های آشامیدنی سرب بندرت بیش از حد مجاز است و این هنگامی است که pH در آب هنگام عبور از لوله ها اسیدی بوده و در نتیجه مقداری از سرب موجود در لوله های آب را در خود حل کرده و غلظت سرب در آب را افزایش میدهد. در مناطقی که آب های آنها اسیدی است با افزودن مقداری موادقلیایی مانند کربنات کلسیم، pH آب را بالا برده و خطر برطرف می شود. منابع آلوده کننده آب های زیرزمینی و سطحی شامل زهاب ها، جریان های ناشی از لیچینگ و جریان های نفوذی از سدهای باطله، پیت های معادن و عملیات معدنکاری می باشد. در معادن سرب حاوی کانی های سولفوری در نتیجه اکسیداسیون سولفیدها اسید تولید می شود که در این صورت آب اسیدی دارای قدرت بیشتری جهت لیچینگ فلزات سنگین از مناطقی که عبور می کند بوده و میزان آلودگی افزایش می یابد. فاکتورهایی که کیفیت اسید تولیدی را تحت تأثیر قرار می دهند شامل نوع و میزان سولفید، ظرفیت بافری کانه ها و یا باطله ها، در معرض قرار گرفتن کانی در یک محیط اکسیدکننده، رطوبت و هیدرولوژی منطقه می باشد. برخی باکتری ها عامل فعل و انفعالات شیمیایی جهت اکسیداسیون کانی های حاوی سولفور برای تولید اسید می شوند. این باکتری ها مسائل خاصی در دپوهای سنگ های واسطه و سدهای باطله ایجاد می کنند. با افزایش میزان اسیدی شدن آب، قدرت لیچینگ و تحرک پذیری فلزات و دیگر آلوده کننده ها افزایش می یابد. عناصر و کانی های معمول که با ذخایر سرب و روی همراه می باشند شامل جیوه، تلوریم، کبالت، تالیم، پیریت و پیرویت هستند. پایین آمدن pH بر روی حلالیت این عناصر و کانی ها تأثیر دارد و آنها را برای حمل توسط آب های سطحی و زیرزمینی آماده می کند. معادن سطحی و زیرزمینی برای امکان استخراج کانه باید آبکشی شوند. جهت انجام این کار در طول فعالیت معدن ممکن است آب مستقیماً از مخزن های درون معدن به بیرون از محوطه معدن پمپاژ شود و یا اینکه در

محل معدن از طریق چاه‌هایی که حفر می‌شوند از سفره زیرزمینی پمپاژ گردد که این کار سبب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و ایجاد مخروطی بر عکس در محل معدن می‌شود. بعد از اینکه معدنکاری خاتمه یافت پمپاژ آب نیز متوقف می‌شود و در این صورت آبی که در معرض کانی‌های سولفوری در یک محیط اکسیدکننده (مانند معادن روباز و زیرزمینی) قرار می‌گیرد خاصیت اسیدی پیدا می‌کند. در شرایط طبیعی معمولاً سرب آب کمتر از ۱۰ میکروگرم در لیتر می‌باشد و این در حالی است که حداکثر مقدار مجاز سرب در آب آشامیدنی در اغلب کشورهای جهان ۵۰ میکروگرم در لیتر پذیرفته شده است. فعالیت سرب نیز در آب‌های سبک حدود ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و در آب‌های سخت فقط ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و این تفاوت به واسطه وجود یون‌های بی‌کربنات در آب‌های سخت است. زهاب اسیدی معدن (AMD) به عنوان آلودگی شیمیایی، معدنی آب در نتیجه اکسیداسیون کانی‌های حاوی سولفید به ویژه پیریت ( $FeS_2$ )، پیروتیت (FeS) تعریف می‌شود که در طی آن برون‌ریزی اسیدی حاوی غلظت‌های بالایی از فلزات محلول (شامل آهن، روی، کادمیم، منگنز و سرب) تولید می‌شود. کانسارهای مورد توجه اصلی کانسارهای فلزات پایه و کانسارهای سولفیدی می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲. زهاب اسیدی معدن (آشفته، ع.، حاج‌علی، ش.، ۱۳۹۲)

#### ۴. بیان مسئله و بحث

منطقه انگوران در یک کمپلکس دگرگونی به سن نئوپروتروزوئیک تا کامبرین شکل قرار گرفته است. از لحاظ سنگ‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های گنیس، آمفیبولیت، میکاشیست و آهک بلورین به سن پرکامبرین می‌باشد که طی میوسن زیرین توسط فرآیندهای کششی در منطقه دچار دگرشکلی شده و شامل مجموعه آمفیبولیت، سرپانتینیت، گنیس، میکاشیست و سنگ‌های کلسیک و آهک بلورین (مرمر) است. دگرگونی در منطقه از نوع ناحیه‌ای با درجه حرارت پایین و فشار بالا بوده که در حد رخساره شیست سبز و آمفیبولیت روی داده است. در حال حاضر استخراج معدن انگوران به روش روباز و پلکانی در محدوده‌های به ابعاد ۴۵۰×۳۰۰ متر و عمق ۱۲۰ متر صورت می‌گیرد. شیب نهایی گودال معدن ۴۵ درجه، ارتفاع پله‌ها ۱۰ متر، شیب دیواره پله‌ها ۷۴ درجه، بالاترین پله معدن در ارتفاع ۳۰۸۵ متری، ارتفاع کف استخراج فعلی ۲۹۲۰ متر و چاله‌های حفاری به قطر ۹۰ تا ۱۵۰ میلیمتر و به عمق ۱۲ متر می‌باشد. ظرفیت باطله‌برداری در سال یک میلیون تن و ظرفیت استخراج بر اساس میزان خوراک مورد نیاز کارخانه تغلیظ معمولاً بالغ بر ۳۰۰ هزار تن در سال می‌باشد. شکل قرارگیری تپ‌های مختلف به ترتیبی است که کانسنگ اسیدی نزدیک به سطح زمین و کانسنگ سولفوری در عمیق‌ترین بخش آن واقع شده است و میان آن دو نیز مخلوط‌هایی از اکسید و سولفور وجود دارد چون استخراج تاکنون به روش روباز بوده بالطبع از بالاترین قسمت کانسار آغاز شده و فقط بخش‌های اکسیده کانسار و جزء کوچکی از کانسنگ‌های اکسیده را مورد استخراج قرار داده است. این کانسار مهم‌ترین کانسار سرب و روی ایران بوده و در ارتفاع ۳۰۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد و در فاصله ۱۳۰ کیلومتری جنوب غربی زنجان در زون سندانج - سیرجان

قرار دارد. بر اساس آخرین تقسیم‌بندی چینه‌ای ایران بر روی زون ارومیه - پل دختر و به عبارتی بر روی زون سلطانیه - میشو واقع گردیده و همان خصوصیات تکتونیکی و ماگمایی و سایر رویدادهای زمین‌ساختی این زون را دارا می‌باشد. واحدهای منطقه را در چهار دسته زیر می‌توان تقسیم نمود.

الف- سنگ‌های دگرگونی شامل واحدهای شیستی، توده معدنی، سنگ‌های آهک کریستالین.

ب- واحدهای توفیک و رسوبی - آذرین شامل واحد آهکی، واحد توفیک فوقانی.

ج- واحد الیگومیوسن.

د- واحد کواترنر شامل واحدهای سنگ آهک تراورتن، رسوبات آواری و آبرفتی.

دگرگونی در منطقه تحت شرایط دگرگونی ناحیه‌ای با درجه حرارت پایین و فشار بالا بوده است. درجه متامورفیسم از رخساره کلریت - شیست فراتر نرفته است و تنها در ناحیه شرق معدن شیست‌ها به وسیله یک گسل در مجاورت سنگ‌های توفیک قرار می‌گیرد و گرانیتهای آناتاکسی و یا به عبارت دیگر تجمع کانی‌های کوارتز، میکا و فلدسپات دیده می‌شود. این کانسار به شکل عدسی بزرگ و توده‌ای در داخل آهک‌های دولومیتی و در بین دو لایه شیست‌های میکادار - کالکوپیریت از پایین به بالا قرار گرفته است. توده هم‌شیب با شیست در قسمت‌های کم‌عیار و بعضی نواحی دیگر سنگ معدنی حالت شیل یا شیست دارد و در مجاورت آهک مشابه سنگ‌آهک و در قسمت پرعیار، متراکم و سخت می‌گردد. توده معدنی از پایین توسط شیست و از بالا توسط آهک کریستالین محدود گردیده است. از لحاظ زمین‌ساختی ساختمان منطقه یک طاق‌دیس بوده که در اثر عوامل تکتونیکی حالت یک ناودیس را پیدا نموده است. توده معدنی انگوران توسط سه گسل عمده محدود شده است که یکی در ناحیه شرقی با جهت شمال شرقی - جنوب غربی دیگری در قسمت شمال معدن با جهت شرقی - غربی و سومی در غرب معدن با جهت شمال غرب - جنوب شرقی. این سه گسل به شکل مثلثی که راس آن به سمت جنوب و قاعده آن به سمت شمال باشد ماده معدنی را محدود می‌نماید و در خارج این مثلث کارهای اکتشافی انجام پذیرفته است. این گسل‌ها نقش عمده‌ای در معدن بازی می‌کنند و در واقع عیاربندی، جنس و نوع ماده معدنی کربناتی یا سیلیکاتی با گسل‌ها کنترل شده و تغییر پیدا می‌کند. ماده معدنی شامل دو بلوک شمالی و جنوبی است. در بلوک جنوبی در کف زون سولفیدی موجود می‌باشد و در قسمت بالا زون اکسیدی اما در بلوک شمالی در قسمت‌های زیرین مقدار کمی مخلوط کربناتی و سولفیدی است. در این بلوک عمدتاً زون اکسیدی قرار دارد. توده معدنی یک شیب عمومی به سمت جنوب شرق به خود گرفته است. کانی‌های موجود بر طبق مناطق مختلف ماده معدنی شامل یکی بخش اکسیدی است که کانی عمده روی در این بخش اسمیت‌زونیت می‌باشد و در برخی نمونه‌ها همی‌مورفیت و هیدروزینسیت مشاهده می‌شود. در این بخش کانی‌های باطله در درجه اول کلسیت و کوارتز و در درجه دوم کائولینیت، سریسیت، مونت‌مورینولیت و هماتیت و گوتیت می‌باشد. بخش دیگر بخش سولفیدی است که کانی اصلی اسفالریت و گالن و باطله کوارتز و کلریت وجود دارد. نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که هر اندازه عیار سرب در سنگ معدن بالا برود عیار آرسنیک نیز بالا می‌رود و در مورد روی نیز می‌توان گفت که هر چقدر عیار روی بالا رود عیار سیلیس کاهش می‌یابد شکل (۳).



شکل ۳. پهنه‌بندی کیفی حوضه آبریز انگوران چای (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۸)

#### ۴-۱. ژئوشیمی سرب

سرب در ترکیب پوسته جامد زمین با فراوانی نسبی ۰/۰۰۲ درصد وجود دارد. ترکیبات این فلز در فاز سولفوری پنوماتولیتی و گرمایی با شکل رگه‌ای، اشباعی و بالاخص دگرسانی جانشینی ظاهر می‌شود. در محلول‌های تجزیه‌ای به دلیل نادر بودن و قابلیت انحلال پایین، ترکیبات آن به مقدار کمی وجود داشته و از این نظر ترکیبات منشأ رسوبی آن اهمیت زیادی ندارند. سرب در گروه ۴ و ردیف ۶ جدول تناوبی عناصر قرار دارد و دارای دو نوع ظرفیت ۲ و ۴ می‌باشد. وزن اتمی آن ۲۰۷/۱۹ و عدد اتمی آن ۸۲ است. دارای چهار ایزوتوپ پایدار با اعداد جرمی ۲۰۴، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸ است که Pb208 با فراوانی ۵۶/۱٪ فراوان‌ترین ایزوتوپ سرب است. ایزوتوپ‌های Pb206، Pb207 و Pb208 محصولات نهایی پایدار حاصل از تجزیه عناصر رادیواکتیو اورانیوم (U)، رادیوم (Ra)، اکتینیوم (Ac) و توریم (Th) می‌باشند. مقدار متوسط زمینه سرب که در پوسته زمین توزیع شده نزدیک به ۱۵ppm و ضریب تمرکز یا ضریب کلارک آن ۲۰۰۰ است. مقدار متوسط سرب از سنگ‌های ماگمایی اسیدی (گرانیت‌ها) به سنگ‌های اولترا بازیک کاهش نشان می‌دهد. سنگ‌های اسیدی (گرانیت و کوارتز مونزونیت) دارای متوسط سرب ۶،۲۳ppm می‌باشند و این مقدار در سنگ‌های بازیک و اولترا بازیک به ۱۰۰ppm کاهش می‌یابد. مقدار سرب به طور متوسط در فلدسپات‌های پتاسیم‌دار تا ۵۳ppm می‌رسد و بعد از آن بیوتیت‌ها با متوسط سرب ۲۱ تا ۳۷ppm در رده دوم قرار می‌گیرند. مقدار متوسط سرب در شیل‌های کربن‌دار ۵،۲۱ppm، در رس‌ها ۱۵ تا ۴۰ و در شیل‌های سیاه ۲۳ تا ۲۸ و گاهی تا ۱۰۰ppm هم ذکر شده است. در ماسه‌سنگ‌های آرکوزی و ماسه‌سنگ قرمز ۱۰ppm، در رسوبات پلاژیک دریا ۴۷ تا ۶۱ppm است. بخش بزرگی از سرب در رسوبات اقیانوسی عهد حاضر در نودول رس‌های منگنز و احتمالاً در فاز اکسید منگنز و رس ظاهر می‌گردد. در نودول رس‌های منگنز عهد حاضر مقدار متوسط سرب از ۷۳۰ تا ۱۳۰۰ppm در اقیانوس آرام و اطلس گزارش شده است. مقدار متوسط سرب در سنگ‌های کربناته ۵ppm است در صورتی که سنگ‌های کربناته دارای ۱۰ تا ۱۵ درصد رس یا سلیت باشند مقدار ۳ppm سرب بر مقدار مذکور افزوده می‌شود.

#### ۴-۲. ژئوشیمی روی

روی در گروه IIB و دوره چهارم جدول تناوبی قرار دارد و در گروه عناصر کادمیم و جیوه می‌باشد. عنصر Zn به طور قابل توجهی الکتروپزتیوتر می‌باشد. این عنصر می‌تواند انواع ترکیبات با پیوند کووالانسی را تشکیل دهد. روی همچنین توانایی تشکیل کمپلکس‌های گوناگون مانند کمپلکس‌های هالیدهای روی (آنیونی) و کمپلکس‌های لیگاندهای آمونیاک و آمین (کاتیونی) را نیز دارد. ترکیبات آلی روی اولین ترکیبات روی بودند که تولید و شناخته شده‌اند و ترکیبات آلی روی از نوع (RZnX) (و) (R<sub>2</sub>Zn) هستند. این فلز از واکنش‌پذیری خوبی برخوردار است و در اسید و باز به کندی حل می‌شود ولی با افزودن چند قطره از نمک فلزاتی که در جدول پتانسیل پایین‌تر باشند واکنش را شدیداً تسریع می‌کند که این امر در حقیقت گویای حلالیت روی تجاری می‌باشد که به سادگی در اسید کلریدریک و سولفوریک رقیق حل شده و گاز هیدروژن ساطع می‌کند. روی با اسید نیتریک رقیق تولید نیترات آمونیم می‌کند ولی با اسید نیتریک غلیظ به دلیل نامحلول بودن واکنش نمی‌دهد. در مجاورت اسید سولفوریک رقیق به عنوان عامل احیاکننده اثر می‌کند و مثلاً نمک‌های فریک را به نمک‌های فرو احیاء می‌کند. از جمله روش‌های کلاسیک شناسایی روی می‌توان به واکنش گر اسید کینالدیک آزمون آمونیوم تترا تیوسیاناتو مرکورات II، سولفات مس، روش پیریدین، آزمون دی‌تیزون اشاره کرد. روی در طبیعت بیشتر به صورت سولفور یافت می‌شود و عمده‌ترین کانی سولفوره روی، آسفالریت می‌باشد. کانی‌های دیگر روی احتمالاً از اکسایش سولفورهای روی تشکیل شده‌اند. از جمله این کانی‌ها می‌توان اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت و سیدریت را نام برد. عناصر تشکیل‌دهنده کانه روی عبارتند از Zn, S, CO<sub>2</sub>, SiO<sub>3</sub>, ZnS که اغلب با سولفورهای سایر عناصر به خصوص کادمیم، آهن، ایندیم، گالیم، ژرمانیم و جیوه همراه می‌باشد. از خاصیت ضد خوردگی روی نیز برای مصارف گوناگون استفاده می‌شود.



شکل ۴. الف - نحوه انتقال باطله‌های معدن به سدها ب - نزدیکی سد باطله به رودخانه انگوران چای و روستای انگوران (گزارش گروه مهندسی مشاور ژئودالامپر، ۱۳۹۲)

#### ۵. مسائل و نگرانی‌های زیست‌محیطی انگوران

عنصر سرب فاقد هر نوع نقش بیولوژیک بوده و حتی در مقادیر اندک نیز سمی است. منابع عمده انتشار سرب حاصل از فعالیت انسان در اتمسفر شامل کارخانه‌های ذوب و تصفیه سرب، کارخانه‌هایی که در آن سرب را به عنوان یکی از مواد اولیه به مصرف می‌رسانند، معادن سرب و دود حاصل از اتومبیل‌های بنزین‌سوز می‌باشد. در محل‌های معدنی نیز گرد و غبار بلند شده از سطوح خشک سدها و یا دیوهای باطله اولین منبع آلودگی هوا است. سدهای باطله به طور کامل توسط آب پوشیده نشده و در نتیجه ذرات قسمت خارج از آب توسط وزش باد جابجا می‌شوند. کلارک سرب ۱۵ppm است. سرب موجود در

اتمسفر نیز به خاک افزوده می‌گردد. تأثیر زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنی بر روی خاک‌ها معمولاً با فرسایش و آلودگی است. فرسایش ممکن است در اثر کندن و حذف نباتات در ارتباط با فعالیت‌های معدنکاری صورت گیرد. تحت چنین شرایطی رخدادهایی مانند ذوب برف ممکن است سبب فرسایش بیشتر خاک شوند. آلودگی خاک‌ها ممکن است در اثر تخلیه مواد معدنی و باطله، زهاب‌ها، جریان‌های ناشی از لیچینگ و نفوذ از سدهای باطله صورت خواهد گرفت. جابجایی ذرات ریز موجود در سدهای باطله خشک می‌تواند سبب آلودگی خاک‌ها شود شکل (۴). دیگر منابع آلودگی خاک‌ها شامل سوخت‌ها، مواد شیمیایی به کار رفته در فرآیند فلوتاسیون، محلول‌های بهداشتی و تمیزکننده به کار رفته و یا ذخیره شده در محل است. خاک‌های آلوده می‌توانند به عنوان منبع آلودگی برای آب‌های سطحی و زیرزمینی عمل کرده و در نتیجه منبع آلوده‌کننده دیگر مناطق باشند. در برخی موارد نیز مانند تخلیه استخرهای باطله و یا استفاده از مواد معدنی به عنوان مصالح ساختمانی بشر مستقیماً با این خاک‌های آلوده سر و کار دارد. سربی که از اتمسفر بر روی خاک می‌نشیند ابتدا مقدار زیادی از آن جذب ذرات رس موجود در خاک می‌گردد و بقیه که به صورت نمک‌های هالوژنه به خاک افزوده می‌گردند در اثر رطوبت خاک یونیزه شده و با آنیون‌های موجود در خاک تولید نمک‌هایی مثل سولفات سرب می‌دهند که این نمک به علت عدم حلالیتش در آب در قسمت‌های سطحی خاک باقی می‌ماند (آشفته ع، ۱۳۹۲) (۳).

