به نام خداوند بخشنده مهربان

دانشکده علوم زمین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی

ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های معدن طزره، شمال شرق دامغان

نگارنده: ابراهیم ربیعی

استاد راهنما

دکتر گیتی فرقانی تهرانی

شهریور ۱۳۹۸

شماره ۹۱۰۷۰۱۱۲

تاریخ: ۹۸/۷/۲۸

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای: **ابراهیم ربیعی** با شماره دانشجویی ۹۵۰۶۴۴۴ رشته: **زمین‌شناسی** گرایش: **زمین‌شناسی زیست محیطی :**

که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: خیلی خوب..) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر گیتی فرقانی تهرانی	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر غلام‌حسین کرمی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۸۸/۷/۲۸

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

ت

سپاسگذاری

پروردگارا خود را تقدیم تو می‌دارم؛ با من کن و از من ساز آنچه خود اراده کنی، از اسارت نفس رهایم کن تا انجام اراده‌ات را بهتر توانم. مشکلاتم را بگیر تا پیروزی بر آن‌ها شاهدی باشد برای کسانی که با قدرت تو، عشق تو یاریشان خواهم داد، باشد که همیشه به اراده‌ات گردن نهم.

سپاس خدای را که سخنوران در ستودن او بمانند، شمرندگان شمردن نعمتهای او ندانند و کوشندگان حق او را گزاردن نتوانند. خداوند متعال را شاکرم که افتخار شاگردی وکسب علم از محضر بزرگان واستادانی به من کرامت فرمود که نه از دست ونه از زبان قاصرم تا قدردان آنان باشم، پس بدین وسیله مصداق "هر کس از مخلوق شکر گزار باشد شکرگزار خداوند است" از استاد باکمالات و شایسته و کوشا سرکار خانم دکتر گیتی فرقانی تهرانی به عنوان استاد راهنمای اینجانب که در کمال سعه صدر و با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در بر سر انجام رساندن این پایان‌نامه از بنده دریغ نفرمودند و مزاحمت‌های وقت وبی‌وقت مرا با خوشرویی تحمل فرمودند سپاسگزارم.

از استاد صبور، خوشرو و فرزانه جناب آقای دکتر افشین قشلاقی و مساعدت‌های بسیار ایشان کمال سپاس وقدرانی را دارم. از استادان فاضل جناب آقایان دکتر غلامحسین کرمی و جناب آقای دکتر مومنی که در عرصه علم وزندگی یاور بی‌چشم داشت برای من کمترین بودند، نهایت سپاس خود را تقدیم می‌دارم. از ریاست محترم دانشکده علوم زمین جناب آقای دکتر امیدی و مدیر گروه محترم جناب آقای دکتر علی‌پور اصل که با حسن خلق

وفروتنی ازهیچ کمک اداری و پژوهشی دریغ نفرمودند سپاسگزارم. از مسئولین محترم شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، جناب آقای دکتر قنبری معاونت معدنی، جناب آقای مهندس حسینی مدیر ایمنی، بهداشت ومحیط زیست، جناب آقای مهندس رضایی رئیس اکتشافات شرکت که با نگاه آرمانی، انسانی و مساعدت برادرانه، بی منت شرایط این تحقیق و کار را برایم مهیا کردند کمال سپاس و قدرانی را دارم . از استادان و داوران محترم جناب آقایان دکترکرمی وجناب آقای دکتر قشلاقی که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه بر دوش آنان قرار گرفت سپاس فراوان دارم.

با سپاس از پدر مهربانم چون معلم اخلاق و استاد فقید و فرزانه که راست زیستن وشجاعت در تمامی دوران زندگانیم را به عنوان بهترین میراث به من آموخت و اکنون جایش برای من خالیست ولی هنوز یادش قوت قلب در مشکلاتم است، رحمت بی‌کران الهی را خواستارم روحش شاد.از مادر مهربانم که صبوری، مهربانی و شکرگزاری را به من به من آموخت از اعماق وجودم سپاسگزارم.سپاس از همسر مهربان وبردبارم که چندین سال است راحتی وآسایش زندگی خود را فدای ایجاد محیطی آرام برایم کرده است بر من فرض است. سپاس از دوستان عزیزم جناب آقایان مهندس ابراهیم مجنی و مهندس شمس که از هیچ مساعدتی در دوران تحصیل از این بنده حقیر دریغ نکردند. در پایان برای همه این عزیزان آرزوی سلامتی وتندرستی را دارم که بهترین آرزوهاست.

تعهدنامه

اینجانب ابراهیم ربیعی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های معدن طزره، شمال شرق دامغان

تحت راهنمایی **دکتر گیتی فرقانی تهرانی** متعهد می‌شوم.

تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام‌شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان‌نامه 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahroud University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافت‌های آن‌ها) استفاده‌شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده‌شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۸/۷/۲۳

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده:

معدن زغال‌سنگ طزره در ۴۵ کیلومتری شمال‌شرقی شهر دامغان واقع شده است. هدف از این تحقیق، بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی باطله‌های حاصل از استخراج معدن زغال‌سنگ طزره، و ارزیابی قابلیت تشکیل زهاب اسیدی توسط باطله‌های معدنی می‌باشد. به این منظور ۸ نمونه باطله معرف جمع‌آوری گردید. برای دستیابی به هدف پژوهش، از مطالعه مقاطع صیقلی، آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، آنالیز فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و آزمایش‌های استاتیک، استفاده شد. مطالعات کانی‌شناسی نشان‌دهنده حضور پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، کالکوسیت، مارکاسیت، آلبیت، کائولینیت و کوارتز در نمونه‌های باطله معدن زغال‌سنگ طزره می‌باشند. در نمونه‌های مورد مطالعه، کانی پیریت به صورت ذرات بلوری گوشه‌دار، کروی، تجمعات فرامبوئیدی یا به‌صورت پرکننده درز و شکاف‌ها حضور دارد. باطله‌های معدن طزره نسبت به عناصر سمی Mn، Fe و Cd بدون غنی-شدگی، نسبت به عناصر Ni، Cr، Cu دارای غنی‌شدگی قابل توجه و نسبت به عنصر As دارای غنی-شدگی خیلی زیاد می‌باشند. بیشترین غلظت عناصر در نمونه شماره ۶ مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج آزمایش‌های استاتیک، pH گل اشباع تمامی نمونه‌ها بیشتر از ۴ و هدایت الکتریکی گل اشباع ۶ نمونه بیشتر از ۲۰۰۰ µS/cm می‌باشد. بر اساس آزمون‌های استاتیک، نمونه باطله‌های شماره ۶ و ۲ دارای پتانسیل تولید اسید و سایر نمونه‌ها فاقد این پتانسیل هستند. مشاهدات صحرایی شامل اندازه‌گیری pH آب‌های معدنی، مؤید این نتیجه‌گیری است. این امر لزوم مدیریت زیست‌محیطی باطله‌های معدن زغال‌سنگ طزره را مورد تاکید قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی: زهاب اسیدی معدن، آزمایش استاتیک، باطله‌های معدنی، زغال‌سنگ، طزره، عناصر سمی

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۱-۱- بیان مسأله و ضرورت انجام پژوهش ۲

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه ۳

۱-۳- آب و هوای منطقه ۴

۱-۳-۱- دما ۵

۱-۳-۲- بارندگی ۵

۱-۳-۳- تبخیر ۵

۱-۴- پوشش گیاهی ۶

۱-۵- منابع آب سطحی ۶

۱-۶- منابع آب زیر زمینی ۷

۱-۷- زمین‌شناسی منطقه ۷

۱-۸- معدنکاری در محدوده معدن زغال‌سنگ معدن طزره و دپو باطله‌ها ۹

۲- مروری بر مطالعات پیشین ۱۱

۲-۱- زغال‌سنگ، نحوه تشکیل، و اثرات زیست محیطی آن ۱۲

۲-۱-۱- زهاب اسیدی معدن ۱۲

۲-۲- روش‌های بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی ۱۵

۲-۳- مطالعات پیشین ۱۷

۲-۳-۱- سابقه مطالعات قبلی در جهان ۱۷

۲-۳-۲- سابقه مطالعات قبلی در ایران ۲۰

۳- روش انجام تحقیق ۲۳
۳-۱- مقدمه ۲۴
۳-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها ۲۴
۳-۳- تهیه مقاطع صیقلی ۲۷
۳-۴- آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) ۲۷
۳-۵- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها ۲۷
۳-۶- محاسبه ضریب غنی‌شدگی ۲۸
۳-۷- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی ۲۹
۳-۷-۱- آزمایش اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع ۲۹
۳-۷-۲- محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA)..... ۲۹
۳-۷-۳- محاسبه پتانسیل تولید اسید (AP) ۳۰
۳-۷-۴- آزمون پتانسیل خنثی‌سازی نمونه(NP) ۳۰
۳-۷-۵- آزمون‌های استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز (تصحیح شده) ۳۲
۳-۷-۶- پتانسیل خنثی‌سازی خالص(NNP) ۳۲
۳-۷-۷- آزمایش ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC) ۳۳
۳-۷-۸- محاسبه پتانیسل اسید خالص(NAPP) ۳۴
۳-۷-۹- آزمایش تشکیل اسید خاص (NAG) ۳۴
۳-۷-۱۰- آزمون تولید اسید خالص (NAP) ۳۵
۴- نتایج و بحث ۳۷
۴-۱- مقدمه ۳۸

۴-۲- غلظت عناصر در نمونه‌های باطله‌ها ۳۸
۴-۳- مطالعات بافتی و کانی‌شناسی ۴۱
۴-۳-۱- مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی ۴۱
۴-۳-۲- بررسی ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های معدن طزره ۴۶
۴-۴- ارزیابی پتانسیل تولید اسید توسط روشهای استاتیک ۴۸
۴-۴-۱- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی ۴۸
۴-۵- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی با استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی ۵۴
۴-۵-۱- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی ۵۵
۴-۶- مشاهده‌های صحرایی ