

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی تولید زهاب اسیدی معدن (AMD) توسط باطله های معدن سرب و روی کوشک،

استان یزد

نگارنده: بابک قراری

اساتید راهنما

دکتر گیتی فرقانی تهرانی

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

استاد مشاور

دکتر افشین قشلاقی

بهمن ۱۳۹۵

شماره: ۱۲۵۷۱
تاریخ: ۹۵، ۱۱، ۲۴
ویرایش:

پاسخ نهایی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۷: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) اوزبایی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای بانک قراری به شماره دانشجویی ۹۲۲۵۱۷۳ رشته زمین شناسی گرایش زمینست محیطی تحت عنوان اوزبایی تولید زهاب اسیدی معدن توسط باطله های معدن سرب و روی کوشک استان یزد که در تاریخ ۹۵/۱۱/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ۱۶/۳۵) - امتیاز خوب ()
 دفاع مجدد مردود

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
 ۲- خوب (۱۷/۵۱ - ۱۶)
 ۳- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
 ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
 ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر گیتی نورنگی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر فرامرز دولتی زاده جابری	استاد	
۳- استاد مشاور	دکتر آتشین قناتلی	استادیار	
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر پرویز امیدی	استادیار	
۵- استاد محترم اول	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۶- استاد محترم دوم	دکتر رحیم باقری	استادیار	

رئیس دانشگاه شاهرود

تقدیم به:

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید

و به پاس محبت‌های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

این مجموعه را به پدر و مادر و خواهر عزیزم تقدیم می‌کنم.

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از زحمات و عنایات اساتید راهنمای محترم، سرکار خانم دکتر گیتی فرقانی تهرانی و به ویژه جناب آقای دکتر فرامرز دولتی ارده جانی و استاد مشاور جناب آقای دکتر افشین قشلاقی به دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان در طی انجام این پایان نامه که موجبات اجرای آنرا فراهم ساختند. تشکر و قدردانی می‌کنم.

همچنین لازم است مراتب امتنان و قدردانی خود را از سرکار خانم‌ها مینو قنبرزاده، مریم شکرزاده و دکتر گلناز جوزانی کهن و دیگر همکاران محترم دانشگاه تهران که از مساعدت‌های آنان نیز بهره‌مند بوده‌ام، ابراز نمایم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم که مراتب سپاس و قدردانی خود را از کلیه عزیزان، بویژه جناب آقای مهندس محمود علی محمدی، مهندس محمد مهدی زند و دیگر همکارانشان در معدن سرب و روی کوشک که اینجانب را درگردآوری و تهیه کلیه مراحل تکمیل پایان نامه یاری دادند، ابراز نمایم. همچنین از مسئولین محترم سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) برای تأمین مالی در پایان نامه اینجانب به مبلغ ۴۰,۵۰۰,۰۰۰ ریال تشکر و قدردانی می‌کنم.

در آخر از دوستان خوبم سرکار خانم سعیده قدیمی، امیر سلیمانی، سجاد سروری نیا و حامد مکاری که در دوران دانشجویی‌ام، بنده را همراهی نموده‌اند کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب بابت قرارداری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان ارزیابی تولید زهاب اسیدی معدن (AMD) توسط باطله های معدن سرب و روی کوشک، استان یزد، تحت راهنمایی های دکتر گیتی فرقانی تهرانی و دکتر فرامرزی دولتی ارده جانی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانهای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

منطقه معدنی بافق یکی از مهم‌ترین مناطق فلززایی ایران محسوب می‌شود که مهم‌ترین ذخایر آهن ایران به همراه فسفات و اورانیوم و همچنین کانسارهای سولفیدی سرب و روی نظیر کوشک، زیرگان، چاهمیر و غیره را در بر می‌گیرد. کانسار کوشک شامل توده‌های معدنی کوشک، زردو، پهنو، کیل و چاه‌گز می‌باشد.

ارزیابی و پیش‌بینی زهاب اسیدی معدن، از مهم‌ترین ویژگی‌ها در پیش‌بینی و جلوگیری از انتشار آلودگی‌های ناشی از فعالیت معدنکاری در طبیعت پیرامون معدن محسوب می‌شوند. منشاء زهاب اسیدی معدن و یا سنگ از اکسیداسیون کانی‌ها و عناصر گوگرد دار مانند: سولفیدها، سولفات‌های اولیه و ثانویه، نمک‌های تیو، گوگرد عنصری و گوگرد آلی که در مجموع گوگرد کل می‌نامند، تشکیل شده‌اند. عناصر بالقوه سمی، در پیدایش زهاب اسیدی نقشی ایفا نمی‌کنند ولی زهاب اسیدی باعث انتقال این آلودگی‌ها به اکوسیستم‌های آبی و خشکی می‌شود که با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی معدن سرب و روی کوشک، در ماه‌های گرم و خشک به دلیل تبخیر فوق‌العاده زیاد و بارش کم زهاب تولید شده خشک می‌شود و کانی‌های ثانویه رسوب می‌کنند در ماه‌های سرد سال، بدلیل سرمای فوق‌العاده زیاد محیط از فعالیت باکتری‌های تولید کننده زهاب اسیدی کم شده و هر گونه زهاب در منطقه منجمد می‌گردد.

برای محاسبه، مقدار گوگرد کل از دو روش فلئورسانس پرتو ایکس (محاسبه گوگرد کل) و پراش سنجی اشعه ایکس (محاسبه مجموع کل کانی‌های گوگرد دار) استفاده شده است. در ۲ نمونه SH و G عوامل اسید ساز (کانی‌ها و عناصر) بیشتر از عوامل خنثی ساز در پارامترهای محاسبه شده در آزمایش‌های استاتیک (آزمایش اندازه گیری pH خمیره یا گل اشباع، آزمایش محاسبه اسید و باز استاندارد، آزمایش شمارش اسید و باز اصلاح شده، آزمایش پژوهش ابتدایی بریتیش کلمبیا، آزمایش تولید اسید خالص و

آزمایش ظرفیت خنثی سازی اسید)، آزمایش‌های کانی شناسی و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شد.

در نمونه T، عوامل خنثی ساز بیشتر از عوامل اسید ساز بوده است که به همین دلیل در بعضی از پارامترهای محاسبه شده در آزمایش‌های استاتیک، در محدوده نامعلوم و یا نامشخص قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: زهاب اسیدی معدن، زهاب اسیدی سنگ، گوگرد کل، کانی‌های سولفیدی و کانی‌های سولفاتی

مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. کانی‌شناسی باطله‌های معدنی: مطالعه موردی کانسار سرب و روی معدن کوشک (ارائه در بیست و چهارمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران)، ۶ و ۷ بهمن دانشگاه صنعتی شاهرود
۲. مطالعه میکروسکوپی و ژئوشیمیایی باطله‌های معدن سرب و روی کوشک (ارائه در بیست و چهارمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران)، ۶ و ۷ بهمن دانشگاه صنعتی شاهرود

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱ مقدمه و بیان مسأله ----- ۲
- ۲-۱ اهداف پژوهش----- ۵
- ۳-۱ روش انجام پژوهش ----- ۵
- ۴-۱ فرضیه‌های پژوهش ----- ۶
- ۵-۱ موقعیت جغرافیایی، راه‌های دسترسی و شرایط اقلیمی محدوده مورد مطالعه ----- ۶
- ۶-۱ زمین‌شناسی و چینه‌شناسی عمومی در منطقه بافق----- ۸
- ۷-۱ کانی‌شناسی کانسار کوشک ----- ۱۳
- ۱-۷-۱ کانی‌های سولفیدی ----- ۱۳
- ۲-۷-۱ کانی‌های غیر سولفیدی ----- ۱۴
- ۱-۲-۷-۱ کانی‌های فسفاتی ----- ۱۴
- ۲-۲-۷-۱ کانی‌های سولفات ----- ۱۴
- ۳-۲-۷-۱ کانی‌های اکسیدی سرب و آهن ----- ۱۶
- ۴-۲-۷-۱ کانی‌های کربناتی ----- ۱۶
- ۵-۲-۷-۱ کانی‌های سیلیکاتی ----- ۱۷
- ۸-۱ سنگ‌های باطله و باطله‌های فرآوری معدن کوشک----- ۱۷

فصل دوم: تاریخچه و پیشینه پژوهش

- ۱-۲ زهاب اسیدی معدن و زهاب اسیدی سنگ ----- ۲۲
- ۲-۲ اکسایش کانی‌های سولفیدی و تولید زهاب اسیدی ----- ۲۴
- ۳-۲ اکسایش و ته نشینی کانی‌های سولفات و هیدروکسی سولفات‌ها و تولید زهاب اسیدی ----- ۲۷
- ۴-۲ نقش سایر ترکیبات گوگردی در تولید زهاب اسیدی ----- ۲۹

- ۲-۵ نقش اکسیدها، هیدرواکسیدها، کربنات‌ها و سلیکات‌ها در خنثی کردن زهاب اسیدی ----- ۲۹
- ۲-۶ نقش نیترات‌ها در زهاب اسیدی ----- ۳۰
- ۲-۷ نقش هالیدها، پتاس و بورات‌ها در زهاب اسیدی ----- ۳۱
- ۲-۸ نقش مواد آلی در تولید زهاب اسیدی ----- ۳۱
- ۲-۹ روش‌های ارزیابی تولید زهاب ----- ۳۱
- ۲-۹-۱ آزمایش‌های استاتیک ----- ۳۱
- ۲-۹-۲ آزمایش‌های سینتیک ----- ۳۲

فصل سوم: روش انجام تحقیق

- ۳-۱ مقدمه ----- ۳۶
- ۳-۲ نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها ----- ۳۷
- ۳-۳ آزمایش‌های کانی‌شناسی ----- ۳۸
- ۳-۳-۱ پراش سنجی پرتو ایکس ----- ۳۸
- ۳-۳-۲ مطالعات میکروسکوپ نوری و انعکاسی ----- ۳۹
- ۳-۳-۳ مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی پراش انرژی اشعه ایکس ----- ۳۹
- ۳-۴ بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه ----- ۳۹
- ۳-۴-۱ بررسی دانه‌بندی نمونه‌ها ----- ۳۹
- ۳-۴-۲ اندازه‌گیری Eh ، EO ، pH و دما ----- ۴۰
- ۳-۴-۳ فلونورسانس پرتو ایکس ----- ۴۱
- ۳-۴-۴ طیف سنجی گسیل پلاسما جفت شده القایی ----- ۴۱
- ۳-۵ آزمایش‌های استاتیک ----- ۴۲
- ۳-۵-۱ آزمایش اندازه‌گیری pH خمیره یا گل اشباع ----- ۴۲
- ۳-۵-۲ آزمایش محاسبه اسید و باز استاندارد ----- ۴۲
- ۳-۵-۳ آزمایش شمارش اسید و باز اصلاح شده ----- ۴۵
- ۳-۵-۴ آزمایش پژوهش ابتدایی بریتیش کلمبیا ----- ۴۶

۴۶	..... ۵-۵-۳ آزمایش تولید اسید خالص
۴۷	..... ۶-۵-۳ آزمایش ظرفیت خنثی سازی اسید
۴۹	..... ۶-۳ آزمایش سینتیک
۵۴	..... ۱-۴ مقدمه

فصل چهارم: تحلیل داده‌ها

۵۴	..... ۲-۴ کانی‌شناسی باطله‌های معدنی
۵۴	..... ۱-۲-۴ پراش سنجی اشعه ایکس
۵۹	..... ۲-۲-۴ مطالعات میکروسکوپی
۷۰	..... ۳-۲-۴ آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی
۷۰	..... ۱-۳-۲-۴ آزمایش اندازه ذرات باطله معدنی
۷۴	..... ۲-۳-۲-۴ پارامترهای فیزیکی- شیمیایی نمونه‌های باطله معدنی
۷۸	..... ۴-۲-۴ آزمایش‌های استاتیک نمونه‌های معدنی
۷۹	..... ۱-۴-۲-۴ ارزیابی تولید اسید
۸۰	..... ۲-۴-۲-۴ ارزیابی خنثی ساز اسید
۸۲	..... ۳-۴-۲-۴ تولید یا مصرف خالص اسید
۸۳	..... ۴-۴-۲-۴ نسبت‌های پارامترهای خنثی‌ساز اسید به پارامترهای تولید اسید
۸۸	..... ۴-۲-۴ آزمایش‌های سینتیک

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۸	..... ۱-۵ مقدمه
۹۹	..... ۲-۵ آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی
۹۹	..... ۳-۵ آزمایش‌های کانی‌شناسی
۱۰۰	..... ۴-۵ آزمایش‌های استاتیک
۱۰۰	..... ۵-۵ آزمایش سینتیک
۱۰۱	..... ۶-۵ پیشنهادها

منابع استفاده شده در این پژوهش-----۱۰۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه معدنی بافق (فورستر و جعفر زاده ، ۱۹۹۴) ۳
- شکل ۲-۱ موقعیت جغرافیایی کانسارهای مهم در منطقه معدنی بافق (فورستر و جعفرزاده، ۱۹۹۴) ۷
- شکل ۳-۱ دسترسی محلی به معدن کوشک (دقتر آموزش معدن سرب و روی کوشک، ۱۳۷۰) ۷
- شکل ۴-۱ ستون چینه‌شناسی ناحیه معدنی بافق (فورستر و جعفر زاده، ۱۹۹۴، سهیلی و مهدوی، ۱۳۷۰) ۱۱
- شکل ۵-۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ معدن کوشک. (دقتر آموزش زمین‌شناسی و اکتشافات معدن کوشک، ۱۳۷۰ ۱۲
- شکل ۶-۱ ایستگاه‌های برداشت نمونه‌های باطله ۱۸
- شکل ۷-۱ شمای کلی از واحدهای مختلف تهیه کنسانتره و شمش سرب و روی ۱۹
- شکل ۱-۳ موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری ۳۸
- شکل ۲-۳ نمای روبرو از بخش‌های مختلف سیستم طراحی شده از آزمایش سینتیک سیستم باز ۵۱
- شکل ۳-۳ وضعیت لامپ‌های مادون قرمز و نمونه‌های باطله در قبل و بعد از ریختن محلول‌های شیمیایی به مدت سه ماه ۵۱
- شکل ۱-۴ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه G ۶۰
- شکل ۲-۴ مقطع نازک تهیه شده از نمونه G ۶۰
- شکل ۳-۴ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه SH ۶۱
- شکل ۴-۴ مقطع نازک تهیه‌شده از نمونه SH ۶۲
- شکل ۵-۴ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه T ۶۳
- شکل ۶-۴ مقطع نازک تهیه شده از نمونه T ۶۳
- شکل ۷-۴ نقشه کل عناصر انتخابی و محل آن‌ها در نمونه G ۶۴
- شکل ۸-۴ نقشه عناصر انتخاب شده به صورت جداگانه در نمونه G ۶۵
- شکل ۹-۴ نمای نزدیک از ساختار کانی پیریت G ۶۵
- شکل ۱۰-۴ نمایی نزدیک‌تر (بزرگ نمایی) از کانی پیریت ۶۶
- شکل ۱۱-۴ EDS یا EDX مربع زرد (بخش زوم شده) در نمونه G ۶۷
- شکل ۱۲-۴ کل عناصر و محل آن‌ها در نمونه SH ۶۷
- شکل ۱۳-۴ نقشه عناصر انتخاب شده در نمونه SH ۶۸
- شکل ۱۴-۴ نمایی از کانی‌های شناخته شده در نمونه SH ۶۸
- شکل ۱۵-۴ نقشه کل عناصر انتخاب شده در نمونه T ۶۹
- شکل ۱۶-۴ نقشه عناصر انتخاب شده در نمونه T ۶۹

- شکل ۴-۱۷ نمایی از کانی‌های شناخته شده در نمونه SH..... ۷۰
- شکل ۴-۱۸ نسبت درصد تجمعی به اندازه دانه های تشکیل دهنده SH..... ۷۱
- شکل ۴-۱۹ نسبت درصد تجمعی به اندازه دانه های تشکیل دهنده T..... ۷۲
- شکل ۴-۲۰ نسبت درصد تجمعی به اندازه دانه های تشکیل دهنده G..... ۷۳
- شکل ۴-۲۱ نمودار AP به NP..... ۸۱
- شکل ۴-۲۲ نمودار پارامتر ANC به Total Sulfur..... ۸۲
- شکل ۴-۲۳ نمودار NNP به Paste pH..... ۸۵
- شکل ۴-۲۴ Paste pH و گوگرد کل..... ۸۶
- شکل ۴-۲۵ نمودار NPR و Paste pH..... ۸۶
- شکل ۴-۲۶ نمودار NPR و گوگرد سولفیدی..... ۸۷
- شکل ۴-۲۷ نمودار NAG-PH و NAPP..... ۸۸
- شکل ۴-۲۸ غلظت فلزات سنگین و pH..... ۹۵

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲ هوازدگی مهم ترین کانی های گوگرد دار که منشأ تولید زهاب اسیدی..... ۲۳
- جدول ۲-۲ کانی های سولفیدی رایج، فرمول شیمیایی و ناخالصی ها در هر کانی ۲۵
- جدول ۳-۲ انواع کانی های سولفاتی..... ۲۸
- جدول ۴-۲ تعدادی از آزمایش های استاتیک..... ۳۲
- جدول ۵-۲ متداول ترین آزمایش های سینتیک..... ۳۳
- جدول ۱-۳ آزمایش فیز و درجه فیز..... ۴۳
- جدول ۲-۳ درجه فیز، میزان، غلظت اسید و غلظت سود در آزمایش ANC..... ۴۸
- جدول ۱-۴ فازهای شناخته شده در نمونه G..... ۵۶
- جدول ۴-۲ فازهای شناخته شده برای نمونه SH..... ۵۷
- جدول ۳-۴ فازهای شناخته شده برای نمونه T..... ۵۸
- جدول ۴-۴ نتیجه EDS یا EDX محل زوم شده در نمونه G..... ۶۶
- جدول ۵-۴ پارامترهای محاسبه شده برای نمونه SH..... ۷۱
- جدول ۶-۴ پارامترهای محاسبه شده برای نمونه T..... ۷۲
- جدول ۷-۴ پارامترهای محاسبه شده برای نمونه G..... ۷۳
- جدول ۸-۴ پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه گیری شده در نمونه های مورد مطالعه..... ۷۵
- جدول ۹-۴ درصد اکسیدهای به دست آمده از آزمایش XRF..... ۷۶
- جدول ۱۰-۴ درصد عناصر و ضریب تبدیل به دست آمده از آزمایش XRF..... ۷۷
- جدول ۱۱-۴ گروه هایی از فلزات سنگین و شبه فلزات در نمونه های معدنی توسط دستگاه ICP..... ۷۸
- جدول ۱۲-۴ انواع ترکیبات گوگرددار در نمونه های مطالعه شده..... ۷۹
- جدول ۱۳-۴ پارامترهای ارزیابی تولید اسید..... ۸۰
- جدول ۱۴-۴ پارامترهای ارزیابی خنثی ساز اسید..... ۸۱
- جدول ۱۵-۴ تولید یا مصرف خالص اسید..... ۸۳

- جدول ۴-۱۶ نسبت‌های پارامترهای خنثی ساز اسید به پارامترهای تولید اسید ۸۴
- جدول ۴-۱۷ تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، pH، Eh و EC نمونه G ۸۸
- جدول ۴-۱۸ تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، pH، Eh و EC نمونه SH ۹۱
- جدول ۴-۱۹ تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، pH، Eh و EC نمونه T ۹۲

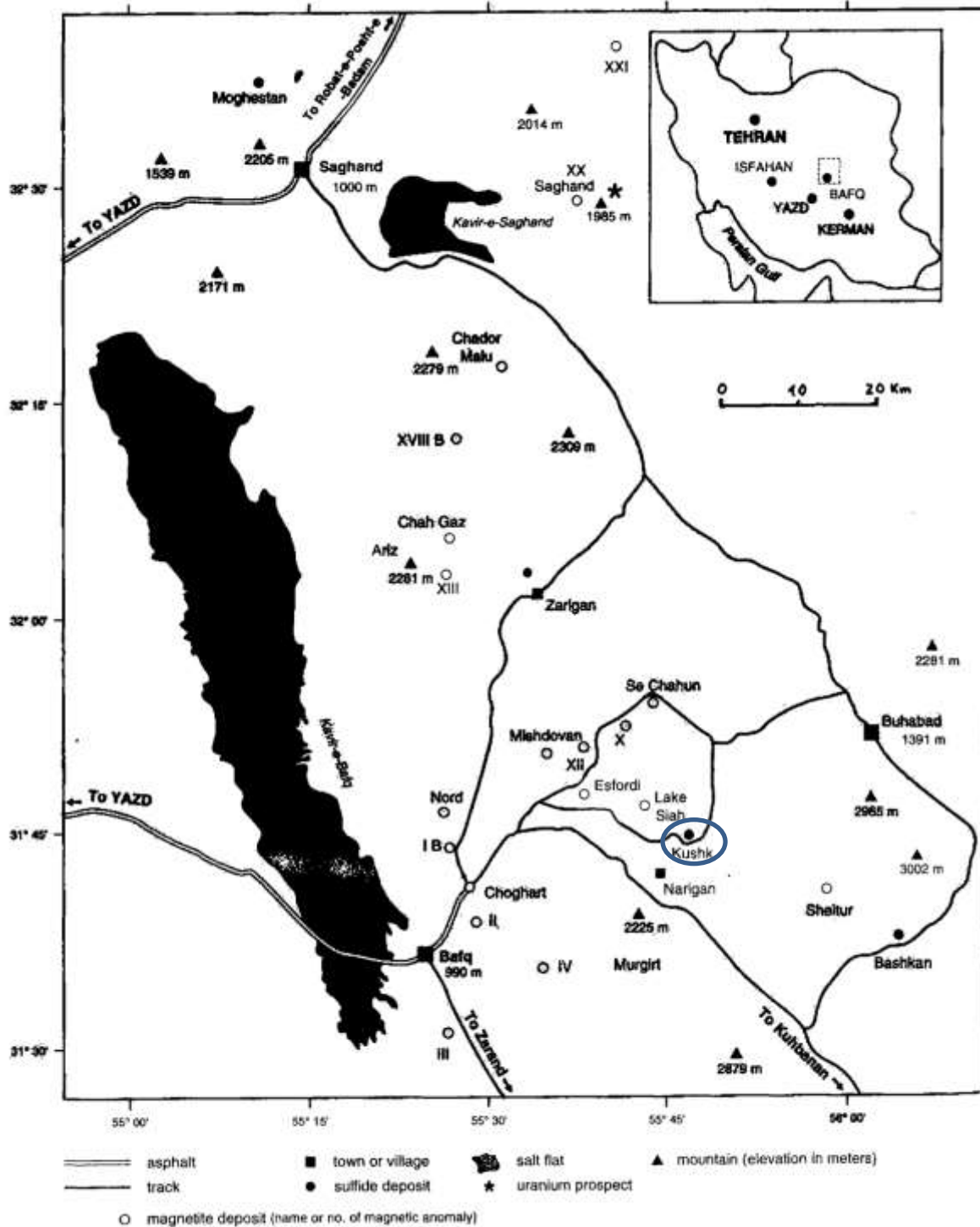
فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه و بیان مسأله

معدنکاری و صنایع مرتبط با آن به دلیل ایجاد انواع آلودگی‌های زیست محیطی و خسارت‌های جبران ناپذیری که بر اکوسیستم‌های مناطق پیرامون وارد می‌نماید، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. امروزه روش‌های مختلفی را برای پیش‌گیری، کنترل و پاکسازی آلودگی‌های مرتبط با معدنکاری بکار می‌برند که هر یک از آن‌ها مزایا و معایبی دارند. به طور کلی آلودگی‌های مناطق معدنی شامل آلودگی‌های صوتی، آلودگی هوا (برای مثال تولید ریزگردها، باران اسیدی و تولید گازهای گلخانه‌ای)، آلودگی منابع آب (تغییرات در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی محیط‌های آبی در سایت معدنی و مناطق پیرامون، تولید زهاب اسیدی و قلیایی معدن) و آلودگی خاک (شامل آلودگی به فلزات سنگین، شبه فلزات و مواد نفتی) هستند.

زهاب اسیدی معدن از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی مرتبط با معدنکاری است که خسارت‌های جبران ناپذیری را به محیط زیست وارد می‌سازد. زهاب اسیدی در نتیجه اکسایش و انحلال کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت موجود در باطله‌های معدنی بوجود می‌آید. پیریت یکی از اصلی‌ترین کانی‌های سولفیدی است که در شرایط احیایی پایدار می‌باشد. این کانی در بیشتر ذخایر فلزی آهن، نیکل، روی، سرب و مس و غیرفلزی زغال‌سنگ حضور دارد. شدت و مدت زمان تشکیل اسید توسط باطله‌های معدنی به عواملی همچون کانی‌شناسی توده باطله، هیدروژئولوژی و شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد که در این میان، نقش کانی‌شناسی بسیار حائز اهمیت است. منطقه معدنی بافق یکی از مهم‌ترین مناطق فلززایی ایران محسوب می‌شود و دربردارنده مهم‌ترین ذخایر آهن ایران و همچنین ذخایر فسفات، اورانیوم و کانسار سولفیدی سرب و روی مانند معدن کوشک، زیرگان و چاهمیر می‌باشد. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه معدنی بافق را نشان می‌دهد (فورستر و جعفر زاده، ۱۹۹۴).



شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه معدنی بافق (فورستر و جعفر زاده، ۱۹۹۴)

معدن کوشک واقع در ۱۶۷ کیلومتری شمال شرق شهر یزد، از معادن مهم سرب و روی ایران می‌باشد. کانسار کوشک شامل توده‌های معدنی کوشک، زردو، پهنو، کیل و چاه گز می‌باشد به همین دلیل این کانسار تحت عنوان کانسار سرب و روی بافق نیز شناخته می‌شود. کانسار کوشک از کانی‌های اصلی پیریت، اسفالریت، گالن و مقدار جزئی کالکوپیریت تشکیل شده است و کانی‌های فرعی دیگر شامل واریسکایت، پیرومرفیت، ملانتریت، اپسومیت، باریت، ژیپس، هدرایت، لیناریت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت، دولومیت، کلسیت، ژاسپیلیت، کوارتز، ژاروسیت و همچنین کانی‌های رسی مانند تالک می‌باشد. حضور کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت در باطله‌ها، ارزیابی تولید اسید توسط باطله‌های این معدن را ضروری می‌سازد. همچنین تاکنون مطالعه‌ای درباره تولید اسید توسط باطله‌های معدنی سرب و روی کوشک انجام نشده است بنابراین انجام پژوهش در این راستا ضرورت دارد. به طور کلی ارزیابی تولید و پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های معدنی سولفیدی به دو روش آزمایشگاهی استاتیک و سینتیک قابل بررسی است. روش استاتیک شامل انجام آزمایش‌های ژئوشیمیایی است که در آن دو پارامتر حداکثر تولید اسید و حداکثر قابلیت خنثی‌کنندگی اسید محاسبه می‌شوند. پارامترهای مذکور پس از واکنش مقدار مشخصی از نمونه باطله با اسیدهای معدنی با غلظت مشخص به دست می‌آیند. در روش سینتیک، فرآیندهای اکسایش باطله‌های سولفیدی به وسیله بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر بر میزان زهاب تولید شده (شامل زمان، رطوبت، اکسیژن، دما، فشار و حضور باکتری‌های اسید دوست) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. آزمایش‌های سینتیک تکمیل کننده آزمایش‌های استاتیک بوده و در ستون‌های آزمایشگاهی قابل انجام می‌باشند.

۲-۱ اهداف پژوهش

مهم‌ترین اهداف پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

۱. بررسی ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های معدنی و تعیین درصد کانی‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده

اسید

۲. بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی (غلظت عناصر بالقوه سمی) باطله‌های معدنی (سنگ‌های باطله و

باطله‌های فرآوری) معدن کوشک

۳. بررسی احتمال تشکیل زهاب اسیدی توسط باطله‌های معدنی با استفاده از آزمایش‌های استاندارد

استاتیک و سینتیک

۳-۱ روش انجام پژوهش

روش انجام این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱. جمع‌آوری و گردآوری اطلاعات و منابع مطالعاتی برای موضوع مورد مطالعه

۲. بازدید از منطقه و نمونه برداری از سنگ‌های باطله و باطله‌های فرآوری معدن سرب و روی

کوشک

۳. آماده سازی نمونه و انجام آنالیزهای کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی

۴. بکارگیری آزمایش‌های استاتیک و سینتیک برای نمونه‌های باطله

۵. محاسبه و تعیین پارامترهای مؤثر بر تولید یا خنثی سازی زهاب اسیدی معدن و یا سنگ

۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها

۷. نگارش و تدوین پایان‌نامه

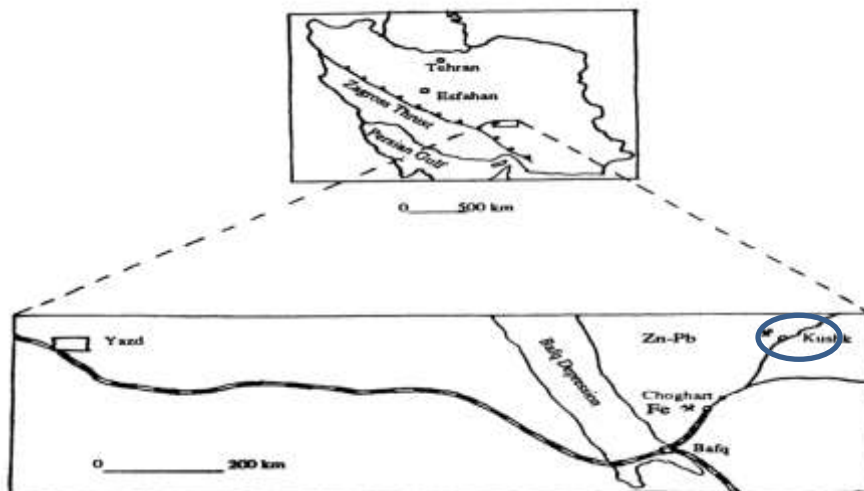
۴-۱ فرضیه‌های پژوهش

۱. با توجه به ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های معدنی کانسار کوشک، احتمال تشکیل زهاب اسیدی در این منطقه وجود دارد.
۲. در صورت تشکیل زهاب اسیدی، رواناب‌های حاوی غلظت بالای عناصر بالقوه سمی تشکیل خواهد شد که به اکوسیستم منطقه، آسیب جدی وارد می‌کند.
۳. برای ارزیابی تولید و پتانسیل تولید زهاب می‌توان از آزمایش‌های استاتیک و سینتیک استاندارد استفاده کرد.

۵-۱ موقعیت جغرافیایی، راه‌های دسترسی و شرایط اقلیمی محدوده مورد مطالعه

معدن سرب و روی کوشک در ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان بافق و ۱۶۷ کیلومتری شمال شرق شهر یزد با طول جغرافیایی " ۳۹' ۴۵° و عرض جغرافیایی " ۳۰' ۴۵° ۳۱ واقع شده است (شکل ۱-۲).

مورفولوژی بخش شمالی معدن کوهستانی با دره‌های باریک و ستیغ‌های بلند است و بخش جنوبی آن شامل رخساره‌های تپه ماهوری می‌باشد. ارتفاع بلندترین کوه همجوار معدن از سطح دریا ۲۳۰۲ متر و ارتفاع نواحی ساختمانی و تأسیساتی از سطح دریا در حدود ۲۰۰۰ متر می‌باشد.



شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی کانسارهای مهم در منطقه معدنی بافق (فورستر و جعفرزاده، ۱۹۹۴)

راه‌های ارتباطی معدن کوشک جاده آسفالتی یزد - بافق - بهاباد می‌باشد (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳ دسترسی محلی به معدن کوشک (دفتر آموزش معدن سرب و روی کوشک، ۱۳۷۰)

معدن سرب و روی کوشک، در منطقه معدنی بافق استان یزد قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی استان یزد و مجاورت با کویر خشک و پهناور نمک، تأثیر توده هوای پر فشار جنب حاره، احاطه شدن توسط رشته کوه زاگرس و البرز و دوری از دریا و در آخر بارش و رطوبت نسبی اندک و گرمای زیاد و تبخیر شدید باعث شده که استان یزد به یکی از خشک‌ترین مناطق ایران تبدیل شود. در سهم بندی انواع اقلیم در استان یزد، هشتاد و هشت درصد را به منطقه فراخشک، ده درصد را منطقه خشک و دو درصد هم

منطقه نیمه خشک در نظر گرفته‌اند که معدن بافق در منطقه فراخشک قرار گرفته است. میانگین دمای استان یزد در حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد و بیشترین دما در استان یزد مربوط به ایستگاه بافق (۲۱ درجه سانتی‌گراد) و کمترین دما در ایستگاه نیر (۱۱ درجه سانتی‌گراد) است. میانگین بارش در ایستگاه بافق در حدود ۵۱ میلی‌متر است که کمترین مقدار بارش در استان یزد می‌باشد (نقشه راه علوم زمین و معدن استان یزد، بهار ۱۳۹۵).

آب و هوای منطقه بافق بیابانی است و بارش‌های جوی آن بسیار کم و سالانه در حدود ۱۲۰ میلی‌متر به صورت برف و باران می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی و دمای هوا برای فصل سرما به ترتیب ۴۵ درصد و ۹- درجه سانتی‌گراد و برای فصل گرما به ترتیب ۲۰ درصد و ۲۴+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر دمای مطلق سالانه ۴۰+ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای مطلق سالانه ۱۱- درجه سانتی‌گراد است (نقشه راه علوم زمین و معدن استان یزد، بهار ۱۳۹۵).

۱-۶ زمین‌شناسی و چینه‌شناسی عمومی در منطقه بافق

در منطقه معدنی بافق توالی‌های سنگی و چینه‌ای از پی سنگ قدیمی پرکامبرین تا رسوبات کواترنر رخنمون دارند که به‌طور مختصر به شرح زیر می‌باشد (قربانی، ۱۳۸۴).

- پی‌سنگ دگرگونی و سنگ‌های کم دگرگون پرکامبرین شامل گنایس و شیست
- توالی دولومیت‌های چرتی، ماسه سنگ، شیل و ریولیت به عنوان توالی اینفراکامبرین شامل: ریولیت اسفوردی، شیل‌های کوشک، گرانیت ناریگان، دولومیت و آهک سلطانیه
- ماسه سنگ لالون یا سری داهو با سن کامبرین
- آهک‌های ریز دانه‌ی صورتی رنگ به همراه شیل‌های سیلتی اردویسین واقع در روستای نگین‌آباد
- رسوبات سیلورین در شمال روستای نگین‌آباد شامل گدازه‌های آندزیتی، آهک‌های دولومیتی، دولومیت، کوارتزیت، ماسه سنگ و شیل

- واحدهای دونین شامل لایه‌های آهکی فسیل‌دار، ماسه سنگ کوارتزیت با میان لایه‌هایی از دولومیت و آهک
- سنگ‌های کربناته با میان لایه‌های شیل و ماسه سنگ
- سنگ‌های دولومیتی تریاس در ناحیه بافق
- سنگ‌های ژوراسیک از نوع رخساره شمشک که شامل شیل و ماسه سنگ می‌باشد. این سنگ‌ها در دره‌ی کوشک و موگرت توسط سنگ‌های سازند اسفوردی رورانده شده‌اند.
- سنگ‌های کرتاسه شامل مارن‌های سبز، کنگلومرا و لایه‌های آهکی
- کنگلومراهای ترشیری
- رسوبات تخریبی و رسوبات آبرفتی کواترنری
- کانسار سرب و روی کوشک چاهمیر و زیرگان، کانسارهای آهن چغارت و چادرملو در سازند اسفوردی (اینفراکامبرین) جایگزین شده‌اند. در کانسار کوشک، ماده معدنی به دو شکل روباز و زیرزمینی استخراج می‌شود.
- شکل ۱-۴ ستون چینه‌شناسی ناحیه معدنی بافق (فورستر و جعفر زاده، ۱۹۹۴، سهیلی و مهدوی، ۱۳۷۰) را نشان می‌دهد.
- چینه‌شناسی کانسار کوشک از کمر پایین به سمت کمر بالا به ۱۱ افق تقسیم می‌شود که به شرح زیر می‌باشد:
- ۱- ریولیت زیرین: در قسمت کمر پایین سری معدن یکسری سنگ‌های آتشفشانی اسیدی از جنس ریولیت وجود دارد.
- ۲- دولومیت زیرین: بر روی واحد ریولیتی سنگ‌های کربناته‌ای از جنس دولومیت با سطح آنکریتی وجود دارد.

۳- شیل‌های کمر پایین: این شیل‌ها به‌طور کل شیل‌های سیاه‌رنگ عقیم هستند که دارای مواد آلی (شیل‌های سیاه رنگ کربن دار) می‌باشند.

۴- دیوریت پورفیری (میکرو دیوریت): بر روی شیل‌های باطله‌ی کمر پایین توده‌ی نفوذی هم‌رند با لایه‌بندی به صورت سیل در داخل واحد شیلی نفوذ کرده که در مجاورت آن دگرگونی همبری نیز مشاهده می‌شود.

۵- شیل باطله‌ی کمر پایین: در بعضی از قسمت‌های معدن زیرزمینی در قسمت کمر پایین کانسار چند بار تناوب شیل و میکرودیوریت مشاهده می‌شود.

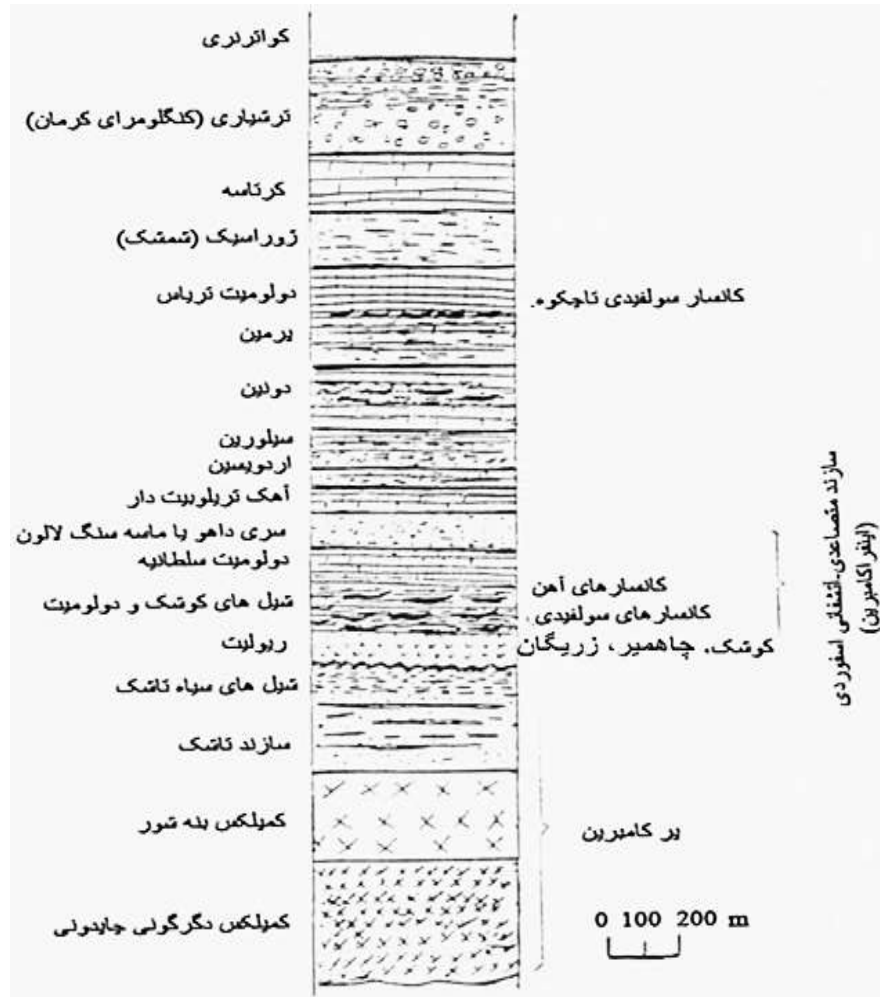
۶- شیل‌های کانی سازی شده: بر روی شیل‌های باطله‌ی کمر پایین و توده‌ی نفوذی میکرو دیوریتی اولین زون ماده‌ی معدنی در سری معدن با سنگ میزبان شیل‌های زغالی سیاه‌رنگ شروع می‌شود. عیار روی در این قسمت به طور متوسط حدود ۱۵٪ و سرب به طور متوسط ۷٪ می‌باشد. البته در بخش‌هایی از معدن کوشک، عیار سرب و روی چه در معدن زیرزمینی و چه در معدن روباز به بیش از ۴۰٪ و تناژ ماده‌ی معدنی در این افق به کمتر از ۲ میلیون تن می‌رسد.

۷- افق شیل دولومیت یا دولومیت شیلی: در معدن کوشک به خصوص در معدن زیرزمینی بین دو زون ماده‌ی معدنی یک افق شیل دولومیت یا دولومیت شیلی وجود داشته که عیار ماده‌ی معدنی روی در آنجا کمتر از ۱٪ می‌باشد.

۸- دولومیت کانی سازی شده: بر روی افق دولومیت شیلی دومین زون ماده‌ی معدنی در معدن کوشک شروع شده که در حال حاضر بیشترین تناژ ماده‌ی معدنی را در حدود ۱۰ میلیون تن به خود اختصاص می‌دهد. سنگ میزبان کانه‌زایی در این افق دولومیت می‌باشد. عیار متوسط روی در این افق حدود ۵ تا ۶ درصد و عیار سرب به طور متوسط حدود ۱ تا ۳ درصد می‌باشد. تفاوت این افق با افق کمر پایین ماده‌ی

فصل اول: کلیات

معدنی عیار پایین روی و سرب و عیار بالای پیریت می‌باشد. عیار پیریت در این افق به بیش از ۳۰٪ می‌رسد. در معدن کوشک در اصطلاح محلی به این افق، افق دولومیتی پر پیریت نیز گفته می‌شود.



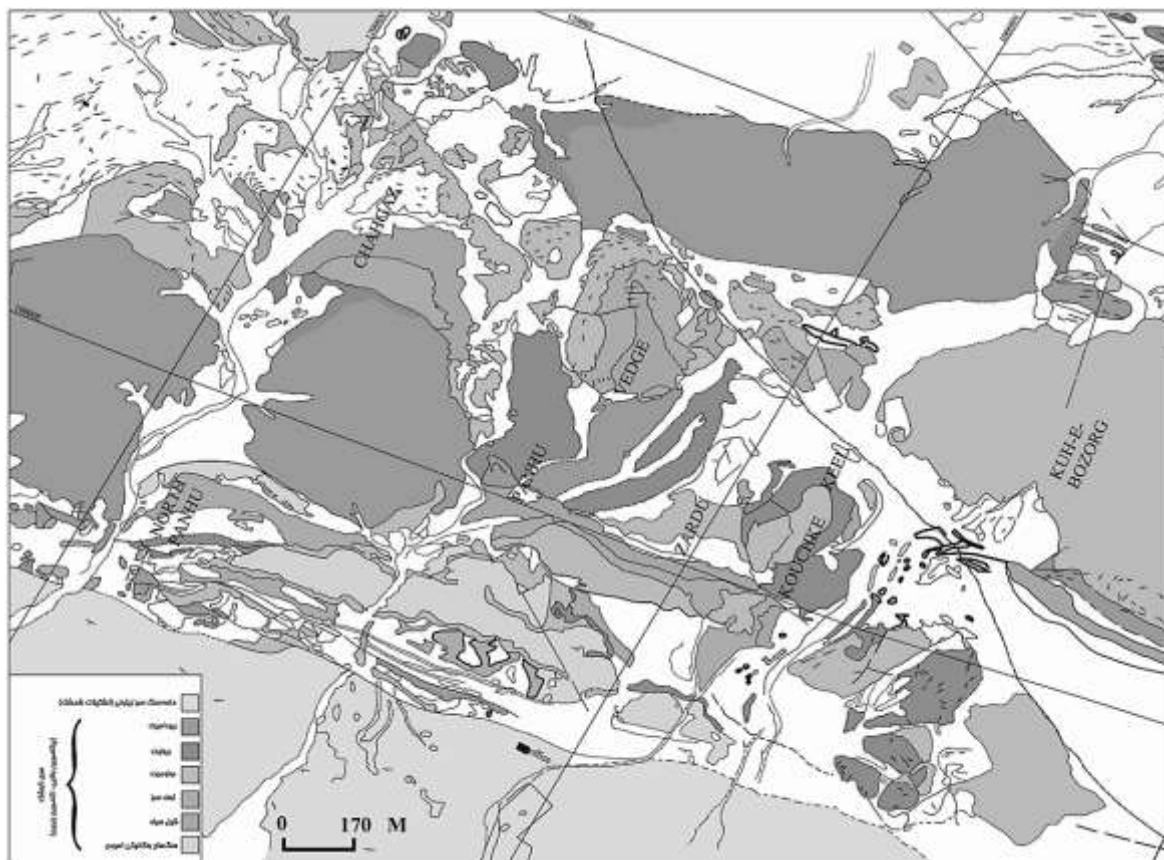
شکل ۱-۴ ستون چینه‌شناسی ناحیه معدنی بافق (فورستر و جعفر زاده، ۱۹۹۴، سهیلی و مهدوی، ۱۳۷۰)

۹- شیل کمر بالای باطله: بر روی افق دولومیتی پیریت دار شیل‌های کمر بالای باطله به رنگ سیاه وجود دارد.

۱۰- توف: در قسمت کمر بالای سری کوشک شیل‌های باطله‌ی کمر بالا به تدریج تبدیل به توف می‌شوند.

۱۱- دولومیت فوقانی: فوقانی‌ترین لایه در قسمت کمر بالای کانسار کوشک واحد دولومیتی بوده که این واحد حاوی چرت‌های آهن‌دار نیز می‌باشد.

بالا بودن عیار روی در کانسار روی و سرب کوشک را می‌توان ناشی از عبور محلول‌های گرم از سازند تاشک دانست که حاوی شیل‌های سیاه‌رنگ سیلیسی، سنگ‌های تخریبی با میان لایه‌های آهک بیتومینه می‌باشد (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ معدن کوشک. (دفتر آموزش زمین‌شناسی و اکتشافات معدن کوشک، ۱۳۷۰). در معدن کوشک گسل‌های متعددی وجود دارد که اکثر آن عادی با مولفه‌ی امتدادگرد راست لغز می‌باشند. از مهم‌ترین این گسل‌ها: گسل کیل، گسل کوشک، گسل زردو، گسل په‌نو و گسل کنج را می‌توان نام برد. نفوذ آب دریا از داخل شکستگی‌های حاصل از ریفت درون قاره‌ای باعث شده که عناصر

سرب، روی و آهن از پی سنگ حوضه‌ی بافق شسته شده و در سن اینفراکامبرین کانسار کوشک را تشکیل دهد.

۷-۱-۱ کانی‌شناسی کانسار کوشک

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، معدن کوشک شامل کانی‌های سولفیدی پیریت، اسفالریت، گالن و کالکوپیریت و کانی‌های غیرسولفیدی فسفات‌ها، سولفات‌ها، کربنات‌ها، اکسیدها و سلیکات‌ها می‌باشد که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود (مهرابی، ۱۳۷۰، آذرآئین و آفتابی ۱۳۸۲، زند، ۱۳۹۲).^۱

۱-۷-۱-۱ کانی‌های سولفیدی

پیریت (FeS_2). پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی تشکیل شده در کانسار کوشک است و از لحاظ ساخت، بافت، فرم و اندازه بلوری بسیار متنوع می‌باشد. به طور کلی نسل‌های متعددی از این کانی در کانسار کوشک تشکیل شده است.

اسفالریت (ZnS). فراوانترین سولفید در کانسار کوشک بوده و در واقع اصلی‌ترین و اقتصادی‌ترین کانه در کانسار کوشک می‌باشد. در نمونه‌های دستی کانسنگ کوشک دو نوع اسفالریت قابل مشاهده است اسفالریت روشن قهوه‌ای تا زرد رنگ (ورتزیت) و اسفالریت تیره خاکستری تا دودی، میزان آهن ورتزیت بسیار پایین‌تر از نوع دوم می‌باشد و در دمای پایین‌تری تشکیل می‌شود، زیرا با افزایش دما، میزان آهن بیشتری جانشین روی در اسفالریت می‌شود و رنگ اسفالریت را تیره‌تر می‌نماید. فراوانی نسبی اسفالریت در کانسار کوشک بیانگر درجه حرارت پایین تشکیل کانسار است (آذرآئین و آفتابی، ۱۳۸۲).

گالن (PbS). این کانی بعد از اسفالریت مهم‌ترین کانه اقتصادی کانسار کوشک محسوب می‌شود.

^۱ منبع اصلی از دفتر آموزش و اکتشافات معدن کوشک، ۱۳۹۴

کالکوپیریت (CuFeS_2). فراوانی این کانی در کانسار کوشک بسیار ناچیز است. کالکوپیریت‌های کانسار کوشک اولیه بوده و هم زمان با سولفیدهای دیگر در دیاژنز اولیه بوجود آمده است. این امر نشان می‌دهد که دمای محلول‌های کانی‌زا آنقدر بالا نبوده که مس را شسته و با خود حمل کند.

۱-۷-۲ کانی‌های غیرسولفیدی

۱-۲-۷-۱ کانی‌های فسفاتی

واریسکایت ($\text{Al}[\text{PO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). به صورت رگه‌های متقاطع در داخل کانسنگ پیریتی کانسار کوشک، در معدن روباز و زیرزمینی قابل مشاهده است. این کانی دارای رنگ سبز، جلای چرب اوپالی، شکستگی کونکوئیدال و رنگ خاکه سفید است و به مرور زمان در اثر از دست دادن رطوبت و آب کم رنگ‌تر می‌شود. این کانی برای اولین بار در منطقه واریسکایت در ایالت یوتای آمریکا و در ایران تنها در همین کانسار گزارش شده است. این کانی در اثر عملکرد آب‌های فسفات‌دار اکسیدان بر روی سنگ‌های آلومینیم‌دار مخصوصاً شیل‌ها تشکیل می‌گردد. کانی واریسکایت می‌تواند به صورت رگه‌های گرمابی دمای پایین، جانشینی و یا در محیط اکسید آن تشکیل گردد. از این کانی به جای فیروزه در جواهرسازی استفاده می‌شود و فرآیند تشکیل آن مانند فیروزه است (مهرابی، ۱۳۷۰).

پیرومورفیت ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$). این کانی جزء کانی‌های گروه آپاتیت است و به صورت بلورهای آبی تا آبی متمایل به سبز دیده می‌شود. این کانی در کانسار کوشک بسیار کمیاب است. پیرومورفیت در زون‌های اکسیدان بیشتر کانسارهای سرب دیده می‌شود.

۱-۲-۷-۲ کانی‌های سولفات

ملانتریت ($\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$). این کانی عمدتاً به صورت استالاگمیت و استالاکتیت در سقف و کف تونل‌ها در معدن زیرزمینی کوشک به صورت ثانویه حضور دارد. کانی ملانتریت، سولفات آهن آبدار است که در

کانسار کوشک به رنگ سبز تا سبز متمایل به آبی با سیستم مونوکلینیک تشکیل می‌شود. این کانی عمدتاً از تجزیه شیمیایی کانی‌های سولفیدی آهن همچون پیریت و به صورت ثانویه تشکیل می‌شود. ملانتریت را نمی‌توان به مدت زیاد در معرض هوا نگه داری کرد، زیرا به دلیل از دست دادن آب موجود در شبکه کانیایی خود، سریعاً به رنگ سفید تغییر رنگ داده و در معرض هوا پودر خواهد شد. ملانتریت را برای مدت طولانی، در داخل ظروف نفتی نگه داری می‌کنند.

اپسومیت ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). کانی ثانویه اپسومیت نیز مانند ملانتریت در سقف تونل‌های معدن زیرزمینی تشکیل می‌شوند. کانی اپسومیت یک کانی شفاف سولفات منیزیم آبدار است. اپسومیت عمدتاً از تجزیه شیمیایی کانی‌های سولفیدی و دولومیتی به صورت ثانویه تشکیل می‌شود. اپسومیت را نیز همچون ملانتریت نمی‌توان به مدت زیاد در معرض هوا نگه داری کرد چرا که به دلیل از دست دادن آب موجود در شبکه کانیایی خود سریعاً پودر خواهد شد.

باریت ($BaSO_4$). کانی سولفات باریم، شیری رنگ می‌باشد و در کانسار کوشک همراه با چرت‌های آهن‌دار به صورت رگه‌ای در کمر بالای سری کوشک یا سری معدن تشکیل شده است. تشکیل باریت و چرت در کمر بالای سری کوشک خود یکی از شواهد منطقی برای مدل ژنزی رسوبی-بروندمی (رسوبی-آتشفشانی) برای این کانسار است.

ژیپس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). کانی ژیپس در کانسار کوشک به صورت بلورهای سفید و شفاف تیغه‌ای در داخل درزها و شکاف‌ها همراه با کانسنگ سولفیدی به صورت ثانویه حضور دارد.

انیدریت ($CaSO_4$). یک سولفات کلسیم آبدار، به رنگ سفید می‌باشد. این کانی نیز در کانسار کوشک عمدتاً از تجزیه شیمیایی کانی‌های سولفیدی و دولومیتی به صورت ثانویه در کنار اپسومیت و ملانتریت تشکیل می‌شود.

لیناریت ($PbCu[(OH)_2 - SO_4]$). کانی لیناریت سولفات‌های آبدار سرب و مس با سیستم مونوکلینیک و رنگ آبی تیره یا لاجوردی می‌باشد. این کانی عموماً در زون‌های اکسیدان در بخش‌های فوقانی کانسارهای سرب و مس دیده می‌شود. به طور کلی این کانی در کانسار کوشک در زون ماده معدنی اصلی که در کمر پایین کانسار قرار داشته، در بخش‌هایی که عیار سرب در آنجا بالا است به صورت ثانویه تشکیل می‌شود. تجربه نشان داده است که تولید این کانی به میزان بارش باران و نفوذ آب‌های زیرزمینی در داخل شیل‌های کانی سازی شده بستگی دارد، هر اندازه میزان نفوذ آب‌های زیرزمینی در داخل سنگ میزبان بیشتر باشد کانی لیناریت بیشتر تشکیل می‌شود. فراوانی این کانی در کانسار کوشک ناچیز است.

۱-۲-۳-۷-۳ کانی‌های اکسیدی سرب و آهن

بخشی از کانی‌های اکسیدی آهن در اثر فرآیند هوازدگی و سوپرژن بر روی کانسار سولفیدی بوجود می‌آیند. این کانی‌ها عمدتاً شامل لیمونیت، گوتیت و هماتیت می‌باشند. کانی‌های فوق عمدتاً در سطح کانسار و یا در مسیرهای نفوذ جریان آب‌های زیرزمینی و به صورت ثانویه تشکیل می‌شوند. علاوه بر این کانی‌ها که به صورت ثانویه تشکیل می‌شوند، یکسری کانی‌های اکسیدی آهن مانند مگنتیت و هماتیت در کانسار کوشک دیده می‌شوند که ارتباط ژنتیکی آن‌ها در کنار کانسار سولفیدی کوشک هنوز به صورت مستدل بیان نشده است، اما به عنوان پیش فرض می‌توان تشکیل این کانی‌ها در کنار کانسنگ سولفیدی را در ارتباط با عملکرد برون‌دمی‌های آتشفشانی در ارتباط با سولفیدهای توده‌ای رسوبی - برون‌دمی دانست، که در آن کانسارهای آهن در حاشیه حوضه شکل گرفته‌اند.

۱-۲-۴-۷-۴ کانی‌های کربناتی

کانی‌های کربناته در سنگ میزبان و کانسنگ معدن کوشک به وفور مشاهده می‌شوند. کربنات‌های سنگ همبر کانسار بیشتر از نوع دولومیتی بوده و دارای کانی‌های دولومیت و کلسیت می‌باشند که در بخش کمر بالای کانسار کوشک در زون کانی سازی شده دوم زون کم‌عیار سنگ میزبان کانی‌های سولفیدی به

خصوص پیریت می‌باشند. کانی‌های کربناته به صورت رگه‌ای و بلوری کلسیت دندان سگی نیز مشاهده می‌شوند. به طور کلی کربنات‌ها، یک سنگ میزبان اصلی در کانسار کوشک محسوب می‌شوند. این کربنات‌ها حاوی مواد آلی زیادی بوده و تحت عنوان آهک بو دار معروفند. در کانسار کوشک سنگ‌های کربناته بار دار و عقیم وجود دارند، که نوع عقیم آن از باطله‌های اصلی معدن کوشک به شمار می‌روند.

۱-۷-۲-۵ کانی‌های سیلیکاتی

چرت‌های آهن‌دار یا ژاسپیلیت. چرت‌های آهن‌دار سنگ‌های سیلیسی نواری شکل قرمز رنگ هستند که حداقل حاوی ۲۵ درصد آهن می‌باشند. در کانسار کوشک چرت‌های آهن‌دار به صورت نواری به همراه باریت‌های رگه‌ای در قسمت کمر بالای سری کوشک یا سری معدن قرار دارند. تشکیل باریت و چرت در کمر بالای سری کوشک خود یکی از شواهد منطقی برای ژنز رسوبی-بروندمی بودن این کانسار است. کوارتز (SiO_2). این کانی همراه با کانسنگ سولفیدی و سنگ میزبان به صورت رگه‌ای مشاهده می‌شود و به دلیل اینکه گانگ‌های کوارتز از روند لایه‌بندی تبعیت می‌کند، اولیه بوده و می‌تواند اطلاعاتی را از شرایط فیزیکیوشیمیایی سیال کانسار ساز را در خود داشته باشند.

کانی‌های رسی. این کانی‌ها به میزان فراوان در شیل‌های کانه دار و همراه با سولفیدها و سایر کانی‌های غیرفلزی دیده می‌شوند که عمدتاً در معدن زیرزمینی به دلیل جلای صابونی به صورت کانی تالک ظاهر می‌شوند و احتمالاً به دلیل نفوذ آب‌های سیلیس‌دار در درون دولومیت‌ها کانی تالک تشکیل می‌شود.

۱-۸ سنگ‌های باطله و باطله‌های فرآوری معدن کوشک

معدن کوشک از دو قسمت پرعیار و کم‌عیار تشکیل شده است. قسمت پرعیار شامل کانی‌های گالن، اسفالریت و گانگ‌های پیریت و شیل می‌باشد. قسمت کم‌عیار معدن شامل پیریت، دولومیت، اسفالریت، گالن و کمی شیل است. سنگ‌های باطله در قسمت غربی و شمال غربی محدوده معدن در فاصله نه

چندان دور از معدن روباز دپو شده‌اند. این سنگ‌های باطله به طور کلی از شیل‌های سیاه و توف‌ها (که در بین کارکنان معدن معروف به شیل‌های سفید می‌باشند) و بیشتر مخلوطی از آن دو تشکیل شده‌اند. این توده‌های باطله، بسیار ناپایدار هستند (شکل ۱-۶).

در معدن کوشک، کارخانه فرآوری وجود دارد که در آن به روش فلوتاسیون، کنسانتره سرب و روی با عیار ۱۲ تا ۱۵ درصد و کنسانتره تهیه شده از زون پیریتی، ۴ تا ۶ درصد روی و ۳ درصد سرب دارد (سایت سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۹۰).

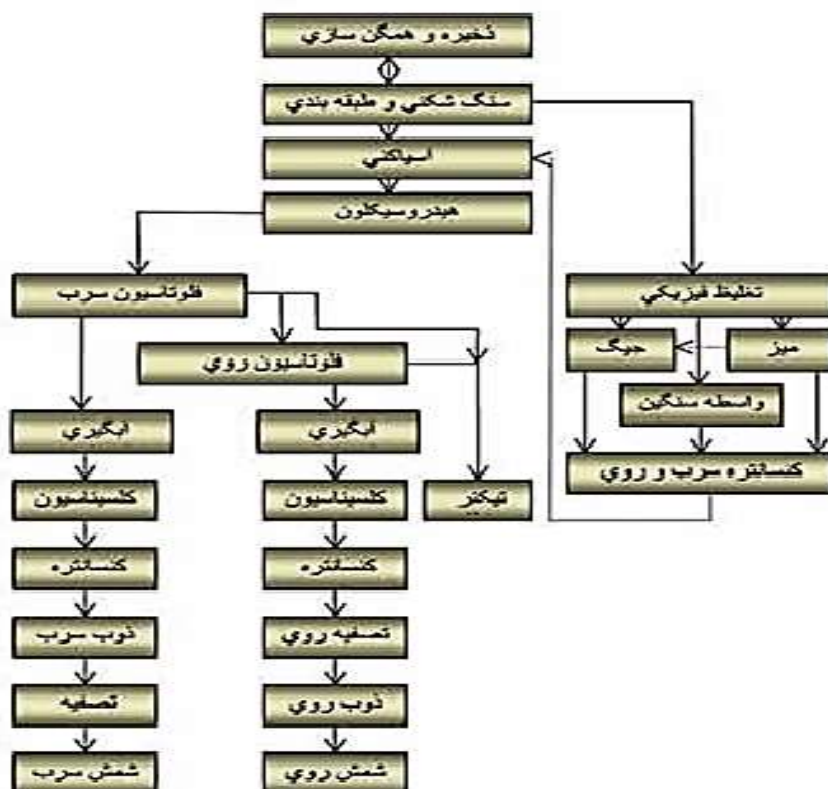


شکل ۱-۶ ایستگاه‌های برداشت نمونه‌های باطله

در شکل ۱-۷ شمای کلی از واحدهای مختلف تهیه کنسانتره سرب و روی نشان داده شده است. در معدن سرب و روی کوشک، ابتدا سنگ وارد بنکر سنگ شکن شده و پس از رسیدن ابعاد ذرات به ۲/۵۴ سانتی متر به کارخانه فرآوری منتقل می‌شود. به‌طور کلی فلوتاسیون مواد معدنی در کارخانه فرآوری طی سه مرحله صورت می‌پذیرد: ابتدا شیل‌های کربن‌دار به عنوان باطله جدا می‌شوند و از سیستم خارج می‌شوند سپس به ترتیب سولفورهای سرب و روی پرعیار می‌شوند برای جدا کردن شیل‌های کربن‌دار، ابعاد ذرات

توسط آسیاب به حدود ۱/۵ میلی متر یا ۱۰ مش کاهش می‌یابد سپس ذرات به سیکلون منتقل می‌شوند تا ذرات دارای اندازه ۲۰۰ مش جدا شوند. ذرات درشت‌تر برای خرد شدن به آسیاب گلوله‌ای فرستاده می‌شوند. برای پرعیار کردن سرب و روی سپس از مواد شیمیایی زیر استفاده می‌شود.