#### ۶. نتیجه‌گیری

امروزه اکثر کشورهای پیشرفته جهان اقدام به بازسازی و احیاء محیط‌های تخریب شده می‌پردازند. آنچه از فعالیت‌های معدنی باقی می‌ماند به غیر از استخراج کامل ماده معدنی و دستیابی به یک دستاورد جدید، محیط‌زیستی تخریب شده همراه با انواع خطرات حتمی و یا احتمالی است. این خطرات می‌توانند دارای عکس‌العملی سریع برای نسل حاضر و یا تأثیر درازمدت برای نسل‌های آینده برجا بگذارند. فعالیت‌های معدنی در معادن سطحی که بیشتر از معادن زیرزمینی در معرض عوامل جوی قرار دارند اکثراً فعالیت‌هایی سودآور و مفید می‌باشند اما پس از استخراج یک محیط‌زیست یا بهتر بگوییم یک طبیعت کاملاً تخریب شده در اختیار داریم. شاید هزینه‌های تمام شده برای بازسازی و احیاء زمین‌های استخراج شده کمی بالا به نظر برسد اما در مجموع با توجه به مطالب آورده شده لزوم انجام کار بازسازی برای جلوگیری بیشتر از تخریب محیط‌زیست ضروری و واجب است. متأسفانه در کشور ما ابتدا کلیه طرح‌ها و پروژه‌های صنعتی طراحی و به مرحله اجرا گذاشته می‌شود و بعد از اجرای قسمت اعظم آن نظر و رای اداره محیط‌زیست در مورد کنترل تخریب طبیعت و اثرات و عواقب آن پرسیده می‌شود و بعد از این نظرخواهی کار مطابق طراحی قبلی پیش می‌رود. امروزه در اکثر کشورهای صاحب تکنولوژی مرحله ابتدایی طرح یک پروژه صنعتی توسط اداره نظارت بر فعالیت‌های صنعتی و کنترل محیط‌زیست مطالعه شده و در صورت عدم مغایرت با قوانین حفظ و کنترل محیط‌زیست مورد تایید قرار می‌گیرد و به مرحله اجرا گذاشته می‌شود و علاوه بر آن در طول مدت اجرای طرح نظارت دقیق مسئولین مانع از اجرای هر گونه تخلف خواهد شد. در استان زنجان بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که از جمله تهدیدات ناشی از استقرار و فعالیت واحدهای صنعتی و معدنی در استان موارد زیر از اهمیت بیشتری برخوردار است. تجمع فلزات سنگین در خاک شامل سرب، کادمیوم، نقره و جیوه هستند که این اثرات شامل اختلال فعالیت‌های بیولوژیک خاک، اثرات سمی روی گیاهان و اثرات مضر بر انسان ورود این مواد به زنجیره غذایی می‌باشند. تخریب زمین از دیگر پیامدهای ناگوار گسترش فعالیت‌های صنعتی و معدنی در محدوده استان است. با توجه به سولفیدی بودن بسیاری از ذخایر معدنی و در معرض باران قرار گرفتن این مواد و اکسایش آنها مسئله ایجاد آب‌های اسیدی در اثر زهکشی این معادن امری متداول می‌باشد. اسید حاصله به کانی‌های دیگر که اکثر