- ماده کف‌زای متیل ایزوبوتیل کربونیل
- گازوئیل، برای چسبیدن مواد باطله به جداره خارجی حباب‌ها
- اتیل‌اگزانتات پتاسیم به عنوان کلکتور گالن
- سولفات آهن به عنوان کلکتور اسفالریت و پیریت (جایگزین سیانور سدیم)
- سولفات مس جهت فعال کردن سولفور روی
- آهک برای قلیایی کردن pH
- امیل‌اگزانتات پتاسیم به عنوان کلکتور آهک



شکل ۱-۷ شمای کلی از واحدهای مختلف تهیه کنسانتره و شمش سرب و روی

فصل دوم

تاریخچه و

پیشینه

پژوهش

۱-۲ زهاب اسیدی معدن و زهاب اسیدی سنگ

سنگ‌های سولفیدی در اثر معدن‌کاری در تماس با رطوبت و اکسیژن جو قرار می‌گیرند. این امر باعث تجزیه و اکسایش کانی‌های سولفیدی می‌شود در این صورت (البته با محیا بودن سایر شرایط) زهاب اسیدی معدن^۱ تشکیل می‌شود. زهاب اسیدی معدن به عنوان یکی از اصلی‌ترین مشکلات زیست محیطی مرتبط با معدن‌کاری شناخته شده است (MEND Report 1.20.1). در صورتی که سنگ‌های سولفیدی در اثر عوامل طبیعی مانند: زمین لرزه، زمین لغزش، گسل‌ها و یا دیگر عوامل طبیعی در مجاورت رطوبت و اکسیژن جو گیرند و دچار تجزیه و اکسایش شوند، زهاب اسیدی سنگ^۲ را به وجود می‌آورند.

زهاب‌های اسیدی معدن و یا سنگ دارای ویژگی‌های شاخص همچون خاصیت اسیدی بالا، سولفات بالا، غلظت بالای عناصر بالقوه سمی و هدایت الکتریکی بالا می‌باشد. عناصر موجود در زهاب‌های اسیدی شامل: آرسنیک، سرب، آهن، مس، روی و در بعضی موارد سلنیم، تالیم و یا عناصر نادر خاکی است. نوع و غلظت عناصر موجود در زهاب، تابع کانی‌شناسی توده معدنی می‌باشد. حضور عناصر بالقوه سمی در زهاب‌های اسیدی، باعث آلودگی رسوبات، خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (MEND Report 1.11.1). باطله‌های معدنی اصلی‌ترین منبع تولید زهاب اسیدی شناخته می‌شوند.

به طور کلی زهاب اسیدی دارای سه منشأ اصلی می‌باشد که عبارتند از (MEND Report 1.20.1):

- اکسایش سولفیدهای آهن به ویژه پیریت و پیروتیت
- ته نشینی هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم ثانویه ناشی از اکسایش کانی‌های سولفیدی
- انحلال هیدروکسی سولفات‌های آهن و آلومینیم‌دار ژاروسیت $(\text{KFe}^{3+}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2)$ و آلونیت



¹ Acid Mine Drainage (AMD)

² Acid Rock Drainage (ARD)

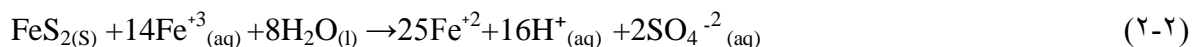
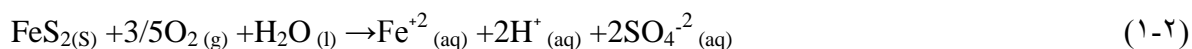
در جدول ۱-۲ فرآیند هوازدگی کانی‌های مهم گوگرد دار (سولفیدها و سولفات‌ها) همراه با واکنش‌های اکسایش کامل این کانی‌ها که منشأ اصلی تولید زهاب اسیدی هستند ارائه شده است (Plumlee, 1999).

جدول ۱-۲ هوازدگی مهم‌ترین کانی‌های گوگرد دار که منشأ تولید زهاب اسیدی می‌باشند [Plumlee, 1999]

واکنش شیمیایی	کانی	فرآیند
$FeS_{2(s)} + 3/75O_{2(g)} + 3/5O_{(l)} \rightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 2SO_4^{-2}(aq) + 4H^+(aq)$	پیریت و مارکاسیت	
$Fe_{0.9}S_{(s)} + 2/175O_{2(g)} + 2/35H_2O \rightarrow 0.9Fe(OH)_{3(s)} + SO_4^{-2}(aq) + 2H^+(aq)$	پروتیت	اکسایش سولفیدهای غنی از آهن
$CuFeS_{2(s)} + 3/75O_{2(g)} + 3/5H_2O \rightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 2SO_4^{-2}(aq) + Cu^{+2}(aq)$	کالکوپیریت	
$FeAsS_{(s)} + 3/5O_{2(g)} + 3H_2O_{(l)} \rightarrow FeAsO_4 \cdot 2H_2O_{(s)} + SO_4^{-2}(aq) + 2H^+(aq)$	آرسنوپیریت	
$(Zn.Fe)S_{(s)} + 3O_{2(g)} + H_2O \rightarrow Fe(OH)_{3(s)} + SO_4^{-2}(aq) + Zn^{+2}(aq) + 2H^+(aq)$	اسفالریت غنی از آهن	
$Fe^{+3}(aq) + 3H_2O_{(l)} \leftrightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 3H^+(aq)$	هیدروکسی آهن	ته نشینی هیدروکسیدهای آهن III و آلومینیم
$Al^{+3}(aq) + 3H_2O_{(l)} \leftrightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+(aq)$	هیدروکسی آلومینیم	
$FeSO_4 \cdot 7H_2O_{(s)} + 0.25O_2 \rightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 4/5H_2O_{(l)} + SO_4^{-2}(aq) + 2H^+(aq)$	ملانتریت	
$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6(s) + 3H_2O_{(l)} \rightarrow K^+(aq) + 3Fe(OH)_{3(s)} + 2SO_4^{-2}(aq) + 3H^+(aq)$	ژاروسیت	انحلال کانی‌های ثانویه
$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6(s) + 3H_2O_{(l)} \rightarrow K^+(aq) + 3Al(OH)_{3(s)} + 2SO_4^{-2}(aq) + 3H^+(aq)$	آلونیت	

۲-۲ اکسایش کانی‌های سولفیدی و تولید زهاب اسیدی

اکسایش سولفیدها باعث تولید زهاب اسیدی و افزایش غلظت فلزات سنگین، شبه فلزات و سولفات‌ها می‌شود. تشکیل زهاب اسیدی با تولید حرارت و مصرف اکسیژن همراه است. اکسایش و فروپاشی کانی‌های سولفیدی زمانی حاصل می‌شود که این کانی‌ها در تماس با آب و یا اکسیژن جو قرار گیرند. پیریت، رایج‌ترین کانی سولفیدی است که به‌طور معمول در همه جا حضور دارد. واکنش اکسایش کلی پیریت به شکل زیر می‌باشد:



اکسایش پیریت یک واکنش کاتدی و آندی می‌باشد. واکنش آندی شامل گرفتن الکترون از گوگرد سولفیدی و افزایش گوگرد سولفاتی می‌باشد. در اکسایش سولفیدها، هفت الکترون از کانی‌های دی‌سولفیدها (همراه با دو گوگرد سولفیدی) و هشت الکترون از کانی‌های مونو سولفیدها (همراه با یک گوگرد سولفیدی) از ساختار سولفیدها خارج می‌گردد.

مطالعات آزمایشگاهی که بر نمونه‌های باطله معدنی و فرآوری انجام شده است، نشان می‌دهد که ترتیب عمومی اکسایش کانی‌های سولفیدی به قرار زیر است. (Jambor et al, 2005)

پیروتیت < گالن < اسفالریت < بورتیت < پنتلندیت < آرسنوپیریت < مارکاسیت < پیریت < کالکوپیریت < مولیبیدنیت
 شدت اکسایش سولفیدها به عواملی همچون ترکیب کانی سولفیدی، ساختار بلوری، خصوصیات الکتروشیمی، شرایط هیدروشیمی زهاب، شرایط جوی، نوع و میزان ترکیبات اکسنده (اکسیژن، آهن فریک، نترات و آب اکسیژنه)، حضور باکتری‌های اسید دوست و سایر عوامل بستگی دارد.

در جدول ۲-۲ کانی‌های سولفیدی، فرمول شیمیایی آن‌ها و عناصر فلزی و شبه فلزی موجود در آن‌ها ارائه شده است (Vaughan and Craig, 1978).

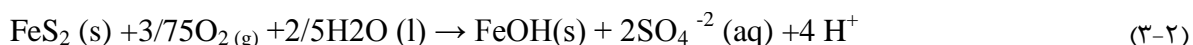
جدول ۲-۲ کانی‌های سولفیدی رایج، فرمول شیمیایی و ناخالصی‌ها در هر کانی

فرمول شیمیایی	عناصر (ناخالصی‌ها)	کانی
FeAsS		آرسنوپیریت
Cu ₃ FeS ₄		بورنیت
Cu ₂ S		کالکوسیت
CuFeS ₂	نقره، آرسنیک، بیسموت، کادمیوم، کبالت، کروم، منگنز، مولیبیدن، نیکل، سرب، روی	کالکوپیریت
HgS		سینابر
CoAsS		کبالتیت
CuS		کوولیت
CuFe ₂ S ₃		کوبانیت
Cu ₃ AsS ₄		انارژیت
PbS	نقره، آرسنیک، کادمیوم، مس، بیسموت، آهن، جیوه، منگنز، نیکل، روی	گالن
(Fe,Ni) ₉ S ₈		مکیناویت
FeS ₂	آرسنیک، جیوه، قلع، سلنیم، سرب، وانادیم	مارکازیت
Fe ₃ S ₄		ملنیکوویت
NiS		میلریت
MoS ₂		مولیدنیت
As ₂ S ₃		ارپیمت
(Ni,Fe) ₉ S ₈		پنتلانیدیت
FeS ₂	نقره، آرسنیک، طلا، بیسموت، کادمیوم، کبالت، گالیم، جیوه، سرب، نقره، آرسنیک، کبالت، کروم، مس، مولیبیدن، نیکل، سرب، روی	پیریت
Fe _{1-x} S		پیروتیت
AsS		رآلگار
Sb ₂ S ₃		استینیت
ZnS	نقره، آرسنیک، باریم، مس، کادمیوم، آهن، گالیم، منگنز، مولیبیدن، نیکل، سلنیم، وانادیم	اسفالریت
(Cu,Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃		تنانتیت

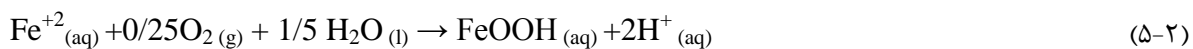
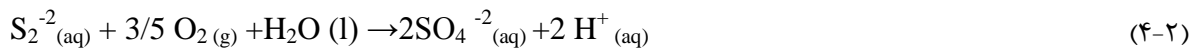
ادامه جدول ۲-۲ کانی‌های سولفیدی رایج، فرمول شیمیایی و ناخالصی‌ها در هر کان

(Cu.Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	تتراهدریت
FeNiS ₄	ویولاریت

محصولات اکسایش پیریت توسط محلول‌های با pH بالاتر از ۳ شامل کانی‌های گوتیت، یون‌های سولفات و هیدروژن می‌باشد:



(aq)



در صورتی که آب بیشتر در محیط حضور داشته باشد به جای گوتیت، فروهیدریت تشکیل خواهد شد:



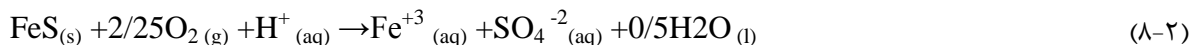
در حالت اکسایش قوی و pH کمتر از ۳/۵، آهن فرو اکسیده شده و به آهن فریک تبدیل می‌گردد. آهن

فریک هیدرولیز نشده و به اکسی هیدروکسید فریک تبدیل نمی‌گردد:



در طی اکسایش پیروتیت در شرایطی که pH کمتر از ۳ و یا ۳/۵ باشد، هیدرولیز آهن رخ می‌دهد،

بنابراین اکسایش پیروتیت، پروتون‌ها (هیدروژن‌ها) را مصرف کرده و باعث افزایش pH می‌گردد.



اکسایش گالن و اسفالریت توسط محلول با pH بیشتر از ۳/۵ به صورت زیر است:



ته نشین شده کانی‌های ثانویه با انحلال پذیری پایین، می‌تواند باعث کاهش سرعت اکسایش سولفیدها شود.

۲-۳ اکسایش و ته نشینی کانی‌های سولفات‌ها و هیدروکسی سولفات‌ها و تولید زهاب اسیدی

انحلال و ته نشینی کانی‌های سولفاتی نقش مهمی در شیمی زهاب اسیدی با افزایش EC، افزایش خاصیت اسیدی و افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی دارند. انحلال و رسوب‌گذاری سولفات‌ها ناشی از عوامل زیر است:

- تغییرات در دمای محلول و یا آب
- تبخیر و یا تشکیل در محیط دریایی کم عمق در هنگام تشکیل سازندهای زمین‌شناسی
- اکسایش و تولید زهاب از سنگ بستر که به عواملی همچون شدت و میزان اکسایش کانی‌های سولفیدی و دیگر عوامل هوازدگی، غلظت سولفات‌های محلول و دیگر گونه‌های شیمیایی (عناصر، یون‌ها و کانی‌ها) بستگی دارد.

در اثر رسوب آهن، آلومینیم و فلزات سنگین ناشی از اکسایش کانی‌های سولفیدی، خاصیت اسیدی افزایش می‌یابد. کاتیون‌های رایج در کانی‌های سولفاتی شامل عناصر قلیایی خاکی (منیزیم، کلسیم، استرانسیوم و باریوم) و یا آلومینیم، آهن و همچنین فلزات سنگین (سرب و روی) می‌باشد. خاصیت انحلال‌پذیری کانی‌های سولفاتی در محدوده بسیار گسترده است در جدول ۲-۳ انواع کانی‌های سولفاتی و فرمول شیمیایی آن‌ها ارائه شده است (MEND Report 1.20.1).

جدول ۲-۳ انواع کانی‌های سولفاتی

فرمول شیمیایی	نام کانی
سولفات‌های بدون آب (ASO ₄)	
CaSO ₄	انیدریت
BaSO ₄	باریت
SrSO ₄	سولفات استرانسیم (استراتیانیت)
PbSO ₄	آنکرایت
سولفات‌های آبدار با انحلال پذیری زیاد (ASO ₄ .bH ₂ O)	
CaSO ₄ .2H ₂ O	ژپس
FeSO ₄ .7H ₂ O	ملاتریت
FeSO ₄ .7H ₂ O	روزنیت
FeSO ₄ .H ₂ O	سزومولونکیت
Fe ⁺² (Fe ⁺³) ₂ (SO ₄) ₄ .14H ₂ O	رومریت
Fe ⁺² (Fe ⁺³) ₄ (SO ₄) ₆ (OH) ₂ .20H ₂ O	کوپاپیت
(Fe ⁺³) ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O	کوکومیت
Al ₂ (SO ₄)(OH) ₄ .7H ₂ O	آلومینیت
Al ₂ (SO ₄) ₃ .17H ₂ O	آلوژن
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	آلوم
MgSO ₄ .7H ₂ O	اپسومیت
سولفات‌های آبدار با انحلال پذیری کم	
KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	ژاروسیت
KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	آلونیت
Fe ⁺³ (SO ₄)(OH).5H ₂ O	فیبروفری
Fe ₈ O ₈ (OH) ₆ SO ₄	شرمانیت
Al ₄ SO ₄ (OH) ₁₀ .5H ₂ O	باسالومینیت

۴-۲ نقش سایر ترکیبات گوگردی در تولید زهاب اسیدی

کانی‌های گوگردی با حالات اکسایش متوسط معروف به گوگرد عنصری (نمک‌های تیو^۱) هستند این کانی‌ها فراوانی بسیار کمی دارند و معمولاً در اثر آب‌گرفتگی (سیل) در باطله‌های سولفیدی فرآوری معدنی به وجود می‌آیند. گوگرد آلی که در زغال‌سنگ، گلسنگ‌ها و خاک‌های زغال نارس یافت می‌شوند، عموماً در تولید اسید معدنی خالص در زهاب اسیدی دخیل نیستند ولی تولید اسیدهای آلی می‌کنند. از طرفی لیگاندهای آلی می‌توانند با آهن، آلومینیم و فلزات سنگین ترکیب شده و در اثر هوازدگی، گوگرد غیر آلی آزاد کنند.

۵-۲ نقش اکسیدها، هیدرواکسیدها، کربنات‌ها و سلیکات‌ها در خنثی کردن زهاب اسیدی

واکنش خنثی کردن اسید توسط کربنات‌ها (کلسیت نزدیک به pH ۶/۵ تا ۷/۵ و سیدریت بالاتر از pH ۴/۸ تا ۶/۳)، هیدرواکسیدهای آلومینیم دار (pH ۴/۰ تا ۴/۳) و هیدروکسی آهن‌دار (pH ۲/۵ تا ۳/۵) صورت می‌گیرد. اکسایش کانی‌های کربناتی مانند کلسیت تولید آنیون کربناتی و کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز می‌کند. سرعت واکنش کانی‌های کربناتی به قرار زیر می‌باشد:

کلسیت < دولومیت < آنکریت < سیدریت < مگنتیت

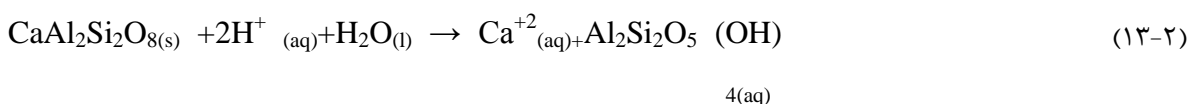
واکنش خنثی کردن کلسیت در pH نزدیک به خنثی صورت می‌گیرد و به قرار زیر می‌باشد:



در صورتی که اکسیژن محیط مصرف شود، کربنات‌های آهن و منگنزدار باعث خنثی‌سازی زهاب اسیدی می‌شود.

¹ Tio Salts ($\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$, $\text{S}_3\text{O}_6^{-2}$, $\text{S}_4\text{O}_6^{-2}$)

سطح اکسی هیدرواکسیدها در محیط‌های اسیدی دارای بار مثبت و در محیط‌های قلیایی دارای بار منفی می‌باشد و بعد از انحلال کانی‌های کربناتی، هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیم دار وسیلیکات‌های آلومینیم مکانیزم خنثی‌کنندگی را بر عهده می‌گیرند و محلول‌ها را به حدود pH خنثی می‌رساند. هوازدگی سیلیکات‌ها و سیلیکات‌های آلومینیم دار مثل پلاژیوکلاز فلدسپار، آنورتیت، اولیوین و فورستریت می‌تواند اسید را خنثی کنند و به عنوان منبع اصلی ورود آهن و آلومینیم عمل نماید. واکنش خنثی کردن اسید توسط آنورتیت و فورستریت به شکل زیر است.



آنورتیت



فورستریت

خنثی شدن اسید توسط سیلیکات‌ها و سیلیکات‌های آلومینیم دار، در مقایسه با خنثی شدن توسط کانی‌های کربناته بسیار کندتر است، به نحوی که نرخ هوازدگی آنورتیت، اولیوین و ولاستونیت ۲۰۰ بار و نرخ هوازدگی پیروکسن و آمفیبول ده هزار بار کمتر از کلسیت است. بیوتیت‌ها که از فیلوسیلیکات‌ها هستند با آزاد کردن پتاسیم، سریع‌ترین نرخ هوازدگی را در میان کانی‌های سیلیکاتی دارند.

۲-۶ نقش نیترات‌ها در زهاب اسیدی

کانی‌های حاوی نیترات مانند نیترات سودا و نیترات پتاسیم در سرزمین‌های گرم و خشک بیابانی و در اثر تجزیه و تخریب مواد شیمیایی که حاوی نیتروژن هستند، تشکیل می‌شوند. ترکیبات حاوی نیتروژن در اثر بارندگی به اسید نیتریک تبدیل شده و به اعماق منتقل شده و در آنجا با عناصر قلیایی ترکیب گردیده و نیترات‌ها را تشکیل می‌دهند کانی‌های نیتراتی با ژیپس، هالیت، انیدریت، اپسومیت و نیتروکلسیت پاراژنز دارند. در برخی از معادن مانند معادن زغال‌سنگ، اورانیوم، طلا و نقره آب‌ها معمولاً حاوی ترکیبات

نیتروزن (نیتریت، نیترات و آمونیاک و سیانیدها) هستند. نیترات‌ها می‌توانند به عنوان عامل اکسایشی کانی‌های سولفیدی عمل می‌نمایند و در تولید زهاب اسیدی نقش داشته باشند.

۲-۷ نقش هالیدها، پتاس و بورات‌ها در زهاب اسیدی

هالیت‌ها، پتاس‌ها و بورات‌ها در خنثی کردن اسید و تولید زهاب قلیایی دخیل هستند.

۲-۸ نقش مواد آلی در تولید زهاب اسیدی

کانی‌های رسی، مواد آلی و اکسی هیدرواکسید آلومینیم، آهن و منگنز نقش مهمی در آزاد کردن و یا ذخیره فلزات سنگین دارند. پایداری مواد آلی و اکسی هیدرواکسی‌ها، به شدت تابع pH است. سطح مواد آلی و کائولینیت در شرایط اسیدی دارای بار منفی می‌شود، بنابراین این مواد در تبادل آنیونی نقش مهمی را ایفا می‌کنند.

۲-۹ روش‌های ارزیابی تولید زهاب

برای ارزیابی تولید و پتانسیل تولید اسید و پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی از دو روش آزمایشگاهی استاتیک و سینتیک استفاده می‌شود. در ادامه این روش‌ها به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرند.

۲-۹-۱ آزمایش‌های استاتیک

آزمایش‌های استاتیک زیادی برای ارزیابی پتانسیل تولید اسید وجود دارند که هر یک از آن‌ها دارای مزایا و معایبی هستند برای کسب نتیجه مطلوب، بهتر است مجموعه‌ای از این آزمایش‌ها انجام شود تا نتایج به دست آمده به واقعیت نزدیک‌تر باشند. در جدول ۲-۴ به برخی از آزمایش‌های استاتیک رایج اشاره می‌شود.

جدول ۲-۴ تعدادی از آزمایش‌های استاتیک

توضیحات	منبع	آزمایش استاتیک
پتانسیل اسید-گوگرد کل پتانسیل خنثی کردن-آزمون فیز اسید کلریدریک (جوشیده) ← باعث انحلال کربنات‌ها و بیشتر سلیکات‌ها می‌شود.	(Sobek,1978)	محاسبه اسید و باز استاندارد(Sobek)
پتانسیل اسید-گوگرد کل پتانسیل خنثی کردن ← آزمون فیز (Lapakko,1992) پیشنهاد کرد که تیتراسیون سود باعث افزایش بیش از اندازه پارامتر پتانسیل خنثی کنندگی می‌شود.	Lawrence and) (wang,1997	محاسبه اسید و باز تصیح شده
پتانسیل خنثی کردن ← آزمون فیز اسید کلریدریک (جوشیده) باعث انحلال کربنات‌ها و بیشتر سلیکات‌ها اضافه کردن آب اکسیژنه ← اکسایش آهن فریک موجود در سیدریت	(Skousen et.al,1997)	اصلاح کننده سیدریت Sobek NP
پتانسیل اسید-گوگرد کل پتانسیل خنثی کردن ← اسید سولفوریک که باعث انحلال کربنات‌ها و لیمونیت و کلریت می‌شود این روش دقیق‌تر از روش محاسبه اسید و باز است.	Duncan and (Bruynesteyn,1979)	BCR initial Test
پتانسیل خنثی کردن ← اسید سولفوریک به مدت یک هفته انحلال کامل کربنات‌ها در مورد بدترین حالت نمونه‌ها	(Lapakko,1994)	Lapakko NP Test
واکنش آب اکسیژنه و سپس تیتراسیون توسط سود محاسبه و تبدیل گاز دی اکسید کربن نسبت به کلسیت	(Miller et.al,1997) (استاندارد آمریکا ASTM ،) ۱۹۹۷	تولید اسید خالص کربن کربنات
آب مقطر با نمونه مخلوط شده و سپس pH اندازه می‌شود.	(Sobek et.al,1978)	pHخمیره گلی

۲-۹-۲ آزمایش‌های سینتیک

همانطور که قبلاً اشاره شد، آزمایش‌های سینتیک تکمیل کننده آزمایش‌های استاتیک هستند و در ارزیابی و پیش‌بینی پتانسیل تولید و تولید زهاب اسیدی معدن نقش مهمی ایفا می‌کنند. آزمایش‌های

استاتیک نیز از تنوع زیادی برخوردارند. در جدول ۲-۵ به متداولترین آزمایش‌های سینتیک اشاره شده است. نام آزمایش‌ها، خلاصه‌ای از روش‌های انجام آزمایش‌ها، مزایا و معایب هر کدام از این آزمایش‌ها را در جدول ۲-۵ ارائه شده است.

جدول ۲-۵ متداولترین آزمایش‌های سینتیک

توضیحات	منبع	آزمایش‌های سینتیک
سه روز خشک کردن با هوای خشک سه روز خشک کردن با هوای مرطوب روز آخر مخلوط با آب مقطر در سلول شرایط متغیر بسته به اهداف پروژه مشکلات آزمایش: هزینه بالا، نیاز به تجهیزات و مدت زمان طولانی	(Sobek, ۱۹۷۸)	سلول مرطوب سیستم بسته
فایده‌های آزمایش: تعداد زیاد نمونه حرارت آب مقطر ۲۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و آب مقطر به صورت چرخشی از نمونه می‌گذرد مشکلات آزمایش: نیاز به تجهیزات خاص فایده‌های آزمایش: ساده، مدت زمان کم و چرخشی بودن سیستم زهاب	(Singleton, ۱۹۷۸)	استخراج Soxhelet
گرفتن زهاب مشکلات آزمایش: مدت زمان طولانی و اشکال در تفسیر نتایج فایده‌های آزمایش: تنوع در نمونه‌ها با دانه بندی مختلف	(Hackl, ۱۹۸۲)	آزمایش ستونی سیستم بسته
مشکلات آزمایش: نیاز به زیر بنا و لوله‌کشی دارد، بسیار پر هزینه و زمان طولانی پروژه (سال‌ها) فایده‌های آزمایش: باطله‌های واقعی استفاده می‌شود و در شرایط محیطی معدن انجام می‌شود.		آزمایش صحرائی سیستم بسته و یا باز

فصل سوم

روش انجام

تحقیق

۳-۱ مقدمه

همانطور که قبلاً اشاره شد، زهاب اسیدی معدن یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین مشکل در صنعت معدن کاری می‌باشد که پیش‌بینی آن برای تجدید و احیای معدن و همچنین مدیریت درست و انتخاب استراتژی مناسب در طول استخراج و بهره‌برداری بسیار ضروری است. پیش‌بینی، کنترل و پاکسازی زهاب اسیدی معدن سه مرحله ضروری برای جلوگیری از آسیب به محیط معادن و مناطق پیرامون آن‌ها می‌باشد. در مرحله پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی، ابتدا می‌بایست برای شناخت و ارزیابی زهاب‌های مختلف تشکیل شده از انواع باطله‌ها، نمونه برداری شود. از انواع باطله‌های موجود در معدن کوشک، دو نوع نمونه معرف از سنگ‌های باطله‌های معدنی با کد (SH و T) و یک نمونه معرف از قدیمی‌ترین باطله‌های سد فرآوری (نمونه G) برداشت شد (در مجموع ۴۴ نمونه).

آزمایش‌های زیر بر روی نمونه‌های برداشت شده انجام شد:

- آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی شامل: تعیین وزن مخصوص، اندازه ذرات نمونه‌ها، تعیین درصد رطوبت

Eh ، pH ، EC ، (L.O.I)

- آزمایش‌های کانی‌شناسی شامل: پراش سنجی پرتو ایکس، میکروسکوپ نوری و انعکاسی، میکروسکوپ

الکترونی روبشی - پراش سنجی پرتو ایکس

- آزمایش‌های ژئوشیمیایی شامل: فلئوئورسانس پرتو ایکس، طیف سنجی گسیل پلاسمای جفت شده

القایی

- آزمایش‌های استاتیک شامل: آزمایش pH خمیری (اندازه‌گیری pH و Eh گل اشباع)، آزمون

محاسبه اسید و باز به دو روش استاندارد و اصلاح شده، آزمون پژوهش ابتدایی بریتیش کلمبیا، آزمون

تولید خالص اسید، آزمون ظرفیت خنثی‌سازی اسید

- آزمایش‌های سینتیک شامل: آزمون ستونی لیچینگ زهاب در سیستم باز

در این فصل به شرح روش نمونه برداری، مطالعات کانی‌شناسی، فیزیکوشیمیایی، استاتیک و سینتیک صورت گرفته بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده پرداخته می‌شود.

۳-۲ نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری از باطله‌های معدن سرب و روی کوشک از دو محل اصلی انجام شد. محل اول، مکان دپو سنگ‌های باطله معدنی است که مخلوطی از شیل‌ها (ایستگاه SH) و توف (ایستگاه T) است. محل دوم، مکان دپو قدیمی‌ترین باطله‌های فرآوری معدنی (ایستگاه G) است. از هر یک از ایستگاه‌های SH و T یازده نمونه، و از ایستگاه G ۲۲ نمونه برداشت شد و از مخلوط کردن نمونه‌های هر ایستگاه، در نهایت یک نمونه مرکب از آن ایستگاه به دست آمد.