عناصر سمی در آنها به صورت نامحلول در آب بوده حمله کرده و سبب آزاد شدن آنها می‌گردد مانند انحلال کادمیم و آرسنیک در محیط اسیدی و متعاقب آن آلودگی محیط‌زیست که در معادن فعال و یا متروکه رخ می‌دهد. ذرات غبار حاصل از استخراج و خردایش مواد معدنی علاوه بر سمی بودن عامل مهمی در ایجاد بیماری‌های ریوی این ذرات غبار می‌باشد. مواد سمی همچون کادمیم، سرب، جیوه، سیانور و اورانیوم. علاوه بر موارد فوق آلودگی‌های حاصل از فرآوری مواد معدنی یکی دیگر از تهدیدات زیست‌محیطی استان است. مکان‌یابی سدهای باطله به لحاظ شاخصه‌های زیست‌محیطی در محل مناسبی نبوده و نزدیکی محل سدها با رودخانه انگوران‌چای و زمین‌های کشاورزی روستای انگوران و همچنین عدم توجه به شیب زمین باعث شده تا در زمان بارندگی شدید رواناب بیشتر از ظرفیت سد از سمت کیک‌های زائد به داخل رودخانه انگوران‌چای جریان یابد و آب رودخانه را مسموم نماید. رودخانه‌های منطقه هیچ تأثیر شاخصی از آلودگی را در بالادست معدن از خود نشان نمی‌دهند بلکه با عبور این آب‌ها از محل معدن و یا کارخانجات به طور ناگهانی ترکیب خود را به سمت آلودگی تغییر می‌دهند (جدول ۲). با توجه به استانداردهای جهانی برای میزان عناصر سنگین در آب و خاک مشاهده می‌شود که روستای انگوران دارای آلودگی نسبتاً بالایی می‌باشد (جدول ۳). این روستا بر روی سازند قم به سن الیگومیوسن واقع شده است و دارای بیشترین رخنمون در منطقه است. آنالیز خاک کانسار انگوران و مقایسه آن با استانداردهای جهانی نشان می‌دهد که میزان عناصر سنگین در خاک این کانسار بسیار بالاتر از حد مجاز استانداردهای جهانی می‌باشد همچنین با توجه به نتایج آنالیزهای آب و خاک منطقه مطالعاتی می‌توان نتیجه گرفت که با نزدیکی به کانسار میزان آلودگی‌ها افزایش می‌یابد که این مسئله خود بیانگر آن است که تمهیدات مؤثری برای کاهش آلودگی در منطقه صورت نپذیرفته است.

جدول ۲. نتایج حاصل از نمونه‌برداری (گزارش گروه مهندسی مشاور ژئودالامپر، ۱۳۹۲)

Cd	As	Mn	Co	Ni	Ag	Zn	Pb	محل نمونه‌برداری
۲۵۷۸/۵	۹۷۷۵	۱۳۳۸	۳۸۴	۵۱۰	۶۶	۱۵۰۲۴	۱۱۴۴۹	بخش شمالی معدن
۲۶۸۵/۵	۷۴۱۶/۵	۱۳۷۸	۴۰۲	۵۵۷/۵	۴۵/۵	۱۵۱۹۹	۱۰۱۵۴	بخش جنوبی معدن
۲۵۷۸	۹۲۹۵	۱۳۹۹	۵۰۳	۵۴۷	۵۸	۱۵۰۰۹	۱۲۵۵۸	بخش مرکزی معدن

جدول ۳. استانداردهای عناصر سنگین در آب و خاک (استاندارد جهانی WHO و FAO)

Cd	As	Pb	Zn	استانداردها
۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱	۱۵	حد مجاز موجود در آب
۰/۱	۰/۵	۲	۸۰-۴۰	حد مجاز موجود در خاک

## ۷. پیشنهادات

۱- سعی شود از روش‌های استخراجی که کمترین آسیب را به محیط‌زیست می‌زنند به کار گرفته شود. در محدوده باطله‌های معدنی و زمین‌های دارای آلاینده‌های اسیدی و قلیایی به ترتیب اولویت آج صحرایی، راش، سماق کوهی، افرا و

نارون می‌باشند و در زمین‌هایی با شرایط خنثی و یا قلیایی درختانی مانند بلوط و ممرز پیشنهاد می‌شوند تا بعد از بستن معدن اثرات زیست‌محیطی پروژه معدنی را به حداقل برساند.