برای نمونه برداری، ابتدا باطله‌های سطحی کنار زده شده و سپس با استفاده از بیلچه، گودالی به عمق بیست سانتی متر حفر گردید. نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی قرار داده شدند و در هر کیسه کاملاً بسته شد تا هوایی در آن موجود نباشد. در آزمایشگاه، نمونه‌های درشت توسط هاون خرد شدند و سپس از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. سپس هر نمونه توسط دستگاه گرایندر پودر شد تا اندازه ذرات به کمتر از ۰/۰۷۵ میلی متر برسد. شکل (۱-۳) ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

۳-۳ آزمایش‌های کانی‌شناسی

۳-۳-۱ پراش سنجی پرتو ایکس^۱

به کارگیری اشعه ایکس در مطالعه بلورها، نقش مهمی را در بلورشناسی ایفا کرده است. اشعه ایکس این امکان را فراهم می‌کند که نه تنها فاصله بین سطوح اتمی متوالی در بلورها اندازه‌گیری گردد، بلکه موقعیت اتم‌ها یا یون‌های مختلف درون بلور نیز مشخص شود. نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه پراش اشعه ایکس مدل D8-Advance آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده معدن دانشگاه تهران مورد مطالعه کانی‌شناسی قرار گرفتند.

^۱ X-Ray Diffraction (XRD)

۲-۳-۳ مطالعات میکروسکوپ نوری و انعکاسی

از اهداف مطالعه با میکروسکوپ‌های نوری و انعکاسی می‌توان به تخمین درصد و نوع کانی‌های فلزی و غیرفلزی در نمونه، بافت و ساخت کانی‌ها و چگونگی پیدایش کانی‌ها اشاره کرد. مطالعات میکروسکوپی، بر روی ۶ مقطع نازک و ۶ مقطع صیقلی تهیه شده از باطله‌های معدنی انجام شد.

۳-۳-۳ مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی پراش انرژی اشعه ایکس^۱

در این روش، نمونه با لایه‌ای نازک از کربن و طلا به صورت یکنواخت پوشیده شود. پس توسط این دستگاه الکترون‌ها به سطح نمونه تابیده و بازتاب می‌شوند. بازتاب الکترون تصویر سه بعدی از سطح نمونه را فراهم می‌کند. اطلاعاتی که میکروسکوپ الکترونی ارائه می‌دهد شامل: ریخت‌شناسی و مورفولوژی کانی‌ها، ابعاد کانی‌ها، نوع کانی‌ها می‌باشد. طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس یک روش تحلیلی است که برای تجزیه و تحلیل ساختاری یا خصوصیات شیمیایی یک نمونه به کار می‌رود. این روش بر بررسی بر هم کنش بین یک منبع برانگیختگی پرتو ایکس و یک نمونه متکی است. قابلیت‌های توصیفی این روش به طور کلی بر اساس این اصل کلی است که هر عنصر دارای یک ساختار اتمی منحصر به فرد است که مجموعه منحصر به فردی از قله‌ها^۲ را در طیف پرتو ایکس آن ممکن می‌سازد.

۴-۳ بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه

۱-۴-۳ بررسی دانه‌بندی نمونه‌ها^۳

یکی از مهمترین روش‌های بررسی دانه‌بندی خاک، استفاده از الک‌های آزمایشگاهی استاندارد می‌باشد. برای انجام آزمایش الک (روش استاندارد ASTM-C33)، مجموعه‌ای از الک‌های مورد نظر را با توجه به

^۱ Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)

^۲ peaks

^۳ Sieve analysis

اندازه روزنه‌های الک بر روی هم قرار می‌گیرند. به این صورت که الک‌ها با روزنه‌های بزرگتر در بالا و الک‌ها با روزنه‌های کوچکتر به ترتیب در طبقات پایین‌تر قرار می‌شود. در پائین‌ترین طبقه، پن (ظرف جمع آوری) قرار می‌گیرد ابتدا نمونه را وزن نموده (۱ کیلو گرم) و نمونه پس از شکستن کلوخ‌ها با ضربه‌های آرام بر روی الک اول ریخته می‌شود. مجموعه الک‌ها برای مدت معلومی تکان داده می‌شود تا دانه‌های خاک از آن عبور کند. این روش برای دانه‌های درشت‌تر خاک منطقی است ولی برای دانه‌های بسیار ریز مناسب نیست زیرا دانه‌های بسیار ریز خاک به یکدیگر می‌چسبند و در نتیجه روش الک دیگر جواب‌های مناسبی نخواهد داد. بعد از الک نمودن، نمونه‌های هر الک را با ترازو وزن می‌نماییم و مقدار مانده هر الک را به صورت جدولی با احتساب نسبت ذرات به جرم کل به صورت درصد (٪) نوشته و نیز درصد عبوری هر الک را نیز محاسبه می‌نماییم.

برای جدا کردن ماسه از شن از الک مش ۴ (ابعاد روزنه‌ها ۴/۷۵ میلی متر) استفاده می‌شود و برای جدا کردن ماسه از سیلت و رس از الک مش ۲۰۰ (اندازه سوراخ‌ها ۰/۰۷۵ میلی متر) است استفاده می‌شود. پس از ثبت نتایج، منحنی‌های دانه‌بندی رسم می‌شود.

۳-۴-۲ اندازه‌گیری pH، EC، Eh و دما

روش‌ها و استانداردهای مختلفی برای محاسبه pH، EC، Eh و دما وجود دارد که در این پژوهش از نسبت جامد به مایع ۱:۲ و دو بازه زمانی ۱۵ دقیقه بعد از شروع آزمایش و ۲۴ ساعت بعد استفاده شد. اندازه‌گیری pH، Eh و دما توسط دستگاه AZ meter با سنسورهای pH و ORP و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه Water Meter Quality آزمایشگاه محیط زیست دانشکده معدن دانشگاه تهران استفاده گردید.

۳-۴-۳ فلوئورسانس پرتو ایکس^۱

طیف‌نگاری فلوئورسانس اشعه ایکس، توانایی انجام آنالیز عنصری به صورت کیفی و نیمه کمی نمونه‌ها به خصوص نمونه‌های معدنی را داراست.

مهم‌ترین عناصری که به وسیله این روش اندازه‌گیری می‌شود عبارتند از آلومینیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، آهن، کرم، تیتانیوم، منگنز، سیلیکون و گوگرد است. میزان گوگرد کل به دست آمده از این آزمایش، همان درصد گوگرد کل است که در فرمول‌های استاتیک استفاده می‌شود. نتایج حاصل از سنجش عناصر، به صورت اکسیدهای عناصر بیان می‌شود. اندازه‌گیری غلظت عناصر سبکتر از سدیم با عدد اتمی ۱۱، توسط دستگاه XRF امکان پذیر نمی‌باشد. نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه فلوئورسانس پرتو ایکس مدل Axios Fast مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد مطالعه ژئوشیمیایی قرار گرفتند. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری کیفی و کمی عناصر موجود در نمونه‌های معدنی را دارا است.

۳-۴-۴ طیف سنجی گسیل پلاسما جفت شده القایی^۲

در پلاسمای جفت شده القایی، برای آنالیز عنصری بیشتر عناصر (بجز آرگون) می‌توان استفاده کرد. هدف استفاده از این دستگاه، تعیین نوع و غلظت عناصر تشکیل دهنده نمونه‌ها است. نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه طیف سنجی گسیل پلاسما جفت شده القایی مدل ICAP6000 مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد مطالعه ژئوشیمیایی قرار گرفتند. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری کیفی و کمی هم‌زمان بیست عنصر موجود در نمونه‌های معدنی را دارا است.

¹ X-ray fluorescence (XRF)

² Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry (ICP- AES)

۳-۵ آزمایش‌های استاتیک

۳-۵-۱ آزمایش اندازه‌گیری pH خمیره یا گل اشباع^۱

آزمایش اندازه‌گیری pH گل اشباع بسیار ساده، سریع و ارزان است. هدف از انجام این آزمایش اندازه‌گیری pH خمیری یا گل اشباع نمونه پودر شده با آب است. این آزمایش مشخص می‌کند که آیا نمونه پتانسیل اسید دارد یا نه. در این آزمایش ۱۰ گرم از نمونه که از الک ۶۰ گذشته را در بشر ریخته و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه می‌شود. نمونه بدون هم زدن یا تکان دادن کنار گذاشته می‌شود. سپس مجدداً مقداری آب مقطر به بشر اضافه شده تا گل اشباع تشکیل شود. سپس pH خمیره اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش pH نمونه‌ها (به عبارت دیگر اسیدی و یا قلیایی بودن نمونه‌ها) را مشخص می‌نماید ولی نرخ تولید اسید را پیش‌بینی نمی‌کند.

۳-۵-۲ آزمایش محاسبه اسید و باز استاندارد^۲

- تعیین پتانسیل خنثی کردن اسید:

هدف از انجام این آزمایش بررسی توازن بین اجزاء تولید کننده اسید و اجزاء مصرف کننده اسید موجود در باطله می‌باشد. در ابتدا باید آزمایش فیز^۳ را برای به دست آوردن غلظت و مقدار اسید هیدروکلریدریک مورد استفاده در آزمایش انجام داد. ۰/۵ گرم نمونه که از الک ۶۰ مش گذشته است را روی یک شیشه ساعت آزمایشگاهی قرار داده و به آن ۱ یا ۲ قطره اسید هیدروکلریدریک ۲۵٪ اضافه می‌شود که حضور کربنات‌ها در نمونه با تولید حباب و ایجاد صدا مشخص می‌شود. در جدول ۳-۱، نرخ آزمایش فیز با توجه به حجم و نرمالیت اسید هیدروکلریدریک ارائه شده است.

¹ Paste pH Test

² Standard Acid Base Accounting Test (SABA)

³ Fizz Rating Exprimment

جدول ۳-۱ آزمایش فیز و درجه فیز

نرخ فیز	حجم اسید اضافه شده (میلی لیتر)	نرمالیتة اسید
بدون واکنش	۲۰	۰/۱
ضعیف	۴۰	۰/۱
متوسط	۴۰	۰/۵
قوی	۸۰	۰/۵

سپس ۱۰ گرم از نمونه که از الک مش ۶۰ عبور کرده است را در بشر ریخته و بر اساس جدول (۳-۱)، را به نمونه اسید کلریدریک با حجم و نرمالیتة مشخص اضافه کرده و تا نزدیکی دمای جوش به آن حرارت داده می‌شود و هم‌زمان مخلوط را هم زده تا واکنش شیمیایی کامل شود و کلیه گازها خارج شوند و ذرات در کف ظرف ته‌نشین نشوند سپس به مخلوط آب مقطر اضافه کرده تا حجم نهایی ۱۲۵ میلی‌لیتر حاصل شود. سپس دوباره به مدت ۱ دقیقه به مخلوط حرارت داده می‌شود تا به جوش بیاید. در بشر بسته شده و اجازه داده می‌شود تا دمای آن به دمای اتاق برسد. سپس این مخلوط را فیلتر کرده تا محلولی برای تیتراسیون سود ۰/۱ یا ۰/۵ نرمال به دست آید. در صورت فیلتر نکردن مخلوط، قرائت pH در هنگام تیتراسیون با مشکل مواجه می‌شود. این مخلوط توسط سود (با حجم و نرمالیتة معادل حجم و نرمالیتة اسید استفاده شده) تیترو می‌شود تا pH به ۷ برسد. اگر کمتر از ۳ میلی‌لیتر سود برای رساندن pH به عدد ۷ به مدت (در مدت ۳۰ ثانیه) لازم باشد احتمالاً اسید کافی اضافه نشده و در نتیجه باید این مراحل را بر اساس درجه بعدی فیز بر طبق جدول ۳-۱ دوباره انجام داد. در نهایت، پتانسیل خنثی کردن اسید نمونه توسط رابطه زیر به دست می‌آید.

$$NP = \frac{50 a [x - (b/a)y]}{c} \quad (۱-۳)$$

که در آن، a نرمالیت ه اسید، b نرمالیت ه سود، c وزن نمونه (بر حسب گرم)، x حجم اسید (میلی متر) و y حجم باز (میلی متر) استفاده شده است.

در این آزمایش، پتانسیل اسید (AP) از رابطه زیر به دست می آید:

$$AP = \%S \times 31/25 \quad (\text{kgCaCO}_3 \text{ eq/tonne}) \quad (2-3)$$

که در آن S ، درصد گوگرد کل و یا درصد گوگرد سولفیدی در نمونه است.

آزمایش محاسبه اسید - باز استاندارد از روش های رایج ارزیابی پتانسیل تولید اسید است. این آزمایش ساده و آسان کم هزینه و قابل بکارگیری برای تعداد زیادی نمونه است. در این آزمایش حداکثر پتانسیل خنثی کردن و حداکثر پتانسیل تولید اسید توسط یک نمونه به دست می آید. با این حال نرخ تولید اسید و میزان تولید اسید قابل اندازه گیری نیست. همچنین استفاده از گوگرد کل دارای معایبی است چرا که همه گوگرد موجود در نمونه ممکن است گوگرد سولفیدی نباشد و سایر گونه های گوگرد (سولفات ها گوگرد خالص گوگرد آلی) در نمونه وجود داشته باشند.

▪ پتانسیل خنثی کنندگی خالص (NNP):

این پارامتر از اختلاف بین پتانسیل اسید و پتانسیل خنثی شدگی حاصل می گردد و در صورت منفی بودن تولید زهاب اسیدی را خواهیم داشت و در صورت داشتن فاز ژاروسیت پتانسیل اسید جدید (ضریب ۰/۷۵) جایگزین می گردد.

$$\text{Net NP} = \text{NP} - \text{AP} \quad (\text{equ/tonne}) \quad (3-3)$$

▪ نسبت پتانسیل خالص (NPR):

این پارامتر از تقسیم پتانسیل خنثی شدگی و پتانسیل اسید حاصل می‌شود که اگر این مقدار از ۱ کوچکتر باشد تولید زهاب اسیدی خواهیم داشت و در صورت داشتن فاز ژاروسیت پتانسیل اسید جدید جایگزین می‌گردد.

$$NRP = NP/AP \quad (4-3)$$

▪ ظرفیت خنثی سازی اسید (ANC):

$$ANC = 0/98 \times NP \quad (\text{eq/tonne}) \quad (5-3)$$

▪ حداکثر پتانسیل اسید (MPA) یا پتانسیل تولید اسید (APP):

$$APP \text{ or } MPA = 0/98 \times AP \quad (\text{Kg CaCO}_3 \text{ eq/tonne}) \quad (6-3)$$

۳-۵-۳ آزمایش شمارش اسید و باز اصلاح شده^۱

هدف از این آزمایش نیز بررسی توازن بین مولفه‌های تولید و مصرف اسید یک نمونه باطله است. این آزمایش مشابه آزمایش محاسبه اسید و باز استاندارد با همان مقدار و غلظت اسید ولی با اندازه ذرات کوچکتر عبور کرده از (الک با مش ۲۰۰) به مدت زمان بیشتر هم‌زدن با هم‌زن مغناطیسی و در دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. تقریباً ۶ ساعت بعد از شروع هم‌زدن pH اندازه‌گیری می‌شود. مقدار pH باید بین ۱/۵ تا ۲ باشد، اگر بیشتر باشد درجه فیز به مرحله بعد با حجم بیشتر اسید انجام می‌شود و در صورتی که pH از ۱/۵ پایین‌تر باشد به مرحله قبلی از آزمایش فیز (با غلظت و مقدار متفاوت اسید و باز) بر می‌گردیم. سپس نمونه با سود تیترومی شود تا زمانی که pH به ۸/۳ برسد و به مدت ۳۰ ثانیه ثابت بماند. فرمول‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری شده همانند آزمایش شمارش اسید و باز استاندارد می‌باشد.

¹ Modify Acid Base Accounting Test (MABA)

۳-۵-۴ آزمایش پژوهش ابتدایی بریتیش کلمبیا^۱

هدف از انجام این آزمایش نیز بررسی توازن بین اجزاء تولید کننده و مصرف اسید موجود در نمونه باطله‌های معدنی است. در این آزمایش ظرفیت خنثی‌کنندگی و پتانسیل تولید اسید نمونه محاسبه می‌گردد. با مقایسه این دو می‌توان به ماهیت نمونه پتانسیل تولید و یا خنثی نمونه را از نظر دارا بودن پتانسیل تولید یا مصرف اسید، رده بندی کرد. ۱۰ گرم از نمونه که از الک ۴۰۰ با مش عبور کرده را در داخل بشر ریخته به آن اسیدسولفوریک با غلظت نرمال اضافه کرده تا pH نهایی در طی ۴ ساعت به ۳/۵ برسد سپس از فرمول زیر میزان مصرف اسید و پتانسیل تولید اسید محاسبه می‌شود:

$$(۷-۳) \quad \text{مصرف اسید} = \frac{\text{حجم اسید سولفوریک} \times 1000 \times 0.049}{\text{نمونه وزن}}$$

(AC)

از مزایای این آزمایش می‌توان به سریع بودن و آسان بودن آن و استفاده از اسیدسولفوریک به جای اسید هیدروکلریک (که ظرفیت خنثی‌کنندگی دقیقتری را ارائه می‌دهد) اشاره کرد. از نقایص این روش، این است که در این آزمایش میزان تولید اسید و واکنش‌های خنثی‌سازی محاسبه نمی‌شود. همچنین این آزمایش، هزینه بر و زمان‌بر است.

۳-۵-۵ آزمایش تولید اسید خالص

در این آزمایش بدون استفاده از درصد گوگرد، تولید و خنثی‌کردن اسید محاسبه می‌شود. در این آزمایش آب اکسیژنه ۳۰ تا ۵۰٪ با نمونه ترکیب شده و هم‌زمان، اسید تولید و کربنات‌ها خنثی می‌شوند. ۵ گرم از نمونه عبور کرده از الک ۲۰۰ مش با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰-۵۰٪ در بشر ۱۰۰۰ یا بزرگتر ریخته می‌شود و به مدت ۱ ساعت یا بیشتر با هم‌زن مغناطیسی هم می‌خورد تا واکنش شیمیایی کامل شده و تمام گازها خارج شود. در نمونه‌هایی که درصد گوگرد بالاتری دارند

¹ B.C.Research Initial Test

واکنش ها با حرارت و تولید حباب‌های بیشتر مانند سر رفتن شیر رخ می‌دهند و احتیاط زیادی در این صورت باید لحاظ شود. سپس مخلوط فیلتر شده و با سود تیترا می‌شود تا pH به ۷ برسد. pH اندازه‌گیری شده قبل از تیتراسیون همان pH تولید اسید خالص (NAG) می‌باشد. پس میزان تولید اسید خالص (Net AP) توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Net AP} = \frac{50ab}{c} \quad (۸-۳)$$

که در آن، a نرمالیت‌ه سود، b حجم سود اضافه شده (میلی‌لیتر) و c وزن نمونه (گرم) است. واحد تولید اسید خالص کیلوگرم CaCO_3 در هر تن باطله است.

از نقایص این آزمایش می‌توان به پیش‌بینی نکردن میزان تولید اسید و دخالت کردن عناصر قلیایی در واکنش پیریت و آب اکسیژنه اشاره کرد.

۳-۵-۶ آزمایش ظرفیت خنثی سازی اسید

با محاسبه ANC یک نمونه باطله می‌توان ظرفیت خنثی‌کنندگی یا توانایی ذاتی خنثی‌کنندگی یک ماده (که معمولاً مربوط به حضور کانی‌های کربناته است) را تعیین کرد. ANC به وسیله اضافه کردن مقدار مشخصی از اسید کلریدریک استاندارد به وزن مشخص نمونه (به نحوی که واکنش کامل شود) و سپس تیتراسیون برگشتی در شرایط گرم و مخلوط با سدیم هیدروکسید استاندارد است (Sobek, 1887).

به منظور تعیین ANC نمونه‌های باطله، ابتدا نمونه‌ها خشک و سپس پودر شده و در بوته سرامیکی یک تا دو قطره اسید کلریدریک ۸ درصد اضافه می‌شود تا حضور CaCO_3 در نمونه مشخص شود. سپس ۲ گرم از نمونه خشک شده و پودر شده در یک بشر ریخته می‌شود. سپس بر اساس جدول (۳-۲)، حجم مشخصی از اسید کلریدریک و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه اضافه می‌شود. به همین شکل نمونه تهی (نمونه فاقد باطله) تهیه می‌شود (برای هر مرحله از حجم اسید اضافه شده در آزمایش فیز،

باید نمونه تهی تهیه شود). درب بشرها با شیشه ساعت پوشانده شده و به مدت ۱ یا ۲ ساعت در حمام آب یا روی هیتر قرار داده می‌شود و دما ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم می‌شود. گه گاهی نمونه هم زده می‌شود. پس از سرد شدن بشرها، نمونه‌ها توسط آب مقطر به حجم ۱۲۵ میلی‌لیتر رسانده می‌شود و pH ثبت می‌شود. اگر pH بین ۰/۸ تا ۱/۵ باشد، تیتراسیون با سود انجام می‌شود، در غیر اینصورت دوباره آزمایش فیز بر طبق جدول (۲-۳) انجام می‌شود. در حین تیتراسیون، نمونه همزده می‌شود. وقتی pH به ۵ رسید تیتراسیون متوقف می‌شود و به نمونه، ۲ قطره آب اکسیژنه ۶۰٪ اضافه می‌شود تا تمام یون‌های آهن حل شده، اکسید شوند. دوباره تیتراسیون، تا رسیدن pH به مقدار ۷ ادامه می‌یابد و حجم سود مصرفی، ثبت و برای نمونه تهی نیز همین مراحل انجام می‌شود.

جدول ۲-۳ درجه فیز، میزان، غلظت اسید و غلظت سود در آزمایش ANC

مولاریته سود	حجم اسید میلی لیتر	مولاریته اسید	درجه فیز	نوع واکنش
۰/۱	۴	۰/۵	۰	بدون واکنش
۰/۱	۸	۰/۵	۱	واکنش ضعیف
۰/۵	۲۰	۰/۵	۲	واکنش متوسط
۰/۵	۴۰	۱/۰	۳	واکنش قوی
۰/۵	۴۰	۱/۰	۴	واکنش بسیار قوی

$$ANC = [(Y \times \text{molar HCL}) / \text{wt}] \times C \quad (9-3)$$

که در آن، مقدار C بر اساس نوع واحد اندازه‌گیری شده برابر است با:

$$C = (49 \text{ Kg H}_2\text{SO}_4 \text{ و } 5 \text{ \% CaCO}_3)$$

$$Y = (\text{vol HCl}) - (\text{vol NaOH} \times B) \quad (10-3)$$

برای نمونه تهی از نمونه باطله:

$$(11-3)$$

$$B = (\text{vol HCl in blank}) / (\text{vol NaOH in blank})$$

۳-۶ آزمایش سینتیک

❖ مراحل آزمایش ستونی لیچینگ زهاب در سیستم باز

در این مطالعه تأثیر برخی پارامترهای فیزیکی شامل (اندازه ذرات، دما و زمان بر لیچینگ عناصر و پتانسیل تولید و پتانسیل خنثی‌کنندگی اسید از طریق طراحی آزمایش سینتیک آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش، با افزودن محلول‌های مختلف شیمیایی انواع محیط‌های تشکیل زهاب اسیدی یا عوامل مؤثر بر آن شبیه‌سازی شد. سیستم آزمایش سینتیک از طریق دو ردیف چهار تایی لامپ حرارتی (مادون قرمز) طراحی شد و به این نحو، سه ردیف پنج تایی قیف بوختر (نمونه) نور مادون قرمز تابانده شد.

این سیستم در چهار ردیف طراحی گردید. ابعاد هر ردیف $200 \times 61 \times 94$ سانتی متر می‌باشد که در ردیف اول یا سقف، هشت لامپ مادون قرمز 150 وات (مجموعاً 1200 وات) با فاصله طولی 18 سانتی متر و فاصله عرضی 20 سانتی متری از هم نصب شدند. در ردیف دوم یا بخش قیف‌های بوختر، 15 قیف بوختر با قطر داخلی $12/5$ سانتی متر و ارتفاع 5 سانتی متر با فاصله طولی 9 سانتی متر و فاصله عرضی $9/5$ سانتی متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. قطر سوراخ‌های ایجاد شده در ورقه فلزی 8 سانتی متر می‌باشد. قیف‌ها بعد از نصب به فاصله طولی و عرضی 3 سانتی متر قرار می‌گیرند. فاصله ردیف اول با دوم $53/5$ سانتی متر، ردیف دوم با سوم $24/5$ سانتی متر و فاصله ردیف سوم و کف 120 سانتی متر می‌باشد (شکل ۳-۲ و شکل ۳-۳).

در این پژوهش، آزمایش لیچینگ ستونی سیستم باز برای بررسی پارامترهای حرارت، اندازه ذرات (دو اندازه بزرگتر و کوچکتر از دو میلی متر) و برای بر هم کنش نمونه‌ها با محلول‌های شیمیایی مختلف

(شامل آب مقطر، اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال، باران اسیدی و آب اکسیژنه ۱۵٪) برای شبیه سازی محیط‌های بسیار اکسیدی)) انتخاب گردید.

لیچینگ عناصر بالقوه سمی از نمونه‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. علت انتخاب پارامترهای مذکور به شرح زیر می‌باشند:

عامل حرارت باعث افزایش نرخ واکنش‌ها می‌شود (دما در حدود ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده که به شرایط محیطی آزمایشگاه بستگی داشته است). به طور کلی با هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دما، نرخ اکسایش پیریت دو برابر می‌شود (LotterMoser, ۲۰۱۱).

کاهش ابعاد ذرات نیز باعث افزایش نرخ اکسایش می‌گردد. با این حال، بهترین اندازه ذرات برای رخداد موثر واکنش‌ها، حدود ۲ میلی متر است زیرا تراوایی پایین ذرات ریزتر و ذرات درشت نیز سطح تماس کمتری با محلول‌های شیمیایی دارند بنابراین؛ اندازه مطلوب برای رخداد موثر واکنش‌ها ۲ میلی متر می‌باشد. همچنین در این پژوهش از آب مقطر، اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال، مخلوط اسید سولفوریک و اسید نیتریک (باران اسیدی شبیه سازی شده) و آب اکسیژنه استفاده شد تا واکنش پذیری باطله‌های مورد مطالعه در شرایط مختلف، مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل ۲-۳ نمای روبرو از بخش‌های مختلف سیستم طراحی شده از آزمایش سینتیک سیستم باز



شکل ۳-۳ وضعیت لامپ‌های مادون قرمز و نمونه‌های باطله در قبل و بعد از ریختن محلول‌های شیمیایی به مدت سه ماه
مراحل انجام آزمایش لیچینگ در زیر شرح داده شده است:

ابتدا کاغذ صافی (۰/۴۵ میکرون) را در کف قیف بوختر قرار داده و ۳۰۰ گرم از نمونه باطله با ذرات درشت تر از ۲ میلی متر و ۳۵۰ گرم برای نمونه‌ها با ذرات کوچکتر از ۲ میلی متر در قیف ریخته شد. در هر دوره زمانی محلول‌های شیمیایی با حجم ۱ لیتر تهیه گردید و استفاده شد. نمونه‌های محلول به دست آمده

جمع آوری شدند که در ابتدا پارامترهای pH, EC, Eh و دما اندازه‌گیری و سپس برای آزمایش طیف سنجی گسیل پلاسما جفت شده القایی به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران فرستاده شدند. با توجه به حرارت و نور قرمز شدید در زمان انجام آزمایش، جهت جلوگیری از تبخیر و یا افزایش واکنش‌های شیمیایی بهتر است که لامپ‌های مادون قرمز خاموش باشند.

فصل چهارم

تحلیل داده‌ها

۴-۱ مقدمه

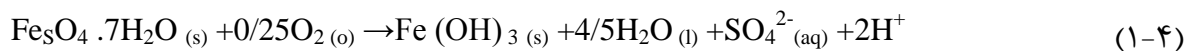
در این فصل به بررسی نتایج مطالعات کانی‌شناسی، آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و آزمایش‌های استاتیک و سینتیک پرداخته می‌شود. این بررسی‌ها به منظور شناخت بهتر خصوصیات باطله‌های معدنی کوشک و ارزیابی و پیش‌بینی پتانسیل تولید و تولید زهاب اسیدی معدن انجام شده است.

۴-۲ کانی‌شناسی باطله‌های معدنی

۴-۲-۱ پراش سنجی اشعه ایکس

بررسی کانی‌شناسی باطله‌های معدنی، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای درک بهتر واکنش‌های تولید و خنثی کردن اسید و نیز ارزیابی و پیش‌بینی پتانسیل تولید زهاب اسیدی است.

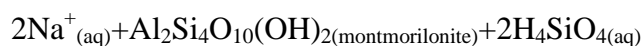
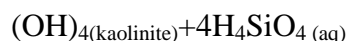
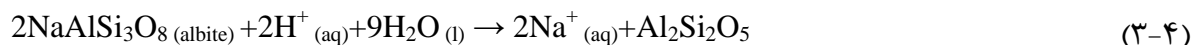
نتایج آنالیز XRD در جدول (۴-۱) نشان می‌دهد که نمونه باطله فرآوری (نمونه G) از کانی‌های ژاروسیت، ژیبس، کوارتز، آلبیت، مونت‌موریلونیت، دولومیت، گالن، اسفالریت، پیریت، موسکویت، هماتیت، ایلیت و کائولینیت تشکیل شده است. کانی‌های سولفاتی (ژاروسیت و ژیبس) بیش از ۴۰ درصد فازها را به خود اختصاص داده‌اند. این کانی‌ها ثانویه بوده و عمدتاً نشانگر تشکیل زهاب اسیدی می‌باشند و از تجزیه کانی‌های سولفیدی تشکیل می‌شوند. با این وجود، انحلال این کانی‌ها می‌تواند مجدداً اسید را وارد محیط کند (Lottermoser, 2011):



(aq)



کوارتز بیش از ۱۰ درصد مجموع فازهای کانیاپی نمونه G را به خود اختصاص داده است، این کانی به دلیل پایداری در شرایط سطحی، در تولید یا مصرف اسید نقش ندارد. کانی آلبیت ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) از گروه فلدسپات‌های قلیایی می‌باشد. این کانی می‌تواند در اثر فرآیند اکسایش و تحت شرایط اسیدی، به کائولینیت یا مونت‌موریلونیت تبدیل شود (Lottermoser, 2011):



بنابراین در نمونه G حضور کانی مونت‌موریلونیت (حدود ۷/۵ درصد از کل فازها) و کائولینیت (حدود ۲/۵ درصد از کل فازها)، می‌تواند نشان‌دهنده شرایط اسیدی حاکم بر این باطله‌ها باشد.

در نمونه باطله فرآوری، کانی‌های سولفیدی (گالن، اسفالریت و پیریت) حدود ۱۴ درصد از کل فازها به خود اختصاص داده است. اکسایش کانی‌های سولفیدی، به ویژه پیریت، اصلی‌ترین منبع تولید زهاب اسیدی معدن است (Lottermoser, 2011). دولومیت در حدود ۶/۵ درصد از فازها را به خود اختصاص داده است. این کانی پس از کلسیت، کانی اصلی خنثی کننده زهاب اسیدی معدن است، اما با توجه به این‌که در نمونه G کلسیت حضور ندارد و مقدار دولومیت نیز کمتر از کانی‌های تولید زهاب اسیدی (سولفیدها و سولفات‌ها) است، در نتیجه پتانسیل تولید اسید توسط باطله‌های فرآوری قدیمی معدن سرب و روی کوشک، بسیار بالاتر از پتانسیل خنثی کردن اسید توسط آن‌ها است. کانی مسکویت نیز کمتر از ۳/۵ درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده است. موسکویت در اسید نامحلول است و در اثر هوازدگی شیمیایی، ممکن است به هیدروکسی میکاهای غنی از آب، هیدرو موسکویت‌ها، دگرسان شود (MEND, 2009). هماتیت کمتر از ۳ درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده است. هماتیت در شرایط اکسیدی کاملاً پایدار می‌باشد، اما حضور آن می‌تواند نشانگر اکسایش سولفیدهای آهن باشد. ایلیت جزء کانی‌های

رسی است و کمتر از سه درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده است. ایلیت می‌تواند در اثر هوازگی و اکسایش به کانی رسی اسمکتیت مطابق واکنش ۴-۵ تبدیل شود:



جدول ۴-۱ فازهای شناخته شده در نمونه G

فرمول شیمیایی	سیستم تبلور	درصد (نیمه کمی)	نام فاز یا کانی
$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	هگزاگونال	۲۵/۶	ژاروسیت
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	مونوکلینیک	۱۵/۵	ژپس
SiO_2	هگزاگونال	۱۰/۷	کوارتز
$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$	تری کلینیک	۹/۷	آلبیت
$\text{Na-Ca-Al-Si}_4\text{O}_{10}, \text{O}$	-	۷/۴	مونت‌موریلونیت
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	هگزاگونال	۶/۵	دولومیت
PbS	کوبیک	۵/۵	گالن
Beta-ZnS	کوبیک	۴/۶	اسفالریت
FeS_2	کوبیک	۳/۷	پیریت
$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2/\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$	مونوکلینیک	۳/۴	موسکویت
Fe_2O_3	هگزاگونال	۲/۷	هماتیت
$\text{K}_0/5(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	اورتورومبیک	۲/۶	ایلپیت
$(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_2(\text{O}, \text{OH})_9$	-	۲/۲	کائولینیت

فازهای تشکیل‌دهنده نمونه SH مطابق جدول (۴-۲) به ترتیب شامل کوارتز، گلاکونیت، آنکریت، اسفالریت، ژپس، پیریت، اسفالریت، کائولینیت، کلریت، مونت‌موریلونیت، گالن و گوتیت می‌باشد. کوارتز در حدود بیست و هشت درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده است و همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، در تولید و خنثی کردن زهاب تأثیری ندارد. کانی یا فاز دوم که در حدود ۱۳ درصد از کل فازهای تشکیل‌دهنده را به خود اختصاص داده است، گلاکونیت (هیدرومیکا) است. گلاکونیت یک آلومینوسیلیکات آبدار آهن و منیزیم است که در اثر شرایط هوازگی تولید می‌شود (Lottermoser,)

2011). کانی یا فاز سوم که در حدود ۱۲/۵ درصد نمونه SH را تشکیل داده است، کانی کربناته آنکریت می‌باشد. ساختمان داخلی آنکریت مشابه دولومیت است و در مقابل اسیدها، رفتاری مانند دولومیت دارد. کانی رسی کلریت نزدیک به ۴ درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده است، کلریت عموماً در اسید سولفوریک انحلال‌پذیر است. گوتیت کمتر از ۲/۵ درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده است، این کانی معمولاً از تخریب کانی‌های آهن‌دار یا هوازدگی کانی‌های سولفور آهن به وجود می‌آید (Lottermoser, 2011):



جدول ۴-۲ فازهای شناخته شده برای نمونه SH

نام فاز یا کانی	درصد (نیمه کمی)	سیستم تبلور	فرمول شیمیایی
کوارتز	۲۷/۹	هگزاگونال	SiO ₂
گلاکونیت	۱۲/۸	-	(K,Na)(Fe ⁺³ ,Al,Mg) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂
آنکریت	۱۲/۶	هگزاگونال	Ca (Mg ₀ /67Fe ₀ /33)(CO ₃) ₂
اسفالریت	۹/۹	کوبیک	Beta ZnS
ژیپس	۷/۵	مونوکلینیک	CaSO ₄ .2H ₂ O
پیریت	۶/۹	کوبیک	FeS ₂
اسفالریت	۵/۰	کوبیک	Beta-ZnS
کائولینیت	۴/۱	مونوکلینیک	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
کلریت	۳/۷	کوبیک	(Mg,Fe) ₅ (Al,Si) ₅ O ₁₀ (OH) ₈
مونت مورینیت	۳/۷	-	Na-Ca-Al-Si ₄ O ₁₀ -O
گالن	۳/۷	کوبیک	PbS
گوتیت	۲/۳	اورتورومبیک	Fe ₂ O ₃ .H ₂ O

فازهای تشکیل دهنده نمونه T به ترتیب شامل کوارتز (۳۶درصد)، ژاروسیت (۹ درصد)، موسکویت (۸ درصد)، انیدریت (۷/۵درصد)، گوتیت (۷ درصد)، اسفالریت (۶ درصد)، دولومیت (۵ درصد)، مونت موریلونیت (۴/۵ درصد)، کائولینیت (۴/۵ درصد)، آلیت کلسیم دار (۴ درصد)، کلسیت (۳/۵ درصد)،

هماتیت (۱/۵ درصد)، آنکریت (نزدیک به ۱/۵ درصد)، پیریت (۱ درصد) و جوردانیت (نزدیک به ۰/۵ درصد) است (جدول ۴-۳). به طور کلی در این نمونه، کانی‌های سولفات‌ها در حدود ۱۶/۵ درصد، کانی‌های سولفیدی در حدود ۷ درصد و نمک گوگردی یا سولفوسالت‌ها در حدود ۰/۵ درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع کانی‌های گوگردار در حدود ۲۴ درصد از کل فازها را تشکیل داده‌اند در حالی که کانی‌های کربناتی در حدود ۱۰ درصد از کل فازها را به خود اختصاص داده‌اند؛ بنابراین پتانسیل تولید اسید این نمونه نیز بسیار بالاتر از پتانسیل خنثی کردن اسید توسط آن است.

جدول ۴-۳ فازهای شناخته شده برای نمونه T

نام فاز یا کانی	درصد (نیمه کمی)	سیستم تبلور	فرمول شیمیایی
کوارتز	۳۶/۱	هگزاگونال	SiO ₂
ژواروسیت	۸/۸	هگزاگونال	(K,H ₃ O)Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆
موسکویت	۸/۰	مونوکلینیک	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ /H ₂ KAl ₃ Si ₃ O ₁₂
انیدریت	۷/۶	اورتورومبیک	CaSO ₄
گوتیت	۷/۰	اورتورومبیک	FeO(OH)
اسفالریت	۶/۲	کوبیک	Beta-ZnS
دولومیت	۵/۰	هگزاگونال	CaMg(CO ₃) ₂
مونت موریلونیت	۴/۶	مونوکلینیک	AlSi ₂ O ₆ (OH) ₂
کائولینیت	۴/۴	-	(Al,Si) ₂ Si ₂ (O,OH) ₉
آلبیت	۴/۲	تری کلینیک	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
کلسیت	۳/۷	هگزاگونال	CaCO ₃
هماتیت	۱/۵	هگزاگونال	Fe ₂ O ₃
آنکریت	۱/۴	هگزاگونال	Ca (Fe, Mg)(CO ₃) ₂
پیریت	۱/۰	کوبیک	FeS ₂
جوردانیت	۰/۴	مونوکلینیک	Pb ₁₄ As ₆ S ₂₃

نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که باطله‌های فرآوری و سنگ‌های باطله مورد مطالعه از پتانسیل کافی برای تولید زهاب اسیدی معدن برخوردار می‌باشند. در این باطله‌ها، درصد بالایی از کانی‌های تولید کننده اسید (سولفیدها به ویژه پیریت و سولفات‌ها) حضور دارند، در حالی که حضور

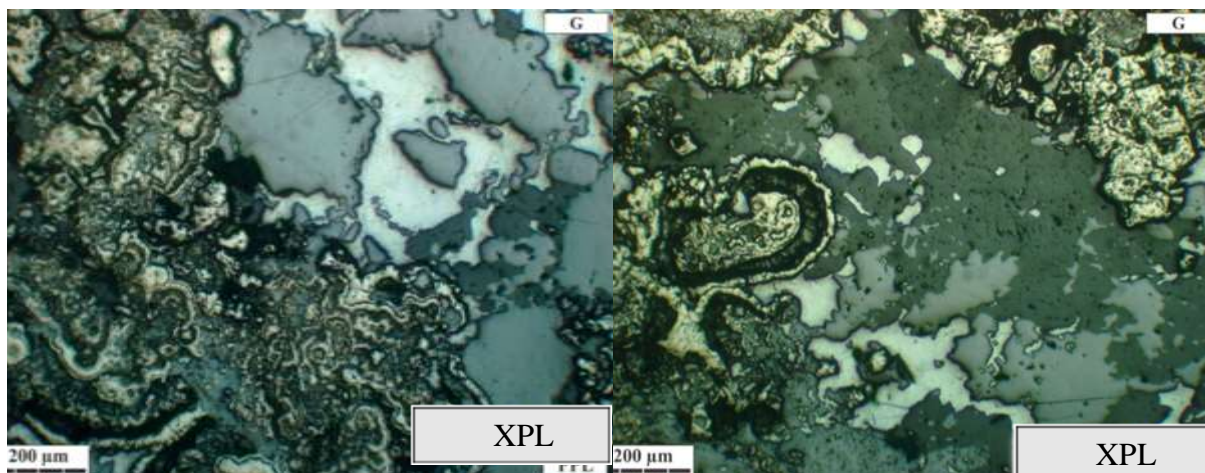
کانی‌های خنثی کننده اسید (کلسیت، دولومیت و آنکريت) در مقایسه با سولفیدها ناچیز هستند. تشکیل زهاب اسیدی معدن، از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیست و اصلی‌ترین تهدید زیست‌محیطی ناشی از فعالیت معدن کاری به شمار می‌رود. زهاب اسیدی معدن باعث افزایش تحرک و دسترس‌پذیری عناصر بالقوه سمی، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی، آلودگی خاک، اسیدی شدن منابع آب و خاک و افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی در محصولات زراعی می‌شود و به طور کلی آسیب جدی به اکوسیستم منطقه وارد می‌کند.

۲-۲-۴ مطالعات میکروسکوپی

❖ میکروسکوپ نوری و انعکاسی

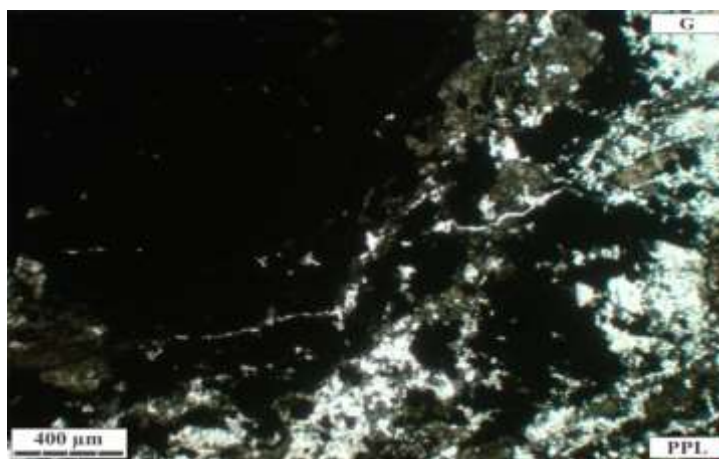
بررسی مقطع صیقلی تهیه شده از باطله‌های فرآوری نمونه G [شکل (۴-۱)] نشان می‌دهد که حدود ۶۵-۶۰ درصد حجمی باطله‌های فرآوری قدیمی از کانی‌های اوپاک و نیمه شفاف تشکیل شده است. کانی‌های فلزی به ترتیب فراوانی شامل پیریت و گالن و کانی نیمه شفاف شامل اسفالریت است. پیریت فراوان ترین تشکیل دهنده مقطع بوده و عمدتاً به شکل کلوفرم و کنکرسیونی و همچنین تجمعات دانه‌ای افشان تا نیمه توده‌ای حضور دارد.

اندازه‌ی بلورهای منفرد پیریت در نمونه حداکثر حدود ۲۰۰ میکرون است. گالن عمدتاً در فضاهای خالی و حفرات ما بین تجمعات پیریت وجود دارد و در مجموع این کانی حدود ۳-۵ درصد حجمی مقطع مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. گالن عمدتاً با اسفالریت ادخال نشان می‌دهد. اسفالریت به عنوان کانی نیمه شفاف، ارتباط بافتی نزدیکی با گالن و کانی‌های شفاف دارد. اسفالریت به صورت بلورهای بی شکل و در اندازه‌های حداکثر ۱ میلی متر دیده می‌شود. در برخی از قسمت‌ها، اسفالریت حاوی ادخال‌های گالن و به ندرت پیریت و همچنین تشکیل دهنده‌های غیرفلزی است. مقدار اسفالریت در مقطع مورد مطالعه حدود ۶-۸ درصد حجمی برآورد می‌شود.



شکل ۱-۴ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه G

مطالعه مقطع نازک تهیه شده از نمونه G (شکل ۲-۴) نشان می‌دهد که کانی‌های نیمه شفاف و شفاف دارای روابط ساده تا پیچیده با یکدیگر هستند. بیش از ۶۰ درصد حجمی مقطع نازک از کانی‌های اوپاک و نیمه شفاف تشکیل شده است. کانی‌های شفاف موجود در نمونه عمدتاً از نوع کربناته (دولومیت و کلسیت) بوده و به صورت تجمعات بلوری تا توده‌ای حضور دارند. در این نمونه به ندرت ذرات ریز از نوع کوارتز یافت می‌شود.



شکل ۲-۴ مقطع نازک تهیه شده از نمونه G

کانی‌های کربناته سروزیت ($PbCO_3$) و اسمیت‌زونیت ($ZnCO_3$) در حاشیه کانی‌های اوپاک (گالن و اسفالریت) و کانی‌های نیمه شفاف حضور دارند. با توجه به نتایج مطالعات میکروسکوپی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که باطله‌های فرآوری قدیمی معدن سرب و روی کوشک، حاوی درصد بالایی از کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت است و این امر نشانگر پتانسیل بالای تولید زهاب اسیدی توسط این باطله‌ها و بالا بودن احتمال رخداد فرآیندهای اکسایش و هوازدگی در این باطله‌ها است.

مطالعه نمونه‌ی صیقلی تهیه شده ایستگاه SH (شکل ۴-۳) نشان می‌دهد که این نمونه عمدتاً از کانی‌های شفاف و غیرفلزی تشکیل شده است. تشکیل دهنده‌های فلزی در نمونه ناچیز بوده و محدود به ذرات ریز پیریت (در اندازه‌های کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون) می‌باشد. مقدار این کانی کمتر از ۰/۵ درصد حجمی برآورد می‌شود. ذرات ریز (کوچک تر از ۱۰۰ میکرون) که متشکل از ترکیبات هیدروکسید آهن‌دار (گوتیت) هستند به طور پراکنده در زمینه غیرفلزی یافت می‌شوند. به ندرت چند ذره‌ی کوچک با ویژگی‌های احتمالی اسفالریت قابل تشخیص است. مقدار این تشکیل دهنده‌ها در حد صدم درصد برآورد می‌شود.



شکل ۴-۳ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه SH

مطالعه مقطع نازک تهیه شده از نمونه SH (شکل ۴-۴) نشان می‌دهد که این نمونه شامل کانی‌های رسی، کوارتز (اغلب در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵۰ میکرون)، کلسیت به فرم پر کننده ریز شکستگی‌ها و به میزان

کمتر، به شکل پراکنده در زمینه سنگ)، تیغه‌های ریز موسکویت و کلریت است. این اجزاء به وسیله‌ی ذرات ریز و فراوان ترکیبات آلی آغشته و پوشش داده شده‌اند.



شکل ۴-۴ مقطع نازک تهیه‌شده از نمونه SH

با توجه به ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی، این نمونه را می‌توان در گروه شیل‌های سیاه تا شیل سیلتی سیاه رنگ قرار داد. علاوه بر رگچه‌های کلسیتی، نمونه به وسیله رگچه‌های سیلیسی ریز بلور نیز قطع شده است. بررسی مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه T (شکل ۴-۵) نشان می‌دهد که این نمونه کلاً از کانی‌های شفاف تشکیل شده است و فاقد کانی‌های اوپاک است. مطالعه مقطع نازک تهیه شده از این نمونه (شکل ۴-۶) نشان دهنده این است که این نمونه از کانی‌های کربناتی تشکیل شده که به صورت بلورهای سوزنی با رشد کنگرسیونی حضور دارند. ویژگی‌های نوری این کانی‌های کربناته با آراگونیت مطابقت دارد؛ هرچند در مواردی شباهت‌هایی نیز با کربنات‌های روی وجود دارد که لازم است با نتایج دستگاه‌های پراش سنجی اشعه ایکس و الکترومیکروپروب کنترل شود. در بخش کوچکی از نمونه رگچه‌های سیلیسی در زمینه‌ی ریزدانه متشکل از ذرات رسی، کوارتز، کلسیت و تیغه‌های ریز میکا دیده می‌شود. علاوه بر این، در بخش‌هایی از نمونه، کانی‌های نیمه شفاف و رنگی با ویژگی‌های اپتیکی نظیر کانی‌های آرسنیک‌دار و همچنین ترکیبات نسل ژاروسیت به صورت ناهمگن حضور دارند.



شکل ۴-۵ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه T



شکل ۴-۶ مقطع نازک تهیه شده از نمونه T

❖ مطالعه میکروسکوپی الکترونی روبشی - پراش انرژی اشعه ایکس

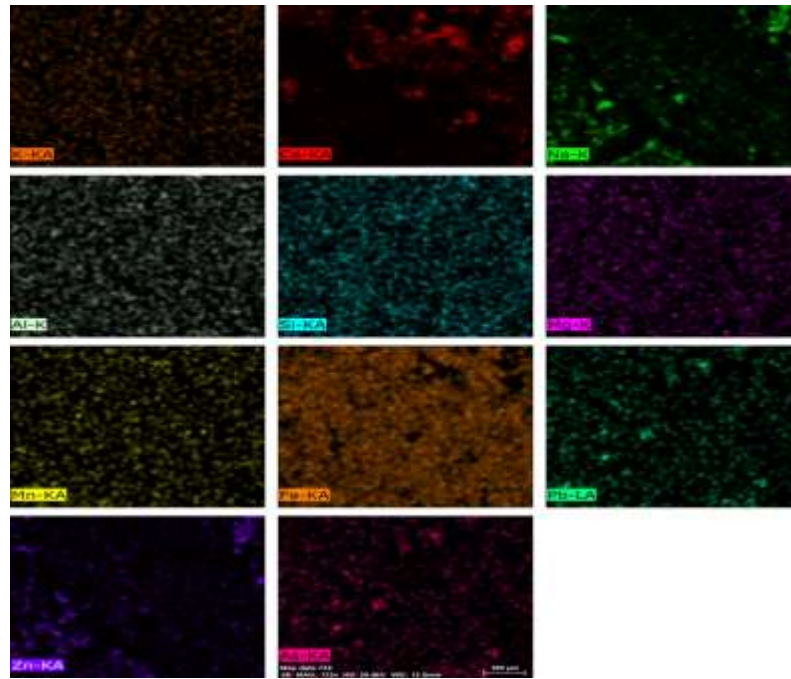
مطالعه نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی - پراش انرژی اشعه ایکس به درک بهتر اتمی نمونه کانی‌های تشکیل دهنده، بافت کانی‌های موجود و حضور عناصر کمک می‌کند. البته بکارگیری این دستگاه باید بعد از مطالعات XRD و بررسی‌های میکروسکوپی انجام شود.

در ابتدا، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی - پراش انرژی اشعه ایکس نقشه عناصر هر نمونه تهیه می‌شود، به این ترتیب کل عناصر موجود در نمونه و محل آن‌ها شناخته و با رنگ‌های مختلف نمایش داده

می‌شود. سپس بررسی نقشه هر عنصر به طور جداگانه محل مرکز آن عنصر را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، با گرفتن نقشه عنصری گوگرد، محل حضور کانی پیریت یا دیگر کانی‌های حاوی گوگرد مشخص می‌شود و با گرفتن نقشه عناصر روی و سرب، محل احتمالی حضور کانی‌های اسفالریت و گالن تعیین می‌گردد. شکل (۷-۴) کل عناصر موجود در نمونه G و محل تمرکز آن‌ها را نشان می‌دهد. در شکل (۸-۴) محل تمرکز عناصر انتخاب شده در نمونه G نشان داده است که برای محل یابی عناصر انتخابی مثل سدیم، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، منگنز، سیلیسیم، آلومینیم، سرب، آهن، روی، آرسنیک و گوگرد نشان داده شده است.



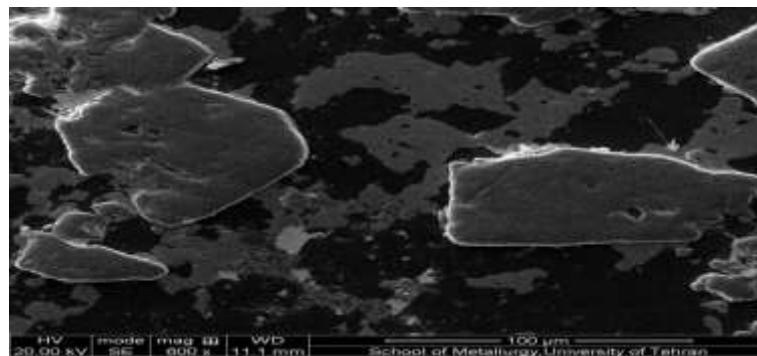
شکل ۷-۴ نقشه کل عناصر انتخابی و محل آن‌ها در نمونه G



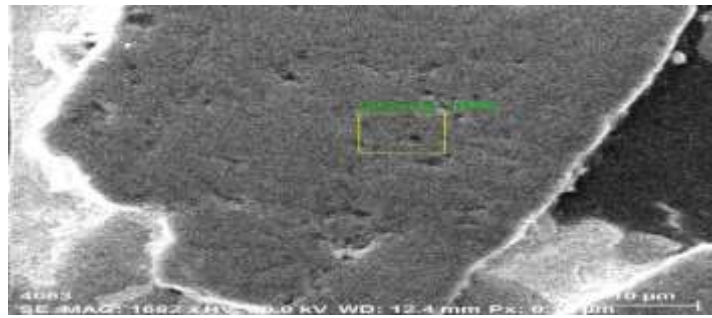
شکل ۴-۸ نقشه عناصر انتخاب شده به صورت جداگانه در نمونه G

در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) تصاویر SEM تهیه شده از نمونه G ارائه شده است.

با تمرکز دستگاه بر روی مرکز نمونه و تهیه تصویر SEM، طیف EDS کانی مورد نظر برداشت می‌شود و از این طریق به عناصر موجود داخل ماده یا کانی پی برده می‌شود به عبارت دیگر، بخشی جزئی از نمونه، تجزیه کانی شناسی می‌شود. این دستگاه برای مواد آلی کاربرد ندارد.



شکل ۴-۹ نمای نزدیک از ساختار کانی پیریت G



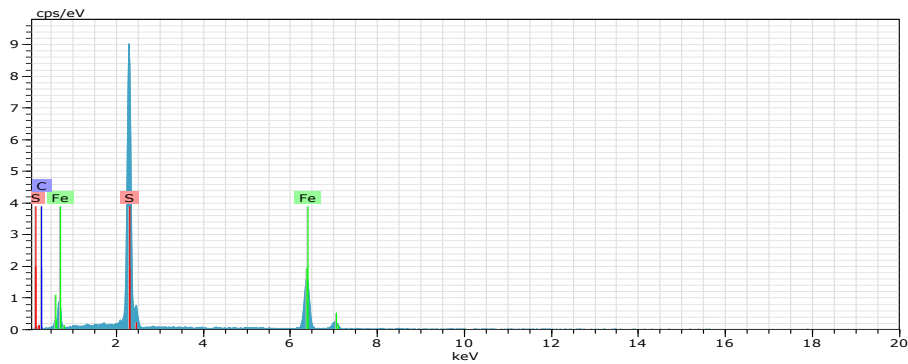
شکل ۴-۱۰ نمایی نزدیک‌تر (بزرگ نمایی) از کانی پیریت

شکل ۴-۱۱ نشان دهنده حضور کانی پیریت در نمونه است و با استفاده از تصویر SEM می‌توان در مورد مورفولوژی پیریت، ابعاد آن و دیگر خصوصیات صحبت کرد. با توجه به جدول ۴-۴، در نمونه G عناصر آهن، گوگرد، کربن در نقطه مورد بررسی حضور دارند و با توجه به پوشش کربنی نمونه‌ها، این عنصر را نمی‌توان در تفسیرها مد نظر قرار داد.

در جدول ۴-۴، درصد عناصر موجود در پیریت محاسبه شده است تجزیه شیمیایی و کانی شناسی توسط این دستگاه، به صورت نقطه‌ای است و در نتیجه برای بررسی حضور عناصر در نمونه به نتایج XRF و ICP مورد نیاز است، به عبارت دیگر نتایج SEM را نمی‌توان به کل نمونه تعمیم داد. در جدول ۴-۴ مشخصات EDS یا EDX مربع زرد (بخش زوم شده) در شکل ۴-۱۱ ارائه شده است.

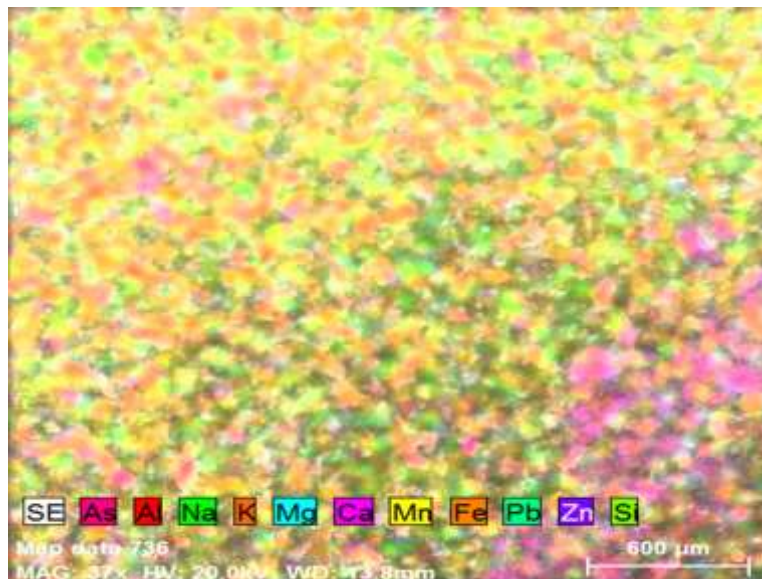
جدول ۴-۴ نتیجه EDS یا EDX محل زوم شده در نمونه G

		[wt. %]	[wt. %]	[at. %]	[wt. %]	
S	۱۶	K-series	۳۷/۳۱	۴۴/۷۴	۴۲/۳۱	۱/۴۳
Fe	۲۶	K-series	۳۴/۴۴	۴۱/۳۰	۲۲/۴۳	۱/۱۶
C	۶	K-series	۱۱/۶۵	13.96	۳۵/۲۶	۵/۵۸
			۸۳/۴۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	

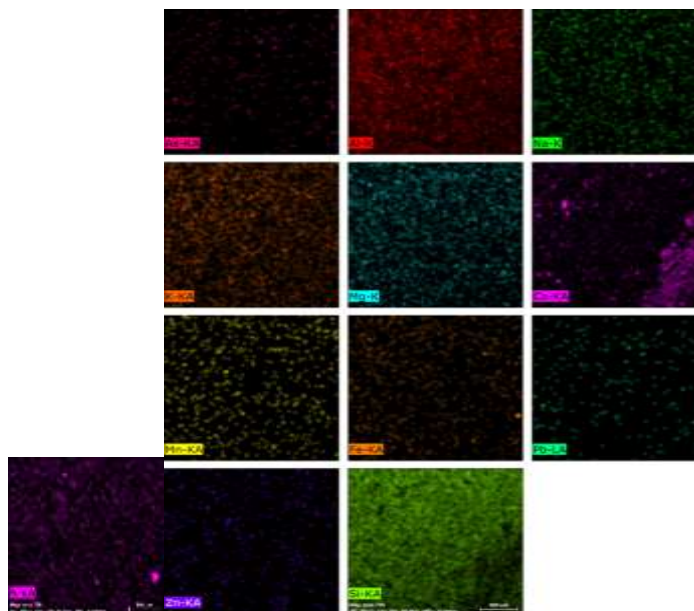


شکل ۴-۱۱ EDS یا EDX مربع زرد (بخش زوم شده) در نمونه G

شکل ۴-۱۲ نقشه کل عناصر انتخابی در نمونه SH و محل تمرکز آن‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴-۱۳ نقشه عناصر سیلیسیم، روی، سرب، آهن، منگنز، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، آلومینیم، آرسنیک، سلنیوم و گوگرد انتخاب شده در نمونه SH را نشان می‌دهند.

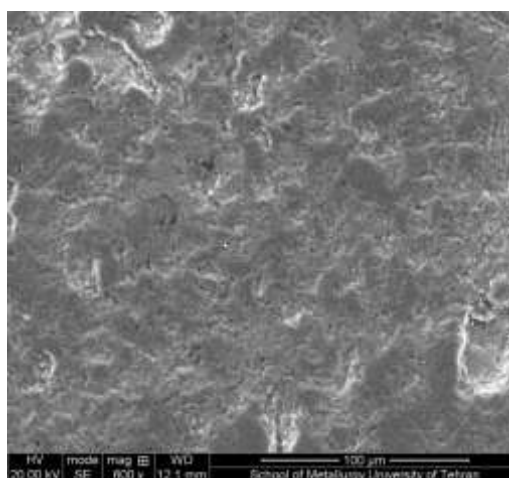


شکل ۴-۱۲ کل عناصر و محل آن‌ها در نمونه SH



شکل ۴-۱۳ نقشه عناصر انتخاب شده در نمونه SH

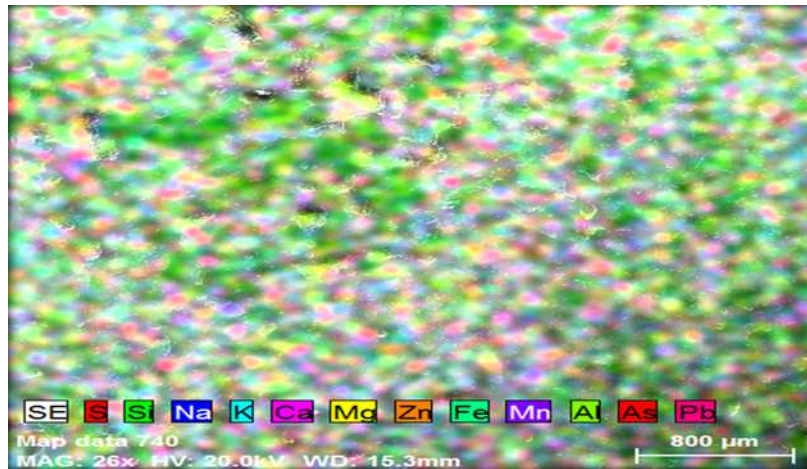
شکل ۴-۱۳ تصویر SEM از کانی‌های موجود در نمونه SH را نشان می‌دهد.