۲- آلودگی‌های ناشی از فعالیتهای معدنکاری خصوصاً معدن فلزی نظیر سرب و روی و عدم انتخاب محل مناسب انباشت باطله‌های حاصل اثرات مخربی روی محیط‌زیست دارد. بررسی امکان آلودگی و تعیین مناطق آلوده می‌تواند در مدیریت بهتر فعالیتهای معدنی کمک شایانی نماید. روش‌های ژئوفیزیکی الکتریکی مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP) به همراه روش‌های الکترومغناطیسی در شناسایی محدوده‌های آلوده و شیوه گسترش آن می‌توانند نقش مهمی را ایفا کنند. تصفیه پساب‌های اسیدی نه تنها مانع آلوده شدن آب‌های منطقه می‌گردد بلکه با استفاده مجدد از آنها می‌توان هزینه‌های تأمین آب مورد نیاز کارخانه‌های فرآوری را کاهش داد.

۳- اگر هدف از تصفیه پساب‌های اسیدی تنها حذف آلودگی‌های وارده به محیط‌زیست باشد می‌توان با کمک مواد آهکی و یا قلیایی پساب‌ها را در محل خودشان تصفیه نمود و حالت اسیدی آنها را خنثی کرد اما اگر هدف استفاده مجدد از این آب‌ها باشد باید آنها را از محل دمپ جمع‌آوری کرده و به حوضچه‌های مستقلى انتقال داد تا بتوان از این آب‌ها به شکل مجدد استفاده کرد و از اثرات مخرب زیست‌محیطی آنها جلوگیری کرد.

۴- برای بهره بردن بیشتر از ظرفیت تالاب‌ها باید حوضچه‌های هوازی و غیر هوازی به دنبال هم ایجاد کرد به طوری که ابتدا حوضچه هوازی و سپس غیر هوازی قرار بگیرد. با ورود پساب معدنی به حوضچه هوازی، اکسیداسیون سبب پایین آمدن pH می‌گردد که موجب رسوب فلزات در درون حوضچه می‌گردد سپس در حوضچه غیر هوازی به کمک مواد قلیایی pH پساب بالا رفته و اسیدیته محیط خنثی می‌گردد. برای بهره بردن بیشتر پساب‌های معدنی باطله‌ها باید از یک پوشش مناسب بر روی باطله‌ها بهره برد تا میزان اکسیداسیون آنها به حداقل برسد سپس به کمک زهکش‌هایی آنها را جمع‌آوری نمود و بدین وسیله آنها را مدیریت و کنترل نمود.

۵- سیستم‌های غیر فعال یک روش جایگزینی پایدار برای روش‌های شیمیایی گرانیقیمت می‌باشد و آن به علت هزینه پایین نگهداری آنها است که میزان انرژی مصرفی و مواد ورودی توسط این روش نسبت به تجهیزات مصرفی در تصفیه شیمیایی پایین می‌باشد. موضوع حذف و استحصال یون‌های سنگین فلزی یک راهکار به منظور کاهش آلودگی پساب‌های اسیدی معدن می‌باشد به همین دلیل روش‌های مختلف برای حذف و استحصال یون‌های سنگین فلزی از پساب‌های اسیدی معدن پیشنهاد می‌شود.

## ۸. منابع

آشفته، ع.، حاج‌علی ش.، (۱۳۹۲)، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی معادن متروکه با استفاده از ژئوشیمی و زمین‌آمار، اولین همایش زمین‌شیمی کاربردی ایران: ۲۲۰-۲۲۲

آشفته، ع.، حاج‌علی ش.، (۱۳۹۲)، بازسازی معادن متروکه با کمک ابزار GIS، اولین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی: ۲-۴

آشفته، ع.، ۱۳۹۲، گزارش بازدید از معدن سرب و روی انگوران، گروه مهندسی مشاور ژئودالامپر: ۱۱۰-۱۱۴