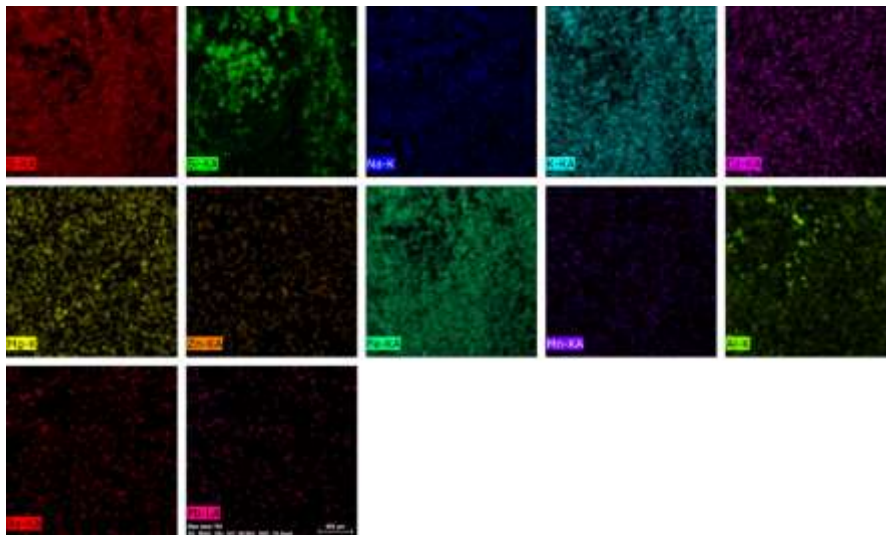
شکل ۴-۱۴ نمایی از کانی‌های شناخته شده در نمونه SH

شکل ۴-۱۵ نقشه کل عناصر انتخابی موجود در نمونه T و محل آن‌ها را نشان می‌دهد و در شکل ۴-

۱۶ نقشه عناصر انتخاب شده به صورت جداگانه در نمونه T نشان داده شده است.



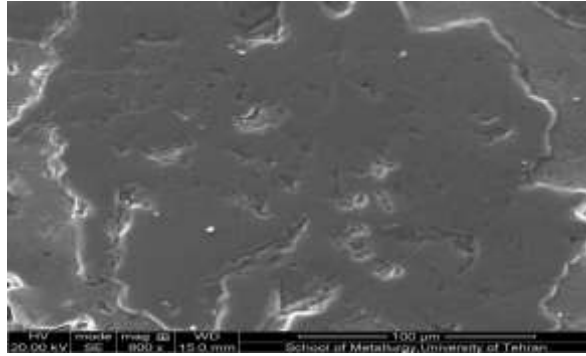
شکل ۴-۱۵ نقشه کل عناصر انتخاب شده در نمونه T



شکل ۴-۱۶ نقشه عناصر انتخاب شده در نمونه T

سپس مرکز نمونه را انتخاب کرده و دستگاه زوم می‌گردد تا تصویری از کانی مورد نظر تهیه شود. در

شکل ۴-۱۷ نمایی از کانی‌های شناخته شده در نمونه SH نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷ نمایی از کانی‌های شناخته شده در نمونه SH

در SEM، تکنیک‌های پولیش و اچ متالوگرافی استاندارد برای مواد هادی الکتریسیته کافی هستند. مواد غیرهادی معمولاً با لایه‌های نازکی از کربن، طلا یا آلیاژهای طلا پوشش داده می‌شوند.

۴-۲-۳ آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی

۴-۲-۳-۱ آزمایش اندازه ذرات باطله معدنی

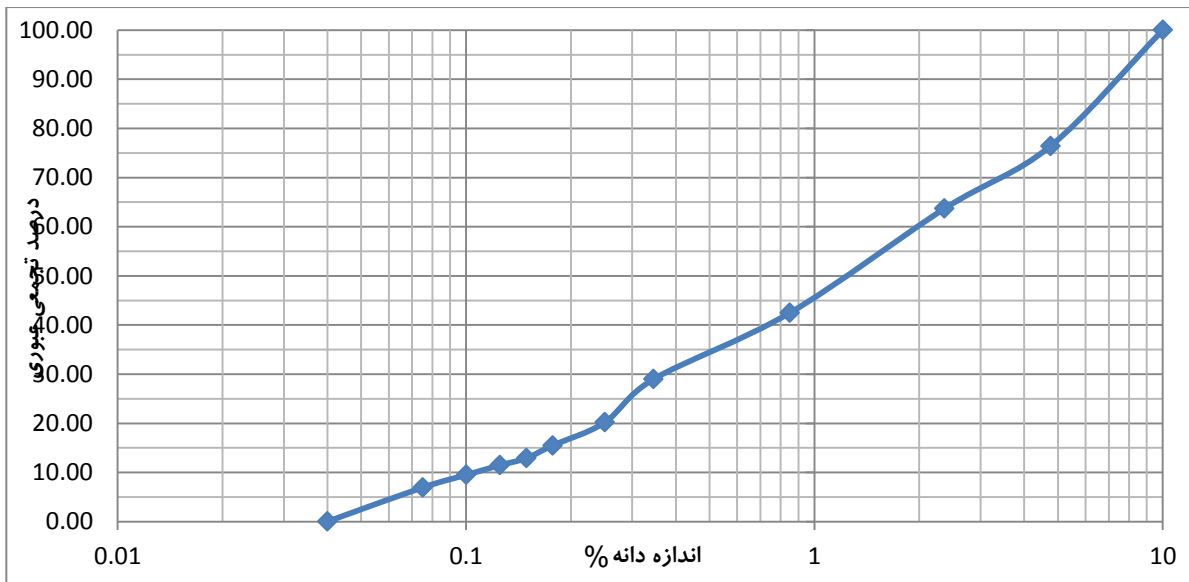
برای اندازه‌گیری، دانه بندی نمونه‌های باطله معدنی از روش استاندارد (ASTM-C33) استفاده شده است. برای این آزمایش، الک‌ها با اندازه سوراخ (۰/۱۴۹ تا ۷/۱۲ میلی متر) انتخاب گردید. درصد تجمعی مانده و درصد تجمعی عبوری را برای هر یک از الک‌ها محاسبه کرده و نمودار درصد تجمعی عبوری به اندازه دانه (نمودار S)، توسط نرم افزار اکسل رسم گردید.

در جدول (۴-۵)، نتایج آزمایش دانه بندی نمونه SH نشان داده شده است. با کاهش اندازه روزه‌های الک درصد تجمعی عبوری کاهش می‌یابد و براساس نتایج آزمایش‌های دانه بندی اندازه ذرات در نمونه SH از رس (اندازه کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی متر) تا شن خیلی درشت (کوچکتر از ۷۵ میلی متر) متغیر است.

جدول ۴-۵ پارامترهای محاسبه شده برای نمونه SH

شماره الک	وزن مانده روی هر الک	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده	درصد تجمعی عبوری
۲				۱۰۰/۰۰ ↑
۴	۲۷۶/۰۰ ↑	۲۳/۵۹ ↑	۲۳/۵۹	۷۶/۴۱
۸	۱۴۹/۰۰	۱۲/۷۴	۳۶/۳۳ ↑	۶۳/۶۷
۲۰	۲۴۸/۰۰	۲۱/۲۰	۵۷/۵۳	۴۲/۴۷
۴۰	۱۵۸/۰۰	۱۳/۵۰	۷۱/۰۳	۲۸/۹۷
۶۰	۱۰۳/۰۰	۸/۸۰	۷۹/۸۳	۲۰/۱۷
۸۰	۵۵/۰۰	۴/۷۰	۸۴/۵۳	۱۵/۴۷
۱۰۰	۳۰/۰۰	۲/۵۶	۸۷/۰۹	۱۲/۹۱
۱۲۰	۱۷/۰۰	۱/۴۵	۸۸/۵۴	۱۱/۴۶
۱۵۰	۲۳/۰۰	۱/۹۷	۹۰/۵۱	۹/۴۹
۲۰۰	۳۰/۰۰	۲/۵۶	۹۳/۰۷	۶/۹۳
۲۰۰	۸۱/۰۰	۶/۹۲	۹۹/۹۹	۰/۰۱
	۱۱۷۰			

در شکل (۴-۱۸) نمودار درصد تجمعی و اندازه دانه‌های (درصد) تشکیل دهنده نمونه SH ارائه شده است.



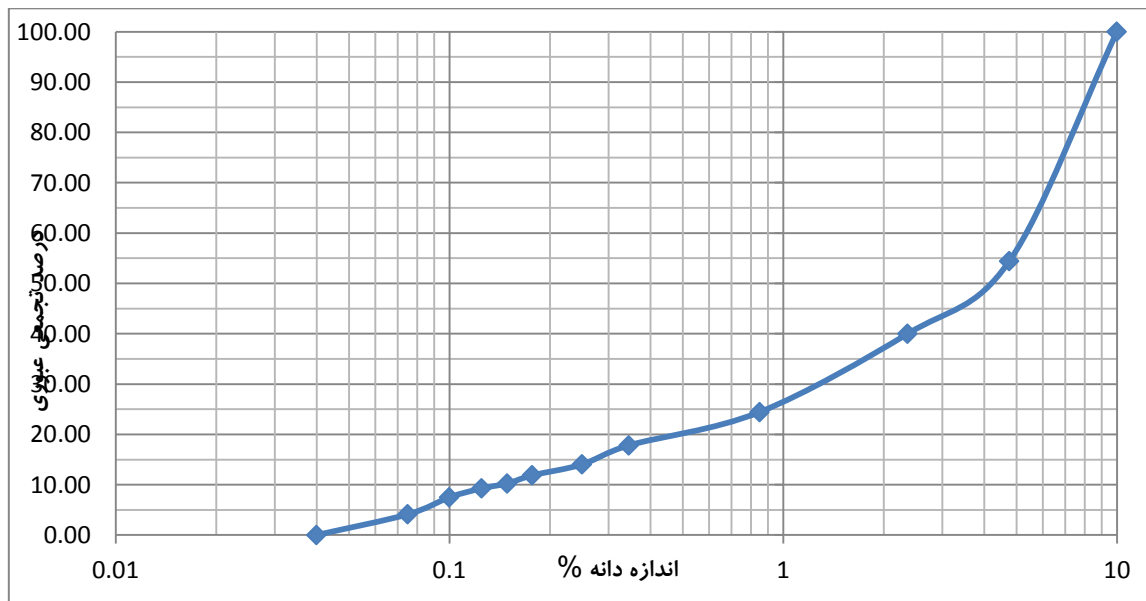
شکل ۴-۱۸ نسبت درصد تجمعی به اندازه دانه های تشکیل دهنده SH

در جدول (۴-۶)، نتایج آزمایش دانه بندی نمونه T و در شکل (۴-۱۹) نمودار درصد تجمعی مربوط به این نمونه ارائه شده است.

جدول ۴-۶ پارامترهای محاسبه شده برای نمونه T

شماره الک (مش)	وزن مانده روی هر الک	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده	درصد تجمعی عبوری
۲		-	-	۱۰۰/۰۰ ↑
۴	۵۶۵/۰۰	۴۵/۵۶ ↑	۴۵/۵۶	۵۴/۴۴
۸	۱۷۹/۰۰	۱۴/۴۴	۶۰/۰۰	۴۰/۰۰
۲۰	۱۹۳/۰۰ ↑	۱۵/۵۶	۷۵/۵۶	۲۴/۴۴
۴۰	۸۲/۰۰	۶/۶۱	۸۲/۱۷	۱۷/۸۳
۶۰	۴۷/۰۰	۳/۷۹	۸۵/۹۶	۱۴/۰۴
۸۰	۲۷/۰۰	۲/۱۸	۸۸/۱۴	۱۱/۸۶
۱۰۰	۲۰/۰۰	۱/۶۱	۸۹/۷۵	۱۰/۲۵
۱۲۰	۱۲/۰۰	۰/۹۷	۹۰/۷۲	۹/۲۸
۱۵۰	۲۲/۰۰	۱/۷۷	۹۲/۴۹	۷/۵۱
۲۰۰	۴۲/۰۰	۳/۳۹	۹۵/۸۸	۴/۱۲
۲۰۰	۵۱/۰۰	۴/۱۱	۹۹/۹۹ ↑	۰/۰۱
	۱۲۴۰			

براساس نتایج آزمایش‌های دانه بندی اندازه ذرات در نمونه T از رس (اندازه کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی متر) تا شن خیلی درشت (کوچکتر از ۷۵ میلی متر) متغیر است.

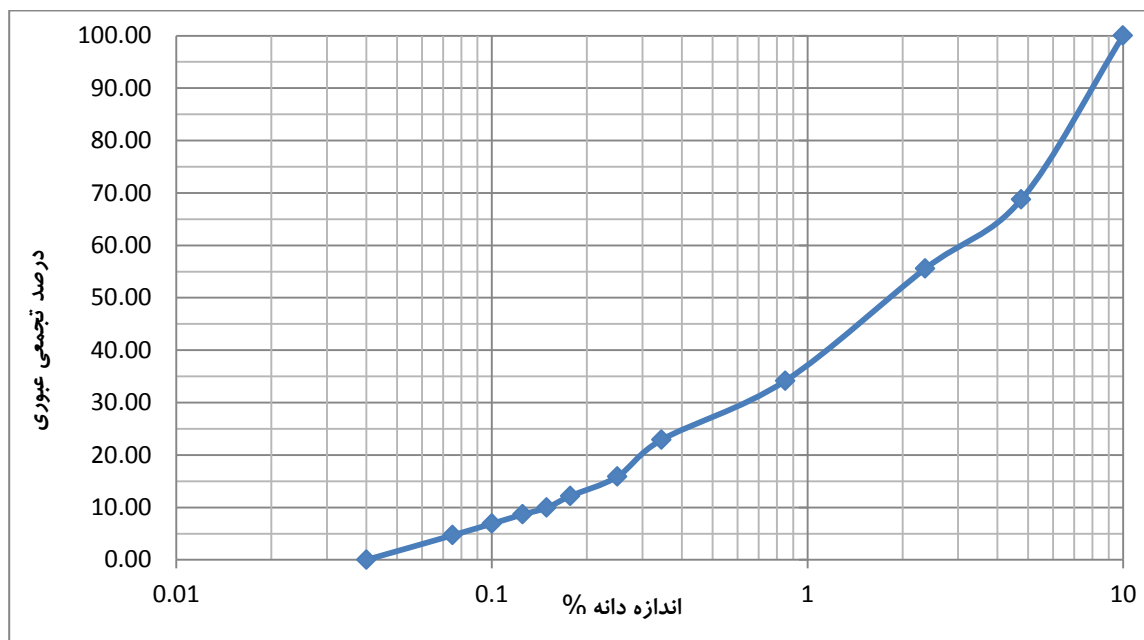


شکل ۴-۱۹ نسبت درصد تجمعی به اندازه دانه های تشکیل دهنده T

در جدول ۴-۷ پارامترهای دانه بندی مربوط به نمونه G و شکل (۴-۲۰)، منحنی درصد تجمعی اندازه ذرات ارائه شده است.

جدول ۴-۷ پارامترهای محاسبه شده برای نمونه G

شماره الک	وزن مانده روی هر الک	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده	درصد تجمعی عبوری
۲	۲۶۷/۰۰	۳۱/۲۳	-	۱۰۰/۰۰
۴	۱۱۳/۰۰	۱۳/۲۲	۳۱/۲۳	۶۸/۷۷
۸	۱۸۳/۰۰	۲۱/۴۰	۴۴/۴۵	۵۵/۵۵
۲۰	۹۶/۰۰	۱۱/۲۳	۶۵/۸۵	۳۴/۱۵
۴۰	۶۰/۰۰	۷/۰۲	۷۷/۰۸	۲۲/۹۲
۶۰	۳۲/۰۰	۳/۷۴	۸۴/۱۰	۱۵/۹۰
۸۰	۱۹/۰۰	۲/۲۲	۸۷/۸۴	۱۲/۱۶
۱۰۰	۱۱/۰۰	۱/۲۹	۹۰/۰۶	۹/۹۴
۱۲۰	۱۵/۰۰	۱/۷۵	۹۱/۳۵	۸/۶۵
۱۵۰	۱۹/۰۰	۲/۲۲	۹۳/۱۰	۶/۹۰
۲۰۰	۴۰/۰۰	۴/۶۸	۹۵/۳۲	۴/۶۸
-۲۰۰	۸۵۵		۱۰۰/۰۰	-



شکل ۴-۲۰ نسبت درصد تجمعی به اندازه دانه های تشکیل دهنده G

براساس نتایج آزمایش‌های دانه بندی اندازه ذرات در نمونه G از رس (اندازه کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلی متر) تا سیلت (قطر بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۰۲ میلی متر) متغیر است.

۲-۳-۲-۴ پارامترهای فیزیکی- شیمیایی نمونه‌های باطله معدنی

در این مطالعه، شش پارامتر فیزیکوشیمیایی شامل: رطوبت، خاصیت اسیدی و قلیایی، پتانسیل اکسایش و احیاء، هدایت الکتریکی، دما و پارامتر وزن مخصوص باطله‌های معدنی مورد بررسی قرار گرفته است. جدول (۴-۸).

رطوبت نمونه‌ها (L.O.I) پارامتری بسیار تغییرپذیر است و با گذشت زمان تغییر می‌کند. (pH) بعد از مقدار گوگرد کل یکی از اصلی‌ترین پارامترها در این پژوهش می‌باشد. در جدول (۴-۸) نشان می‌دهد که دو نمونه G و SH با pH بسیار پایین مشخص می‌شوند که واکنش‌های خنثی سازی اسید که در pH خنثی (حدود ۷) رخ می‌دهند ولی در نمونه‌های مطالعه شده، چون $pH < 3/5$ دارند پس واکنش‌های خنثی سازی اسید تأثیرگذار نبوده و تنها واکنش‌های اکسایش سولفیدها و سولفات‌ها که به عنوان منبع اصلی تولید زهاب اسیدی عمل می‌کنند.

پتانسیل اکسایش و احیاء، پارامتری است که تمایل مواد شیمیایی برای به دست آوردن الکترون و در نتیجه احیاء آن را نشان می‌دهد. پتانسیل اکسایش- احیاء بر حسب ولت و یا میلی ولت اندازه‌گیری می‌شود. هر ماده پتانسیل احیاء ذاتی خود را دارد. هر چه پتانسیل احیاء ماده‌ای مثبت‌تر باشد، میل بیشتری برای الکترون‌ها و تمایل به احیاء دارد. اکسایش وقتی رخ می‌دهد که الکترون برداشته شود، مانند وقتی که رادیکال آزاد یک الکترون از یک کانی می‌گیرد و کانی اکسید می‌شود، در حالی که رادیکال‌های آزاد احیاء می‌شوند. کاهش به معنی دریافت و یا به دست آوردن الکترون است. نمونه SH از پتانسیل اکسایش و احیاء، میل بیشتری برای الکترون‌ها و تمایل به احیاء دارد و نمونه T از پتانسیل اکسایش و احیاء کمتری دارد پس میل کمتری برای گرفتن الکترون‌ها و تمایل کمتری به احیاء شدن دارد.

پارامتر هدایت الکتریکی، هم برای محاسبه شوری و میزان املاح در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد که واحد آن میکرو زیمنس بر سانتی متر است. نمونه G چون از ایستگاه باطله‌های فرآوری نمونه برداری شده است از درصد کاتیون و آنیون بیشتری برخوردار است.

پارامتر دما، یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی است که افزایش و کاهش آن تأثیرات بسیار مهمی بر نتایج آزمایش‌ها، واکنش‌های شیمیایی و خاصیت انحلال گازها در محلول‌ها و یا محیط‌های آبگون می‌گذارد. افزایش دما، باعث کاهش انحلال پذیری گازهایی مانند اکسیژن و دی اکسید کربن در محلول‌ها می‌شود و کاهش دما، باعث افزایش انحلال پذیری گازها می‌شود. دمای سه نمونه دمای نزدیک به دمای اتاق دارد.

در مطالعات انجام شده، وزن مخصوص باطله‌های معدن سرب و روی در حدود $3-2.5 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد. هر چه ترکیبات فلزی بیشتر باشد نمونه وزن مخصوص بیشتری دارد. در جدول (۴-۸) شش پارامتر فوق برای سه مورد از باطله‌های معدن کوشک محاسبه شده است.

جدول ۴-۸ پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه گیری شده در نمونه های مورد مطالعه

پارامترهای فیزیکوشیمیایی	L.O.I	pH	Eh (mv)	EC ($\mu\text{s/cm}$)	Temp. (C)	وزن مخصوص (Gr/cm^3)
نمونه SH	۳۰/۱۸	۲/۸	۴۵۳ ↑	۴۳۰	۲۱/۴ ↑	۲/۸۴
نمونه T	۹/۲۱	۷/۶ ↑	۲۳۰	۹۶۷۰	۲۱/۲	۲/۸۶ ↑
نمونه G	۴۱/۱۷ ↑	۱/۹۲	۳۴۶	۱۳۲۱۰ ↑	۲۱/۳	۲/۸۱

در جدول (۴-۹)، نتایج آنالیز XRF بر روی نمونه‌های مورد مطالعه، به صورت درصد ارائه شده است.

در آزمایش فلوئورسانس پرتو ایکس، غلظت عناصر به صورت درصدی از اکسیدهای آن عناصر محاسبه می‌گردد که درصد به دست آمده از این اکسیدها همان اندازه عنصر کل می‌باشد به عبارت دیگر درصد

عناصر سیلیسیم، آلومینیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سرب، گوگرد، تیتانیوم، پتاسیم، استرانسیم، روی و کلر به دست آمده همان اندازه عناصر کل نمونه‌های مورد مطالعه هستند. در جدول (۴-۹) درصد اکسیدها در سه نمونه مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۴-۹ درصد اکسیدهای به دست آمده از آزمایش XRF

نام اکسیدها	نمونه SH (%)	نمونه T (%)	نمونه G (%)
سیلیس	۲۵/۶۸	۴۲/۶۸ ↑	۱۰/۴۰
اکسید آلومینیم	۸/۶۵ ↑	۱۳/۹۲ ↑	۳/۵۴
اکسید کلسیم	۷/۶۹	۱/۴۲	۴/۷۵
اکسید منیزیم	۳/۲۰	۱/۸۰	<۰/۱۰
اکسید آهن	۱۸/۰۶	۲۱/۲۴	۲۲/۵۳
اکسید فسفر	۰/۵۵	۰/۸۶	۱/۲۰ ↑
تری اکسید گوگرد	۳۰/۷۷	۱/۷۴	۳۶/۳۵
اکسید تیتانیوم	۰/۴۶	۰/۷۹	<۰/۱۰
اکسید پتاسیم	۲/۳۲	۵/۰۱	۱/۳۷
اکسید سرب	<۰/۱۰	<۰/۱۰	۹/۰۶ ↑
اکسید استرانسیم	<۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰
اکسید روی	۲/۲۹	۰/۰۲	۱۰/۷۸

بر اساس نتایج XRD در نمونه‌ها هیچگونه عناصر آزاد و یا رادیکالی در نمونه حضور ندارد. پس کلیه عناصر محاسبه شده در آزمایش‌های XRF در ساختمان کانی حضور دارند. عنصر گوگرد از کانی‌های (اسفالریت، پیریت، گالن، جوردانیت، ژاروسیت، آلبیت و انیدریت)، عنصر سیلیسیم از کانی‌های (کوارتز، گلاکونیت، کائولینیت، مونت موریونیت، موسکویت، کلریت و ایلیت)، عنصر آلومینیم از کانی‌های (گلاکونیت، آلبیت، کائولینیت، موسکویت، ایلیت، مونت موریونیت و کلریت)، عنصر کلسیم از کانی‌های (آنکريت، ژپس، مونت موریونیت، کلریت، آلبیت، دولومیت و انیدریت)، عنصر منیزیم از کانی‌های (گلاکونیت، آنکريت، دولومیت، ایلیت و کلریت)، عنصر آهن از کانی‌های (گلاکونیت، آنکريت، اسفالریت، پیریت، گوتیت،

ژاروسیت، هماتیت، ایلیت و کلریت)، عنصر سرب از کانی‌های (گالن و جوردانیت) و عنصر روی از کانی (اسفالریت) منشاء می‌گیرند و برای محاسبه درصد عناصر از فرمول اکسیدی شان، باید در ضریب تبدیل هر عنصر ضرب کرد که برای به دست آوردن این ضریب تبدیل باید وزن مولکولی هر عنصر را در یک گرم محاسبه کرد. در جدول (۴-۱۰) ضریب تبدیل و درصد هر عنصر محاسبه شده است.

جدول ۴-۱۰ درصد عناصر و ضریب تبدیل به دست آمده از آزمایش XRF

نام عناصر	نمونه SH	نمونه T	نمونه G	ضریب تبدیل
سیلیسیم	۱۲/۰۱	۱۹/۹۶ ↑	۴/۸۶	۰/۷۴
آلومینیم	۲/۲۹	۳/۶۸ ↑	۰/۹۴	۰/۲۶
کلسیم	۵/۵۰ ↑	۱/۰۱	۳/۴۰	۰/۷۱
منیزیم	۱/۹۲	۱/۰۸	۰/۰۶	۰/۶۰
آهن	۶/۳۱	۷/۴۳	۷/۸۸ ↑	۰/۳۵
فسفر	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲۹
گوگرد	۱۲/۳۲	۰/۷۰	۱۴/۵۶ ↑	۰/۴۰
تیتانوم	۰/۴۰	۰/۷۰	۰/۰۹	۰/۸۷
پتاسیم	۰/۹۶	۲/۰۸	۰/۵۷	۰/۴۱
سرب	۰/۰۶	۰/۰۶	۶/۰۰ ↑	۰/۶۶
استرانسیوم	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۸۵
روی	۱/۸۴	۰/۰۲	۸/۶۶ ↑	۰/۸۰

در جدول ۴-۱۱ غلظت عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس آنالیز دستگاهی ICP-AES ارائه شده است.

بر اساس داده‌های جدول (۴-۱۱)، غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین و شبه فلزات به دست آمده است که این عناصر در صورت تشکیل زهاب اسیدی به همراه زهاب منتقل می‌شوند و باعث آلودگی‌های شدید محیط زیست می‌گردند. نمونه G (آرسنیک و مولیبدنیم)، نمونه SH (کادمیوم) و نمونه T (استرانسیوم، قلع و منگنز) غلظت بالاتری نسبت به مقادیر متوسط آن‌ها در پوسته زمین دارند.

جدول ۴-۱۱ گروه‌هایی از فلزات سنگین و شبه فلزات در نمونه‌های معدنی توسط دستگاه ICP

نمونه G (ppm)	نمونه T (ppm)	نمونه SH (ppm)	پوسته زمین (ppm)	عناصر
۴۲۱ ↑	۱۴۰	۱۷۹	۲/۱	آرسنیک
۱۰۴	۸۷۶ ↑	۴۳	۳۶۰	استرانسیوم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۲۳	اسکاندیوم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۳۰	ایتريوم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۱/۹	برلیوم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲۵	بیسموت
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۲۳۰۰۰	سدیم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۶۰	سریوم
۳۱	۱۱۶ ↑	۳۶	۲/۲	قلع
۱۷۷ ↑	۹	۱۳	۰/۱۵	کادمیوم
<۱۰	<۱۰	۳۰	۳۰	کبالت
۱۶ ↓	۴۲	۳۹	۱۴۰	کروم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۳۴	لنتانیوم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۱۷	لیتیم
۱۸ ↓	۳۶	۵۵	۶۸	مس
۳۱۶	۱۶۲۶ ↑	۸۶۸	۱۱۰۰	منگنز
۶	۱۱	۱۲ ↑	۱/۱	مولیبدنیم
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۸۰	نقره
<۱۰ ↓	۱۵	۶۹	۹۰	نیکل
۴۴ ↓	۱۰۲	۸۵	۱۹۰	وانادیوم

۴-۲-۴ آزمایش‌های استاتیک نمونه‌های معدنی

بر اساس نتایج آزمایش‌های XRD و XRF میزان ترکیبات گوگرد دار در نمونه‌های مطالعه شده در جدول (۴-۱۲) ارائه شده است. این ترکیبات از گوگرد سولفیدی، سولفات، نمک‌های گوگرد دار و گوگرد کل تشکیل شده است.

جدول ۴-۱۲ انواع ترکیبات گوگرددار در نمونه‌های مطالعه شده

	کانی‌های سولفیدی دستگاه XRD	درصد مجموع کانی‌های سولفیدی	درصد مجموع گوگرد سولفیدی	کانی‌های سولفاتی	درصد مجموع کانی‌های سولفاتی	درصد مجموع گوگرد سولفاتی	کانی‌های نمک‌های گوگرددار	درصد مجموع گوگرد نمک‌های گوگرددار	درصد گوگرد کل دستگاه XRD	درصد گوگرد کل دستگاه XRF
S H	گالن	۳/۷۰	۰/۵۰	ژیپس	۷/۵۰	۱/۴	-	-	۱۰/۵۱	۱۲/۳۲
	اسفالریت	۱۴/۹۰	۴/۹۰							
	پیریت	۶/۹۰	۳/۷۰							
	مجموع	۲۵/۵۰	۹/۱۱							
G	گالن	۵/۵۰	۰/۷۴	ژیپس	۱۵/۵۰	۲/۹۰	-	-	۱۰/۴۰	۱۴/۵۶
	اسفالریت	۴/۶۰	۱/۵۲	ژاروسیت	۲۵/۶۰	۳/۲۸				
	پیریت	۳/۷۰	۲/۰۰							
	مجموع	۱۳/۸۰	۴/۲۴	مجموع	۴۱/۱۰	۶/۱۷				
T	اسفالریت	۶/۲۰	۲/۰۵	ژاروسیت	۸/۸۰	۱/۱۳	جوردانیت	۰/۰۷	۵/۵۷	۰/۷۰
	پیریت	۱/۰۰	۰/۵۳	انهیدریت	۷/۶۰	۱/۸۰	۴/۶۰			
	مجموع	۷/۲۰	۲/۶۰	مجموع	۱۶/۴۰	۲/۹۲				

۴-۲-۴-۱ ارزیابی تولید اسید

دو پارامتر پتانسیل اسید (AP) و حداکثر پتانسیل اسید (MPA) (پتانسیل تولید اسید (APP)) در رده بندی ارزیابی تولید اسید قرار می‌گیرد. در جدول (۴-۱۳) مقادیر این پارامترها برای نمونه‌های مطالعه شده، محاسبه گردید.

جدول ۴-۱۳ پارامترهای ارزیابی تولید اسید

واحد	توضیحات	نمونه T*	نمونه SH**	نمونه G	پارامترهای ارزیابی تولید اسید آمریکای شمالی
Kg CaCO ₃ eq/ton	XRF	۳۲/۸۱	۳۸۵/۰ ↑	۳۴۱/۲۵	AP محاسبه با گوگرد کل
Kg CaCO ₃ eq/ton	XRD	۳۴۸/۱۲	۳۲۸/۴۶ ↑	۲۴۳/۷۵	AP محاسبه با گوگرد کل
Kg CaCO ₃ eq/ton	XRF	۳۲/۱۵	۳۷۷/۳۰ ↑	۳۳۴/۴۲	MPA(APP) محاسبه با گوگرد کل
Kg CaCO ₃ eq/ton	XRD	۲۵۵/۸۶	۳۲۱/۸۷ ↑	۲۳۸/۸۷	گوگرد MPA کل (APP)
					پارامترهای ارزیابی تولید اسید اقیانوسیه جنوبی
MPA	۴۴۵/۹۷ ↑	۳۷۷/۳۶	۲۱/۴۴	گوگرد کل XRF	KgH ₂ SO ₄ eq/ton
MPA	۳۱۸/۵۵	۳۲۳/۷۶ ↑	۱۷۰/۶۱	گوگرد کل XRD	KgH ₂ SO ₄ eq/ton

* محیط خنثی ضریب ۶۲/۵ به جای ۳۱/۲۵

** عدم کانی یا فاز ژاروسیت بدون ضریب ۰/۷۵

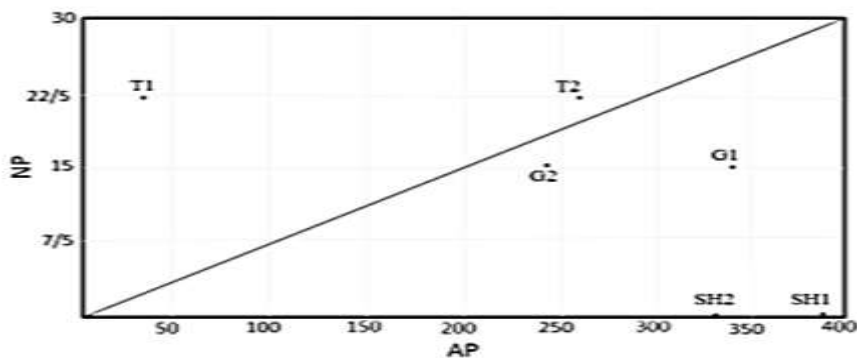
۴-۲-۴ ارزیابی خنثی ساز اسید

سه پارامتر پتانسیل خنثی (NP)، مصرف اسید (AC) و ظرفیت خنثی اسید (ANC) در رده بندی ارزیابی خنثی ساز اسید قرار می‌گیرند. در جدول (۴-۱۴) مقادیر این پارامترها برای نمونه های مطالعه شده، ارائه شده است.

جدول ۴-۱۴ پارامترهای ارزیابی خنثی ساز اسید

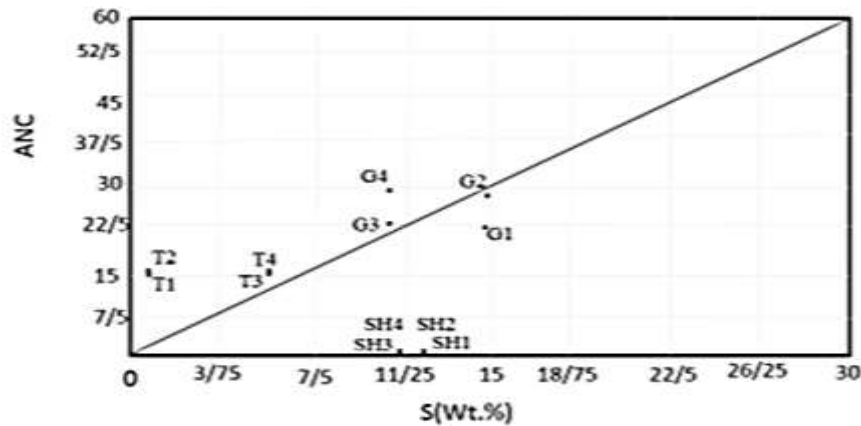
پارامترهای ارزیابی خنثی ساز اسید اقیانوسیه جنوبی	۲۹/۲۰ ↑	۱/۲۰	۱۷/۲۰	آزمایش ظرفیت خنثی سازی اسید	KgH ₂ SO ₄ eq/ton
پارامترهای ارزیابی خنثی ساز اسید آمریکای شمالی	نمونه G	نمونه SH	نمونه T	توضیحات	واحد
ANC	۲۹/۲۰ ↑	۱/۲۰	۱۷/۲۰	آزمایش شمارش اسید و باز اصلاح شده	Eq/ton
NP	۱۵/۸	۰/۳۹	۲۲/۵ ↑	آزمایش شمارش اسید و باز اصلاح شده	Eq/ton
ANC	۲۲/۵۰ ↑	۰/۴۰	۱۵/۴۸	فرمول	-
AC	۰	۰	۱۲/۲۵ ↑	آزمایش مقدماتی بی-سی	-

در شکل (۴-۲۱) نمودار AP به NP ارائه شده است. در این نمودار، پتانسیل اسید بر روی محور Xها و پتانسیل خنثی‌ساز بر روی محور Yها قرار می‌گیرد و همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود، چهار نمونه SH1, G1, SH2 و G2 در منطقه تولید زهاب اسیدی قرار می‌گیرند به عبارت دیگر در این نمونه‌ها کانی‌ها و عناصر تولید اسید از خنثی‌ساز اسید بیشتر بوده و با تولید اسید همراه بوده است. دو نمونه T1 و T2 با داشتن کانی‌ها و عناصر خنثی‌ساز بیشتر از کانی‌های تولید اسید بوده و در منطقه خنثی ساز اسید قرار می‌گیرند. برای محاسبه AP از نتایج آنالیز دو روش XRF (نمونه‌های G1, SH1 و T1) و XRD (نمونه‌های SH2, G2, و T2) استفاده شده است.



شکل ۴-۲۱ نمودار AP به NP

در شکل (۴-۲۲)، نمودار پارامترهای ANC و درصد گوگرد کل ارائه شده است. در این نمودار مقدار پارامتر ANC به دو روش فرمولی و تیتراسیون نمونه‌ها (آزمایش ظرفیت خنثی سازی اسید) بر روی محور Yها مشخص شده است.



شکل ۴-۲۲ نمودار پارامتر ANC به Total Sulfur

مقدار گوگرد کل بر روی محور Xها مشخص شده است. این نمودار دارای سه زون می‌باشد که زون نامطمئن همان قطر مستطیل می‌باشد. نمونه‌های SH4، SH3، SH2، SH1، G1 و G2 در منطقه تولید اسید و نمونه‌های G3، G4، T1، T2، T3 و T4 در منطقه خنثی ساز قرار می‌گیرند.

۴-۲-۴-۳ تولید یا مصرف خالص اسید

پنج پارامتر پتانسیل خنثی کنندگی خالص (Net NP)، پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP)، تولید اسید خالص (Net AP)، pH تولید اسید خالص (NAG pH) و pH خمیره یا گل اشباع در رده بندی تولید یا مصرف خالص اسید قرار می‌گیرد. در جدول ۴-۱۵ مقادیر این پارامترها برای نمونه‌های مطالعه شده، محاسبه و ارائه گردیده است.

جدول ۴-۱۵ تولید یا مصرف خالص اسید

Net NP گوگرد کل	-۲۲۸/۲۷	-۳۲۸/۰۵	-۲۳۸/۵۹ ↑	دستگاه پراش سنجی اشعه ایکس	Eq/ton
پارامترهای تولید خالص اقیانوسیه جنوبی					
پارامترهای مصرف خالص اسید آمریکای شمالی	نمونه G	نمونه SH	نمونه T	توضیحات	واحدها
Net NP گوگرد کل	-۳۲۵/۷۷	-۳۸۴/۶۱	-۱۰/۳۱ ↑	دستگاه فلنورسانس پرتوایکس	Eq/ton
NAPP	۴۱۶/۷۷ ↑	۳۷۶/۱۶	۴/۲۴	گوگرد کل دستگاه XRF	KgH ₂ SO ₄ eq/ton
NAPP	۲۸۹/۳۵	۳۲۲/۵۶ ↑	۱۵۳/۴۱	گوگرد کل دستگاه XRD	KgH ₂ SO ₄ eq/ton
Net AP	۰/۵	۱۳/۵	۱۵/۵ ↑	آزمایش پتانسیل اسید خالص	-
NAG pH	۱/۵۲	۱/۶۲	۶/۸ ↑	آزمایش پتانسیل اسید خالص	-
Paste pH	۲/۵	۳/۲	۸/۲ ↑	pH گِل اشباع	-

۴-۲-۴ نسبت‌های پارامترهای خنثی‌ساز اسید به پارامترهای تولید اسید

سه پارامتر پتانسیل تولید اسید خالص (NPR) و تولید زهاب اسیدی (NP/MPA) و نسبت ظرفیت خنثی سازی اسید به حداکثر پتانسیل اسید (ANC/MPA) در رده بندی نسبت های پارامترهای خنثی ساز اسید به پارامترهای تولید اسید قرار می گیرد. در جدول (۴-۱۶) مقادیر این پارامترها برای نمونه‌های مطالعه شده، محاسبه گردید.

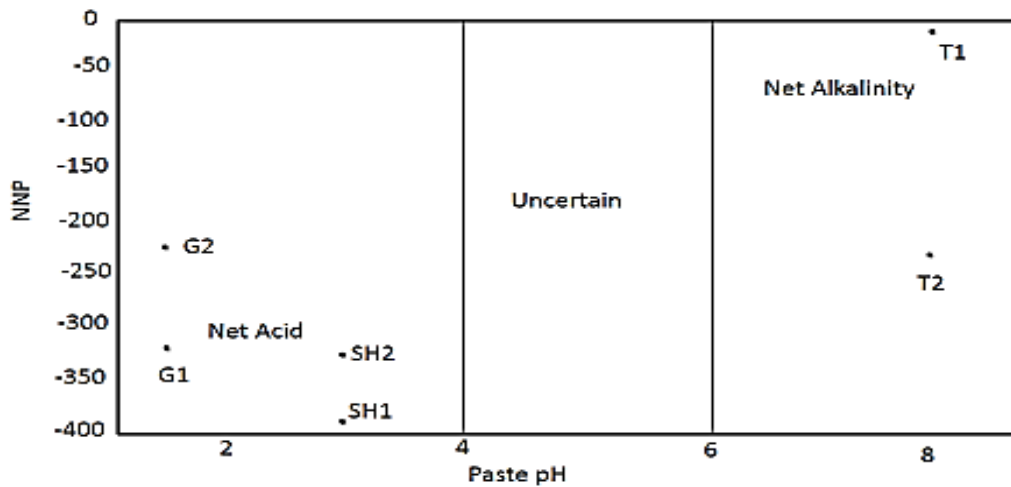
جدول ۴-۱۶ نسبت‌های پارامترهای خنثی ساز اسید به پارامترهای تولید اسید

واحد ها	توضیحات	نمونه	نمونه	نمونه	نسبت های پارامترهای خنثی ساز اسید به تولید اسید
		T	SH	G	
Kg CaCO ₃	دستگاه فلئورسانس پرتوایکس	۰/۶۸ ↑	۰/۰۰۱	۰/۰۴۵	گوگرد کل NPR
Kg CaCO ₃	دستگاه پراش سنجی اشعه ایکس	۰/۰۸۶ ↑	۰/۰۰۱	۰/۰۶	گوگرد کل NPR
Kg CaCO ₃	دستگاه فلئورسانس پرتوایکس	۰/۷ ↑	۰/۰۰۱	۰/۰۵	گوگرد کل NP/MPA
Kg CaCO ₃	دستگاه پراش سنجی اشعه ایکس	۰/۰۸۸ ↑	۰/۰۰۱	۰/۰۶	گوگرد کل NP/MPA
پارامترهای آزمایش‌های اقیانوسیه جنوبی					
-	گوگرد کل دستگاه فلئورسانس پرتوایکس	۷/۰۵ ↑	۰/۰۰۳۱	۰/۰۶	ANC/MPA
-	گوگرد کل دستگاه پراش سنجی اشعه ایکس	۰/۱۰ ↑	۰/۰۰۳۷	۰/۰۹	ANC/MPA

پارامترهای نسبت پتانسیل خالص و نسبت ظرفیت خنثی سازی اسید به حداکثر پتانسیل اسید در صورتی که از یک کوچکتر باشد نشان دهنده پتانسیل تولید زهاب اسیدی معدن است.

در شکل (۴-۲۳) نمودار NNP به Paste pH نشان داده شده است، در این نمودار pH خمیری یا گل اشباع بر روی محور x ها و پتانسیل خنثی سازی خالص بر روی محور y ها قرار می‌گیرند. در کلیه نمونه‌های مطالعه شده، مقدار محاسبه شده برای پتانسیل خنثی سازی خالص عددی منفی می‌باشد که به همین خاطر در منطقه اسید خالص قرار می‌گیرند. البته در نمونه T مقدار pH خنثی و کمی قلیایی می‌باشد که این امر باعث خنثی شدن اسید تولید شده در این نمونه‌ها می‌شود. این نمودار دارای سه زون اسید خالص، زون نامعلوم و زون باز خالص می‌باشد که نمونه‌های SH1, SH2, G1 و G2 در منطقه اسید خالص و

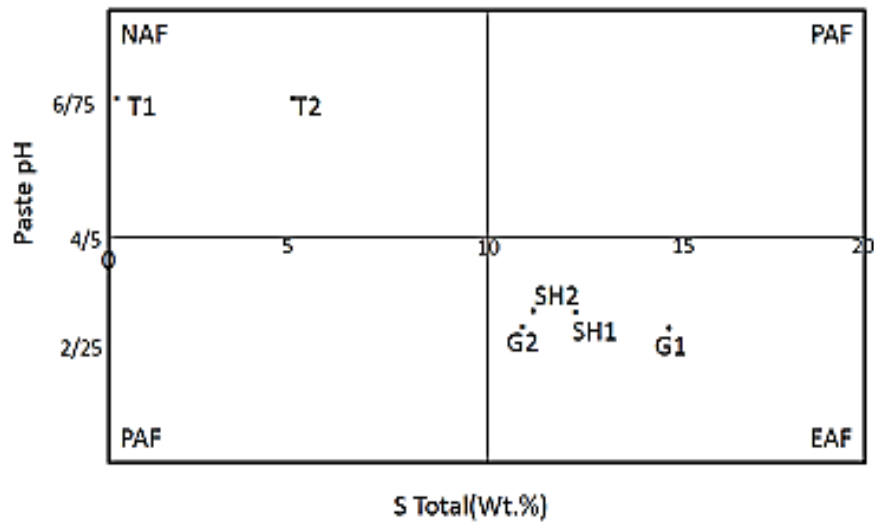
نمونه‌های T1 و T2 در منطقه قلیایی خالص قرار می‌گیرند. در محاسبه پارامتر NNP از نتایج دو روش XRF (نمونه‌های G1,SH1,T1) و XRD (نمونه‌های G2,SH2,T1) استفاده شده است. از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که دو نمونه SH و G تولید زهاب اسیدی دارند ولی نمونه T اسید تولید نمی‌گردد.



شکل ۴-۲۳ نمودار NNP به Paste pH

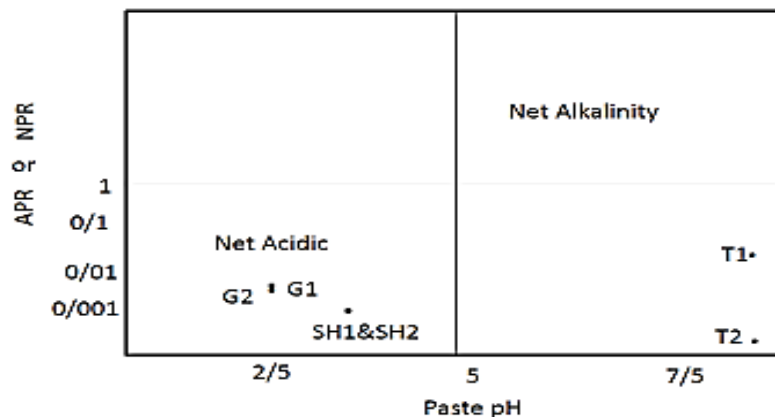
در شکل (۴-۲۴) نمودار pH خمیری و درصد گوگرد کل نشان داده شده است. در محاسبه پارامتر گوگرد کل از نتایج دو روش XRF (نمونه‌های G1,SH1,T1) و XRD (نمونه‌های G2,SH2, T2) استفاده شده است. در این نمودار به سه منطقه تشکیل نشدن اسید، پتانسیل تولید اسید و تشکیل شدن زیاد اسید تقسیم می‌شود.

نمونه‌های SH1, SH2, G1 و G2 در منطقه تشکیل شدن زیاد اسید قرار می‌گیرند. این نمونه‌ها pH کمتر از ۴/۵ دارند که خود نشانگر تولید اسید می‌باشد.



شکل ۴-۲۴ Paste pH و گوگرد کل

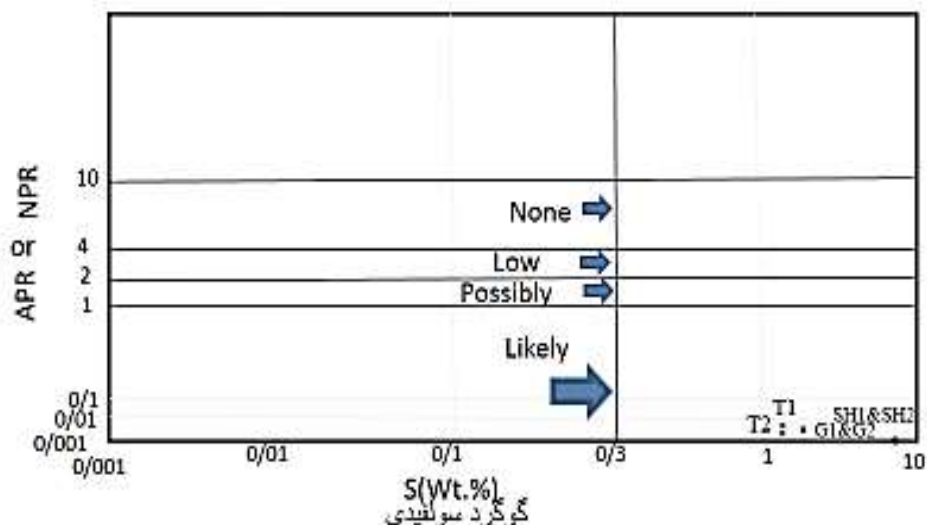
در شکل (۴-۲۵) نمودار NPR و Paste pH نشان داده شده است. نمونه های SH2, SH1, G1 و G2 در منطقه اسید خالص قرار می‌گیرند و نمونه‌های T1 و T2 در منطقه قلیایی خالص قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۲۵ نمودار NPR و Paste pH

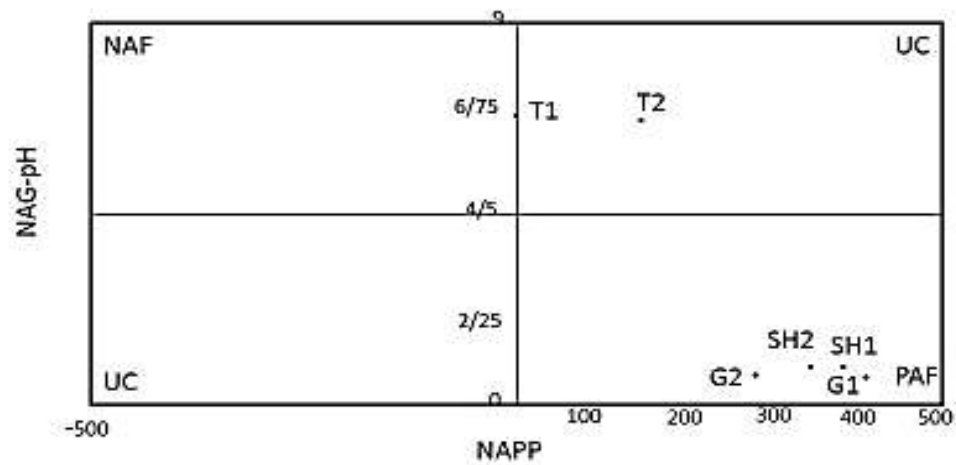
در شکل (۴-۲۶) نمودار NPR و گوگرد سولفیدی نشان داده شده است. درصد گوگرد سولفیدی بر روی محور Xها و پارامتر نسبت پتانسیل خنثی بر روی محور Yها قرار گرفته است. این نمودار دارای چهار زون بدون، کم، ممکنه و احتمال تولید اسید تقسیم می‌شود. اگر پارامتر NPR از عدد یک کوچکتر باشد

احتمال تولید اسید وجود دارد و در تمام نمونه‌های مطالعه شده مقدار نسبت پتانسیل خنثی از یک کوچکتر بوده در نتیجه نمونه‌ها تولید اسید دارند. در این نمودار مقدار گوگرد سولفیدی از ۰/۳ شروع می‌شود.



شکل ۴-۲۶ نمودار NPR و گوگرد سولفیدی

در شکل (۴-۲۷) نمودار NAPP و NAG-pH نشان داده شده است که pH تولید اسید خالص بر روی محور yها و پتانسیل تولید اسید خالص بر روی محور xها قرار گرفته است. نمونه‌های SH2, SH1, G1 و G2 در محدوده پتانسیل تولید اسید قرار می‌گیرند چون pH از ۴/۵ کوچکتر است و NAPP عددی مثبت است. در مورد نمونه‌های T1 و T2 چون pH از ۴/۵ بیشتر است در محدوده نامطمئن قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۲۷ نمودار NAG-PH و NAPP

۴-۲-۴ آزمایش‌های

آزمایش ستونی لیچینگ زهاب در سیستم باز، شاخه‌ای از آزمایش‌های سینتیک در سیستم باز می‌باشد. در این پژوهش پارامترهای اندازه ذرات، زمان، دما و واکنش با محلول‌های شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. جدول‌های (۴-۱۷ تا ۴-۱۹) تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، pH، Eh و EC نشان داده شده است.

❖ نمونه G

جدول ۴-۱۷ تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، pH، EC و نمونه G

اندازه ذرات					پارامترها
2mm<x	2mm<x	2mm<x	x<2mm	2mm<x	
H ₂ O ₂ نمونه ۵	HNO ₃ +H ₂ SO ₄ نمونه ۴	HCl نمونه ۳	آب مقطر نمونه ۲	آب مقطر نمونه ۱ (شاهد)	بر هم کنش با محلول‌های مختلف
۲/۹۵	۲/۴۷	۱/۵۲	۳/۰۱	۳/۴۶ ↑	pH
۲۲/۳۷	۲۲/۷۰ ↑	۲۱/۹۳	۲۲/۲۷	۲۲/۲۷	T
۳۷۷/۰۰	۳۸۰/۰۰	۴۱۱/۰۰ ↑	۲۷۵/۵۰	۳۱۰/۵۰	Eh
۲۳/۶۰	۶/۵۲	۳۱/۴۰	۵/۴۶	۱۰۰۴/۰۰ ↑	EC
۲۳۴/۷۳ ↑	۱۲۵/۸۰	۱۱۶/۰۲	۱۶۸/۰۹	۱۱۶/۴۶	آلومینیم
۰/۱۰	۳/۰۷ ↑	۰/۷۲	<۰/۰۵	<۰/۰۵	آرسنیک
۴۱۵/۷۷	۴۹۳/۷۰ ↑	۲۷۴/۰۰	۳۳۸/۵۷	۲۹۲/۸۳	کلسیم
۱۱/۷۸ ↑	۸/۳۰	۱۰/۹۵	۱۱/۱۳	۴/۹۳	کادمیوم
۰/۲۳	۴۵/۰۵ ↑	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۲۳	کبالت
۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۴	۰/۱۵	۰/۴۴ ↑	مس
۱۵۳/۹۰	۵۱۴/۳۸	۷۹۳/۷۰ ↑	۳۸۸/۲۷ ↑	۳۷۰/۱۵	آهن
۲۴۱/۳۰	۱۹۷/۹۰	۲۵۸/۰۷	۳۷۵/۸۳ ↑	۲۰۱/۸۶	منیزیم
۵۳/۷۳	۳۹/۶۴	۱/۲۵	۵۷/۰۱ ↑	۳۵/۹۷	منگنز
۱/۱۶	۰/۹	۱/۷۵	۱/۹۳ ↑	۱/۰۵	نیکل
<۰/۱۰	<۰/۱۰	۱/۷۵ ↑	<۰/۱۰	<۰/۱۰	سرب
۶۹۰۲/۷۰	۵۵۵۹/۱۳	۷۴۰۳/۰۰ ↑	۹/۳۶	۵۶۳۷/۴۳	روی

در آزمایش‌های ستونی لیچینگ زهاب در سیستم باز، میانگین داده‌ها برای سه بازه زمانی (تاریخ شروع آزمایش، ۱ هفته و ۳ ماه بعد از آزمایش) محاسبه می‌شود با توجه به اینکه داده‌ها مستمر نبودند از آن‌ها میانگین گرفته شد. بیشترین پارامترهای محاسبه شده برای نمونه G به شرح زیر می‌باشد:

● نمونه ۱:

این نمونه به عنوان نمونه (شاهد در باطله‌های G) انتخاب گردید. همانطور که در (جدول ۴-۱۷)

مشاهده می‌شود. مقادیر پارامترهای pH، EC و غلظت مس در این نمونه بیشترین را نشان

می‌دهند.

● نمونه ۲:

این نمونه، معرف نمونه G با اندازه کوچکتر از ۲ میلی متر است. همانطور که در (جدول ۴-۱۷) مشاهده می‌شود، غلظت عناصر منیزیم، منگنز و نیکل در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

● نمونه ۳:

این نمونه، معرف نمونه G با محلول شیمیایی اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال است. همانطور که در (جدول ۴-۱۷) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای Eh، غلظت عناصر آهن، سرب و روی در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

● نمونه ۴:

این نمونه، معرف نمونه G با محلول شیمیایی باران اسیدی (مخلوط اسید سولفوریک و اسید نیتریک) با $pH = 4/5$ است. همانطور که در (جدول ۴-۱۷) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای دما، غلظت عناصر آرسنیک، کلسیم و کبالت در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

● نمونه ۵:

این نمونه، معرف نمونه G با محلول شیمیایی آب اکسیژنه ۱ نرمال است. همانطور که در (جدول ۴-۱۷) مشاهده می‌شود، مقادیر غلظت عناصر آلومینیم و کادمیوم در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

❖ نمونه SH

در آزمایش‌های ستونی لیچینگ زهاب در سیستم باز، میانگین داده‌ها برای سه بازه زمانی (تاریخ شروع آزمایش، ۱ هفته و ۳ ماه بعد از آزمایش) محاسبه شد. با توجه به اینکه داده‌ها مستمر نبودند از آن‌ها میانگین گرفته شد. بیشترین پارامترهای محاسبه شده برای نمونه SH به شرح زیر می‌باشد:

• نمونه ۱:

این نمونه به عنوان نمونه (شاهد در باطله‌های SH) انتخاب گردید. همانطور که در (جدول ۴-۱۸) مشاهده می‌شود. پارامتر pH در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۸ تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، Eh، pH و EC نمونه SH

پارامترها	اندازه ذرات 2mm<x	اندازه ذرات x<2mm	اندازه ذرات 2mm<x	اندازه ذرات 2mm<x	اندازه ذرات 2mm<x
بر هم کنش با محلول های مختلف	H ₂ O ₂ نمونه ۵	HNO ₃ +H ₂ SO ₄ نمونه ۴	HCl نمونه ۳	آب مقطر نمونه ۲	آب مقطر نمونه ۱ (شاهد)
pH	۲/۴۰	۲/۸۲	۱/۲۸	۲/۸۸	۳/۲۲
T	۲۱/۷۳	۲۳/۱۷	۲۴/۰۰	۲۲/۱۷	۲۲/۶۰
Eh	۳۹۲/۰۰	۳۷۸/۰۰	۲۸۰/۰۰	۳۴۵/۰۰	۳۱۷/۰۰
EC	۲۱/۴۰	۱۶/۸۲	۳۰/۹۰	۴/۲۵	۲/۲۲
آلومینیم	۵۰/۳۳	۲۱/۳۸	۲۲/۶۰	۶۵/۴۶	۱۳/۱۹
آرسنیک	۰/۳۰	۰/۱	۰/۵۰	<۰/۰۵	<۰/۰۵
کلسیم	۳۱۵/۵۳	۱۵۳/۵	۲۲۲/۳۰	۵۶۸/۳۰	۹۴/۹۳
کادمیوم	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۷۷	۱/۳۶	۰/۴۶
کبالت	۰/۹۳	۰/۷۲	۰/۷۳	۱/۷۰	۰/۶۰
مس	۰/۷۰	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۲۳
آهن	۲۵۵/۲۷	۲۲۴/۵۰	۳۱۰/۸۰	۴۶۳/۴۰	۱۵۰/۴۳
منیزیم	۳۹۱/۰۰	۳۳۱/۲۳	۳۰۱/۰۳	۷۱۵/۰۳	۲۷۲/۹۳
منگنز	۴۵/۱۰	۳۲۴/۰۰	۲۹/۷۶	۷۳/۹۲	۲۷/۰۳
نیکل	۱/۹۰	۱/۵۵	۱/۳۸	۳/۷۳	۱/۳۰
سرب	<۰/۱۰	۴/۸۶	<۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰
روی	۵۸۲/۳۰	۴۶۹/۷۰	۴۱۷/۰۰	۱۲۳۹/۳	۳۹۶/۱۶

• نمونه ۲:

این نمونه، معرف نمونه SH با اندازه کوچکتر از ۲ میلی متر است. همانطور که در (جدول ۴-۱۸) مشاهده می‌شود. مقادیر غلظت‌های عناصر آلومینیم، کلسیم، کادمیوم، کبالت، مس، آهن، منیزیم، منگنز، نیکل و روی در این نمونه بیشترین را نشان می‌دهند.

• نمونه ۳:

این نمونه، معرف نمونه SH با محلول شیمیایی اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال است. همانطور که در (جدول ۴-۱۸) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای دما، EC و غلظت آرسنیک در این نمونه بیشترین می‌باشند.

جدول ۴-۱۹ تحلیل نتایج ICP برای عناصر مختلف و پارامترهای دما، pH، Eh و EC نمونه T

پارامترها		اندازه ذرات				
2mm<x	2mm<x	2mm<x	x<2mm	2mm<x	بر هم کنش با محلول‌های مختلف	
H ₂ O ₂ نمونه ۵	HNO ₃ +H ₂ SO ₄ نمونه ۴	HCl نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱ (شاهد)		
۴/۶۱	۲/۹۰	۱/۳۶	۷/۵۳ ↑	۶/۵۳	pH	
۲۲/۹۳	۲۳/۱۰	۲۳/۷۰ ↑	۲۲/۴۳	۲۳/۲۰	T	
۲۶۲/۶۰	۳۹۳/۰۰	۴۵۸/۰۰ ↑	۱۳۵/۲۰	۱۴۱/۱۰	Eh	
۱۴۱/۴۰	۴۳۹/۰۰ ↑	۲۳/۱۰	۲۹۲/۰۰	۸۰/۳۰	EC	
۱۲/۰۰ ↑	۱/۶۹	۳/۳۸	۱/۴۴	۱/۰۴	آلومینیم	
<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	آرسنیک	
۸/۵۰	۶۳/۲۶	۷۲/۱۳ ↑	۴۷/۵۰	۳/۳۰	کلسیم	
<۰/۰۲	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۲	کادمیوم	
<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	کیالت	
<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	مس	
۷/۰۰ ↑	۳/۸۴	۶/۲۸	۳/۹۲	۱/۷۳	آهن	
۴/۸۰	۲۳/۷۰ ↑	۲۱/۹۳	۲۱/۴۳	۲/۲۰	منیزیم	
۹/۵۰	۲۳/۷۰ ↑	۲/۰۰	۱/۷۴	۰/۴۷	منگنز	
<۰/۰۵	<۰/۰۵	۰/۰۵	۱/۲۷ ↑	<۰/۰۵	نیکل	
<۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	<۰/۱۰	<۰/۱۰	سرب	
۲۳/۵۰	۴۳/۱۹ ↑	۳۳/۶۷	۱۳/۵۳	۶/۱۳	روی	

• نمونه ۴:

این نمونه، معرف نمونه SH با محلول شیمیایی باران اسیدی (مخلوط اسید سولفوریک و اسید نیتریک) با $\text{pH}=4/5$ است. همانطور که در (جدول ۴-۱۸) مشاهده می‌شود، مقادیر غلظت‌های عناصر منگنز و سرب در این نمونه بیشترین هستند.

• نمونه ۵:

این نمونه، معرف نمونه SH با محلول شیمیایی آب اکسیژنه ۱ نرمال است. همانطور که در (جدول ۴-۱۸) مشاهده می‌شود. مقادیر پارامترهای Eh و غلظت روی در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

❖ نمونه T

در آزمایش‌های ستونی لیچینگ زهاب در سیستم باز، میانگین داده‌ها برای سه بازه زمانی (تاریخ شروع آزمایش، ۱ هفته و ۳ ماه بعد از آزمایش) محاسبه شد. با توجه به اینکه داده‌ها پیوسته نبودند، از آن‌ها میانگین گرفته شد. بیشترین پارامترهای محاسبه شده برای نمونه T به شرح زیر می‌باشد:

• نمونه ۱:

این نمونه به عنوان نمونه شاهد در باطله‌های T انتخاب گردید.

• نمونه ۲:

این نمونه، معرف نمونه T با اندازه کوچکتر از ۲ میلی متر است. همانطور که در (جدول ۴-۱۹) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای pH و غلظت عنصر نیکل در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

● نمونه ۳:

این نمونه، معرف نمونه T با محلول شیمیایی اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال است. همانطور که در (جدول ۴-۱۹) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای دما، Eh، و غلظت کلیسیم در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

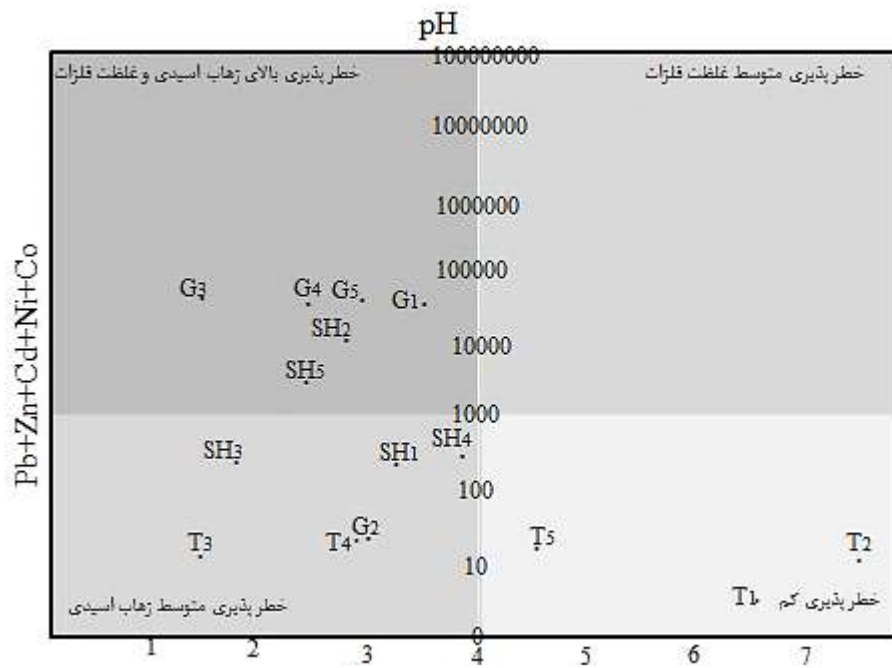
● نمونه ۴:

این نمونه، معرف نمونه T با محلول شیمیایی باران اسیدی (مخلوط اسید سولفوریک و اسید نیتریک) با $pH=4/5$ است. همانطور که در (جدول ۴-۱۹) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای EC، غلظت عناصر منیزیم، منگنز و روی در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

● نمونه ۵:

این نمونه، معرف نمونه T با محلول شیمیایی آب اکسیژنه ۱ نرمال است. همانطور که در (جدول ۴-۱۹) مشاهده می‌شود، مقدار غلظت آلومینیم و آهن در این نمونه بیشترین مقدار را نشان می‌دهند.

در شکل ۴-۲۸، مجموع غلظت ۵ عنصر پایه Co, Ni, Cd, Zn, Pb و برای ۱۵ نمونه آزمایش سینتیک در مقابل pH ترسیم شده است.



شکل ۴-۲۸ غلظت فلزات سنگین و pH

این مستطیل به چهار منطقه تقسیم می‌شود. ۶ نمونه ($G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, SH_1, SH_2, SH_3, SH_4, SH_5$) در منطقه خطرپذیری بالایی زهاب اسیدی و غلظت بالای فلزات قرار گرفته‌اند که از حد استانداردهای مجاز بسیار بالاتر بوده است. ۶ نمونه ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, G_2, SH_3, SH_4$) در منطقه خطرپذیری متوسط زهاب اسیدی قرار گرفته‌اند. ۳ نمونه (T_1, T_2, T_5) در منطقه خطرپذیری کم زهاب اسیدی و غلظت فلزات قرار گرفته‌اند.

فصل پنجم
نتیجه‌گیری و
پیشنهادها

۵-۱ مقدمه

با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی معدن سرب و روی کوشک، در ماه‌های گرم و خشک به دلیل تبخیر فوق العاده زیاد و بارش کم زهاب تولید شده خشک می‌شود و کانی‌های ثانویه رسوب می‌کنند. در ماه‌های سرد سال، به دلیل سرمای فوق العاده زیاد محیط، از فعالیت باکتری‌های تولید کننده زهاب اسیدی کم شده و زهاب قابل توجهی تولید نمی‌شود. تغییرات دما در انحلال‌پذیری گازهای مختلف تأثیرگذار بوده به عبارت دیگر با افزایش دما در محیط، انحلال‌پذیری گازهایی همچون اکسیژن و دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. دی اکسید کربن از انحلال کربنات‌ها و با سوخت و ساز باکتری‌ها در محیط به وجود می‌آیند.

منطقه فلززایی بافق در قسمت خاوری زون ایران مرکزی واقع شده است. ایالت فلززایی بافق شامل کانی‌سازی گسترده سرب، روی، منگنز، آهن و اورانیوم است که همراه با سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی رابطه همزادی نشان می‌دهند. با توجه به ژنز سولفیدی توده‌ای و یا سدکس در معدن سرب و روی کوشک، باطله‌های معدنی پتانسیل تولید زهاب اسیدی را دارند. زهاب اسیدی تولید شده توسط باطله‌های معدنی می‌تواند باعث افزایش غلظت عناصر بالقوه سمی در محیط زیست شود. زهاب اسیدی از اکسایش کانی‌های سولفیدی، سولفاتی و سایر ترکیبات حاوی گوگرد تولید می‌شود و باعث افزایش تحرک عناصر بالقوه سمی، فلزات سنگین، شبه فلزات و کانی‌ها، عناصر رادیکال یا آزاد و افزایش خاصیت اسیدی منابع آب دریافت کننده زهاب می‌شود که این امر به تخریب اکوسیستم‌های آبی و خشکی منجر می‌شود. در این پژوهش، ابتدا خصوصیات فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی باطله‌های فرآوری و سنگ‌های باطله معدن سرب و روی کوشک مورد مطالعه قرار گرفت. سپس پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله‌های معدنی با استفاده از آزمایش‌های استاتیک و سینتیک استاندارد بررسی شد. در این فصل نتایج به دست آمده به طور خلاصه ارائه می‌گردد

۵-۲ آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی

پارامتر pH اصلی‌ترین و مهم‌ترین عامل در کنترل واکنش‌های اسید ساز و یا خنثی ساز در نمونه‌ها می‌باشد. در pH خنثی و یا نزدیک به خنثی ابتدا کانی‌های کربناته حل می‌شوند. پس از انحلال کربنات‌ها، سایر کانی‌ها شامل سلیکات‌ها، اکسیدها وارد واکنش‌های شیمیایی می‌شوند که این حالت برای نمونه T بارز است. کانی اسفالریت و گالن در $pH=4$ وارد واکنش می‌شوند اما در $pH<3/5$ خاصیت اسیدی توسط آهن فریک کنترل می‌شود. در نمونه های SH و G چون $pH<3$ است، کانی‌های خنثی ساز عمل نمی‌کنند.

۵-۳ آزمایش‌های کانی‌شناسی

برای مطالعه کانی‌شناسی باطله‌های معدنی و فرآوری معدن کوشک از دستگاه‌های آنالیز طیف سنجی پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی - پراش انرژی اشعه ایکس و میکروسکوپ نوری و انعکاسی استفاده شد. نتایج به دست آمده از مطالعات کانی‌شناسی به شرح زیر است:

نمونه G (باطله فرآوری)، از کانی‌های سولفیدی (گالن، اسفالریت و پیریت)، سولفاتی (ژاروسیت و ژپس)، کربناتی (دولومیت)، سلیکاتی (آلبیت، مونت‌موریونیت، موسکویت، ایلیت و کائولینیت) و کانی‌های اکسیدی (کوارتز و هماتیت) تشکیل شده است. در این نمونه درصد کانی‌های گوگرد دار از کانی‌های خنثی ساز خیلی بیشتر است و اندازه‌گیری pH این نمونه نیز مؤید این نتیجه‌گیری است.

نمونه SH، از کانی‌های سولفیدی (پیریت، اسفالریت و گالن)، سولفاتی (ژپس)، کربناتی (آنکریت)، سلیکات‌ها (گلاکونیت، کائولینیت، کلریت و مونت‌موریلونیت) و کانی‌های اکسیدی (گوتیت) تشکیل شده است. در این نمونه نیز درصد کانی‌های اسید ساز (گوگرد دار) از کانی‌های خنثی ساز اسید بیشتر است.

این نمونه خاصیت اسیدی بالایی دارد و بنابراین واکنش‌های خنثی ساز اسید نیز در این نمونه عمل نمی‌کنند.

نمونه T، از کانی سولفیدی (اسفالریت و پیریت)، سولفاتی (ژاروسیت، انهیدریت)، نمک‌های آرسنیک گوگرد دار (جوردانیت)، کربنات‌ها (دولومیت و کلسیت)، سیلیکات‌ها (موسکویت، مونت‌موریونیت، کائولینیت و آل‌بیت) و اکسیدها (کوارتز و گوتیت) تشکیل شده است. در این نمونه، بر خلاف دو نمونه قبلی درصد کانی‌های خنثی ساز بیشتر از کانی‌های اسید ساز (گوگرد دار) بوده و از طرفی pH این نمونه نیز خنثی است، بنابراین کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و اکسیدها توانایی خنثی کردن زهاب اسیدی را دارند.

۴-۵ آزمایش‌های استاتیک

در آزمایش‌های استاتیک با استفاده از محاسبه پارامترهای پتانسیل اسید (AP)، پتانسیل خنثی‌سازی (NP)، پتانسیل خنثی سازی خالص (NNP)، نسبت پتانسیل خالص (NPR)، ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)، حداکثر پتانسیل اسید (MPA) که همان پتانسیل تولید اسید (APP)، میزان تولید زهاب اسیدی (NP/MPA)، مصرف اسید (AC) و پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP) محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که باطله‌های G و SH دارای پتانسیل زهاب اسیدی بوده، ولی نمونه T در محدوده مشکوک قرار می‌گیرد که مؤید نتیجه کانی‌شناسی است.

۵-۵ آزمایش سینتیک

در آزمایش لیچینگ ستونی در سیستم باز، پارامترهای مختلفی مد نظر قرار گرفت که اصلی‌ترین آن‌ها اندازه ذرات (بیشتر و یا کمتر از دو میلی متر)، برهم‌کنش با محلول‌های شیمیایی (اسیدهای معدنی و اکسید کننده‌های قوی) می‌باشد. این آزمایش‌ها در شرایط گرمایی کنترل شده (با استفاده لامپ‌های مادون قرمز) انجام شدند. تجزیه شیمیایی شیرابه‌های تولید شده با روش ICP مقدار و نوع

عناصر (آلومینیم، آرسنیک، کلسیم، کادمیوم، کبالت، مس، آهن، منیزیم، منگنز، نیکل، سرب و روی) خارج شده از باطله‌ها را نشان می‌دهد.

۵-۶ پیشنهادها

۱- انجام آزمایش‌های لیچینگ در سیستم بسته مانند سلول مرطوب و یا آزمایش ستونی هم زمان با آزمایش لیچینگ با سیستم باز و لامپ حرارتی به منظور مقایسه داده‌های سیستم باز و بسته پیشنهاد می‌گردد.

۲- انجام آزمایش‌های سینتیک در دماهای کمتر و بررسی نقش دمای انجماد در تولید زهاب توسط باطله‌های معدنی و فرآوری معدن سرب و روی کوشک

۳- محاسبه پارامترهای نفوذپذیری و تخلخل در مورد نمونه‌های باطله معدنی سرب و روی

۴- مطالعه و بررسی زهاب‌های تولید باطله‌های معدنی، فرآوری، زهاب‌های تولید شده در معدن روباز و زیرزمینی، پساب‌های انتقالی از کارخانه فرآوری معدن توسط کانال به سد فرآوری معدن سرب و روی کوشک در دو فصل تر و خشک

۵- بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی بارش‌های تر و بررسی ژئوشیمیایی بارش‌های خشک در محدوده معدن

۶- ارزیابی و بررسی شیمیایی و فیزیکی زهاب‌های به وجود آمده از انواع باطله‌ها در دوره زمانی طولانی به منظور پیش‌بینی روند تولید زهاب در سال‌های آتی

۷- بررسی بهترین روش پاک‌سازی محیط و منطقه از آلودگی‌های فلزات سنگین، شبه فلزات و زهاب اسیدی معدن و یا سنگ بر طبق جغرافیا و اقلیم منطقه

منابع استفاده شده در این پژوهش:

پایان نامه‌ها:

- جلیلیان، ح.ر.، کاهش اتلاف روی در مرحله پیش فرآوری سرب و روی کوشک (1393) پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، دانشگاه تهران.
- رجایی، م.م.، مطالعه و بررسی بازیابی روی از باطله های کارخانه فرآوری معدن سرب و روی کوشک (1390) پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- زند، م.م.، بررسی کنترل کننده ساختاری - معدنی بر پایه مطالعات سیالات درگیر اکتشافات معدنی در منطقه کیل - کوشک در زیر پهنه متالوژی بافق استان یزد (1392) پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران دانشکده علوم پایه - گروه زمین شناسی.
- وظیفه مهربانی، ج.، بیوفلوتاسیون کانسنگ های سولفیدی کم عیار سرب و روی، (1387) پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- وظیفه مهربانی، ج.، بولینگ اسفالریت از باطله های پیریت سرب و روی حاوی مواد آلی (1392) رساله دکترا، دانشکده معدن، دانشگاه تهران.
- مهربانی، بهزاد 1370، کانی شناسی ژنز کانسار سرب و روی کوشک (بافق)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران.
- Pavia in en A., (2012). Evolution of sulfide oxidation and attenuation mechanisms controlling acid mine drainage in decommissioned low-sulfide tailings. PhD Thesis Alto University. (86 P)

منابع فارسی:

- آذرآئین، حسن 1382، مدل کانه سازی سرب - روی آهن کانسار متصاعدی-رسوبی در محدوده معدنی کوشک و بافق یزد، دانشگاه شهید با هنر کرمان.
- درویش زاده علی، 1370 زمین شناسی ایران، انتشارات نشر دانش امروز.
- کره ای، م.ت.، حیدری، م.، نقشه راه علوم زمین و معدن استان یزد بارش بهار 1395 . صفحه 392

منابع انگلیسی:

- Abfertiawan,M.S.,Gautama,R.S., Development of catchment Area Approach in Management of Acid Mine drainage, (2011). Journal of Mine Water – Managing the Challenge,Aachen, Germany. 6 P.
- Akcila,A., Koldasb,S.,Acid Mine Drainage(AMD):causes,treatment and casestudies. (April2005), Journal of Cleaner Production. doi:10.1016/j.jclepro.2004.09.006. 7 P.
- AnitaK.Parbhakar-Foxa,MansourEdrakib,SteveWaltersa,c,DeeBradshaw, Development of a textural index for the prediction of acid rock drainage. Miner.Eng.(2011), doi:10.1016/j.mineng.2011.04.019. 11P.
- ARD PREDICTION MANUAL(MEND1.16.1b,2008).83P.
- Bouzahzah,H.,Benzaazoua, M., Plante, B., Bussière, B., & Pirard,E ., Prediction of acid mine generating potential: validation using mineralogy. 4P.
- CAMA,J., Mineral Dissolution and Precipitation Kinetics: Macroscopic, Microscopic and Nanoscopic Techniques.Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA). 9 P.
- Coastech Research INC, (November ,1989)Investigation of Prediction Techniques for Acid Mine Drainage, MEND Project 1.16.1a, 327 P.

- Craynon J.,(2004)."FUTURE DIRECTIONS OF THE COAL MINING SECTOR OF THE ACID DRAINAGE TECHNOLOGY INITIATIVE AND THE NEEDS FOR ACID DRAINAGE RESEARCH". National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation and the 25th West Virginia Surface Mine Drainage Task Force. 8 P
- Craynon,J., FUTURE DIRECTIONS OF THE COAL MINING SECTOR OF THE ACID DRAINAGE TECHNOLOGY INITIATIVE AND THE NEEDS FOR ACID DRAINAGE RESEARCH, 2004 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation and the 25th West Virginia Surface Mine Drainage Task Force, April 18-24, 2004. Published by ASMR. 8 p.
- Critical Literature Review of Acid Drainage from Waste Rock (1.11.1,1991).۱۹۲P.
- Dold,B.(2016)," Acid rock drainage prediction:Acritical review.Journal of Geochemical Exploration",172(2017)120–132.13 P.
- Edgardo Alarcón León, Carel van der Westhuizen and Lucy (Xin) Du , Acid Mine and Metalliferous Drainage (AMD); Sample Selection an Intricate Task .(2015). 10th ICARD IMWA 2015 9 (1010th IInternational Conference on Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference.10 P.
- Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry, Chapter 6 , Lead and Zinc. 27 P.
- Environmental Code of Practice for Metal Mines (2009),ISBN 978-1-100-11901-4 Cat. no.: En4-107/2009E-PDF. 108 P.
- Fassett G.R.,(1917-18). "Sampling of Dumps and Tailings", University of Arizona Bureau of Mines, Tucson, Arizona, 23 P.
- FerreiradaSilva,E., Patinha,C., Reis,P., CardosoFonseca,E., Matos,J.X., Barrosinho,J., SantosOliveira,J.M., Interaction of acid mine drainage with waters and sediments at the Corona stream,Lousal mine (Iberian Pyrite Belt,Southern Portugal).(2006).Journal of Environ Geol, DOI10.1007/s00254-006-0273-6. 13 P.

- GEORGER.FANSETT, Sampling of Dumps and Tailings, University of Arizona Bureau of Mines(1917-18). 23 P.
- Hammarstrom,J.M., Piatak,N.M., Seal,R.R., Briggs,P.H., Meier,A.L., and Muzik,T.L., Geochemical Characteristics of TP3 Mine Wastes at the Elizabeth Copper Mine Superfund Site, Orange Co., Vermont ,Open-File Report 03-431. U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR & U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 88 P.
- Handbook for Waste Rock Sampling Techniques MEND Project 4.5.1-2 , Atomic Energy Control Board, INCO Limited, Homestake Canada, Environment Canada, and the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) . (1994). 72 P.
- Hornberger R.J., Krueger G.E. , Ziemkiewicz P.F., Leavitt,B.," The Acid Drainage Technology Initiative (ADTI) – Coal Mining Sector". 12 P.
- INVESTIGATION OF PREDICTION OF AMD,(MEND Project 1.16.1a,1989).327P.
- Jambor,J.L. , Dutrizac,J.E., Raudsepp,M., COMPARISON OF MEASURED AND MINERALOGICALLY PREDICTED VALUES OF THE SOBEK NEUTRALIZATION POTENTIAL FOR INTRUSIVE ROCKS. 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), March 26-30, 2006, St. Louis MO. R.I. Barnhisel (ed.) Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR). 13 P.
- James Lombard, Sampling Potentially Pyritiferous Materials. 9 P.
- Jeffrey,G., Skousen,A., Sexstone, Ziemkiewicz,P.F., ACID MINE DRAINAGE CONTROL AND TREATMENT,(2000). Reclamation of Drastically Disturbed Lands American Society of Agronomy and American Society for Surface Mining and Reclamation. Agronomy No. 41. 42 p.
- Jennings, S.R., Neuman, D.R. and Blicher, P.S. (2008). “Acid Mine Drainage and Effects on Fish Health and Ecology: A Review”. Reclamation Research Group Publication, Bozeman, MT. 29 P.

- Kevin A. Morin, Ph.D., P.Geo., L.Hydrogeo. Nora M. Hutt, A.Sc.T, c.C.T. Minesite Drainage Assessment Group, Schaft Creek Project - Acid-Base Accounting and Solid-Phase Total-Element Contents for Rock.(April 2, 2010). 210 P.
- Lead and Zinc Chapter 6, Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. 27 P.
- Lefebvre, R., Modeling Acid mine drainage in waste rock dumps.TOUGH workshop Lawrence Berkeley Laboratory, CA, (March 1995). 6 P.
- Lombard, J. (2014). "Sampling Potentially Pyritiferous Materials" A.B.Hawkins, Implications of Pyrite Oxidation for Engineering Works, 99 DOI:10.1007/978-3-319-00221-7_2, Springer International Publishing Switzerland, 9 P .
- Lottermoser, Bernd G., Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts, Third Edition.(2010). ISBN 978-3-642-12418-1, DOI 10.1007/978-3-642-12419-8. 410 P.
- MEND MANUAL(VOLUME1 -5.4.2a,2001)
- Minnitt, R.(-).SAMPLING: "THE IMPACT ON COSTS AND DECISION MAKING", The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Analytical challenges in Metallurgy, 17 P.
- Mohammadi Z, Modabberi S, Jafari M.R., Sadat Ajayebi K.(2015), "Comparison of different static methods for assessment of AMD generation potential in mining waste dumps in the Muteh Gold Mines", Iran, Environ Monit Assess, 14 P.
- Morin K.A., Hutt N.M.(1997). 'COMPARISONS OF AMD PREDICTIONS WITH HISTORICAL RECORDS.' Proceedings of the Workshop on Acid Mine Drainage, 15-18 July, Darwin, Northern Territory, Australia, Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research, p. 33-44. 12 P.
- Morin, K.A., and Hutt, N.M., COMPARISONS OF AMD PREDICTIONS WITH HISTORICAL RECORDS, 1997. A comparison AMD predictions with historical records. IN: R.W. McLean and L.C. Bell., eds., Proceedings of the Workshop on Acid

- Mine Drainage, 15-18 July, Darwin, Northern Territory, Australia, Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research, p. 33-44. 12 P.
- Nason, P., Alakangas, L., Öhlander, B. (2011). "Assessing the Impact of Sewage Sludge on a Formally Remediated Tailings Impoundment in Relation to the Transport of Metals in Groundwater." Mine Water – Managing the Challenges, Aachen, Germany, 6 P.
 - Novhe N. O., Yibas B, Netshitungulwana Rand Lusunzi R, Geochemical and Minerological Characterization of Mine Residue Deposits in the Komati/Crocodile Catchment, South Africa: an Assessment for Acid/Alkaline Mine Drainage. (2014). An Interdisciplinary Response to Mine Water Challenges. 7 P.
 - Okoro, H.K., Fatoki, O.S., Adekola, F.A., Ximba, B.J., and Snyman, R.G., A Review of Sequential Extraction Procedures for Heavy Metals Speciation in Soil and Sediments. (2012). Journal of Open Access Scientific Reports, <http://dx.doi.org/10.4172/scientificreports.181>. 9 P.
 - Parsons, S.C., Ziemkiewicz, P.F., Fred Block, Hornberger, R.J. and Craynon, J.R., ACID DRAINAGE TECHNOLOGY INITIATIVE: CONTINUING PROGRESS IN COAL RELATED TOPICS. 10 p.
 - P.K. Sahoo, S. Tripathy, M.K. Panigrahi, Sk. Md. Equeenuddin, Geochemical characterization of coal and waste rocks from a high sulfur bearing coal field, India: Implication for acid and metal generation. (2014). Journal of Geochemical Exploration. 13 P.
 - Prediction manual for drainage chemistry from sulphidic Geologic materials, (MEND Report 1, 20, 1., 2009). 579 P.
 - RÄISÄNEN, M.L., KAUPPILA, P.M., AND MYÖHÄNEN, T., Suitability of static tests for acid rock drainage assessment of mine waste rock. (2010). Journal of Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol. 82, 2010, pp 101–111. 11 P.

- Represented by the Minister of the Environment, Environmental Code of Practice for Metal Mines, (2009). ISBN 978-1-100-11901-4 Cat. no.: En4-107/2009E-PDF. 108 P.
- Romeroa, F.M.,Prol-Ledesmab,R.M.,Canetb, C., Alvaresc,L.N.,Pérez-Vázquez,R., Acid drainage at the inactive Santa Lucia mine,western Cuba:Natural attenuation of arsenic,barium and lead,and geochemical behavior of rare earth elements.(2010) Journal of Applied Geochemistry716–727. doi:10.1016/j.apgeochem.2010.02.004. 12 P.
- Rosseau P.DS, (2012)."A critical review of static geochemical test methods applied to mining wastes, including their applicability to field conditons", International Mine Water Association Annual Conference. 6 P.
- Sapsford D.,Bowell R., Dey M., Williams C., Williams K.," A Comparison of Kinetic NAG tests with Static and Humidity Cell Tests for the Prediction of ARD ".(4 P)
- SENES Consultants Limited.(June 1994).'Handbook for Waste Rock Sampling Techniques, MEND Project 4.5.1-2",72 P.
- Skousen,J.G., Sexstone,A., and Ziemkiewicz,P.F., ACID MINE DRAINAGE CONTROL AND TREATMENT, 2000. Reclamation of Drastically Disturbed Lands American Society of Agronomy and American Society for Surface Mining and Reclamation.Chapter 6. 42 P.
- Technical Document Acid Mine Drainage Prediction, (December 1994). EPA530-R - 94-036, NTISPB94-201829 ,52 P.
- TECHNICAL RESOURCE DOCUMENT EXTRACTION AND BENEFICIATION OF ORES AND MINERALS VOLUME 1 LEAD-ZINC, EPA 530-R-94-011, NTIS PB94-170248 . (June 1994). 127 P.
- The Department of Environmental Quality (DEQ) has prepared a Final Sampling and Analysis Plan for Montana Resources' Yankee Doodle Tailings Impoundment located in Butte, Montana. (2013). 7 P.
- United States Office of Water Environmental Protection Agency, Method 1627: Kinetic Test Method for the Prediction of Mine Drainage Quality December 2011. EPA-821-R-09-002. 37 p.

- U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste, TECHNICAL RESOURCE DOCUMENT EXTRACTION AND BENEFICIATION OF ORES AND MINERALS. (June 1994), VOLUME 1 LEAD-ZINC. 127 P.
- U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste Special Waste Branch,(August 1994). "TECHNICAL REPORT DESIGN AND EVALUATION OF TAILINGS DAMS". EPA 530-R-94-038 NTIS PB94-201845, 63 P.
- United States Office of Water Environmental Protection Agency (December 2011). "Method 1627: Kinetic Test Method for the Prediction of Mine Drainage Quality". 37 P.

وب سایتها (تارنماها):

- <http://geology.com/minerals/>
- <http://mend-nedem.org/category/uncategorized/>
- http://www.webmineral.com/Mineral_Definition.shtml#.WTee4pKGO1s

Abstract

Bafg mining area is one of the most metallogenic areas in Iran; includes the most important iron deposits of Iran with phosphate, uranium, lead and zinc sulfide deposits such as Kushk, Zarigan, Chahmyr and so on. Kushk deposits include Kushk, Zardo, Pahno, Kille and Chah Gaz. Assessment and prediction of acid mine drainage, are the most important features to predict and prevent environmental pollution caused by mining activities in the surrounding mine environment. The source of acid mine or rock drainage includes oxidation of sulfur minerals and other materials containing sulfur such as sulfides, primary and secondary sulfates, thiosulfate salts, elemental sulfur and organic sulfur which are known as the total sulfur. Potentially, toxic elements have no contribution in the formation of acid drainage but the acid drainage can be a cause of such pollutants transportation to soils and aquatic ecosystems. According to climatic and geographical lead and zinc mine conditions, in the warm and dry months the drainage produced is dry due to extremely high evaporation and low rainfall and secondary minerals are deposited, in the cold months because of the extreme cold environment, the activity of acid-producing bacteria become limited and any drainage in the area are frozen. For the calculation of the total sulfur content used X-ray fluorescence (calculated total sulfur) and X-ray diffraction (calculated total sulfur of minerals) methods were used. Two samples of SH and G have been the highest acid factors (minerals and elements) than neutralizing factors in all parameters measured in static (paste pH, Standard Acid Base Accounting, Modify Acid Base Accounting, B.C. Research Initial, Net Acid Production and Acid Neutralization Capacity tests), mineralogical and physico-chemical tests;

Representing the production and the potential for acid mine drainage. In sample T, neutralizing factors are more than acid factors for this reason some parameters in static tests located in unknown zone.

Key words: acid mine drainage, acid rock drainage, total sulfur, sulfide and sulfate minerals



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

**Assessment of Acid Mine Drainage generation in mine wastes
and Tailings of lead and zinc Kuushk mine, Yazd province**

By: Babak Gharari

Supervisors:

Dr Giti Forghani Tehrani

Dr Faramarz Doulati Ardejani

Advisor:

Dr Afshin Qishlaqi

March 2017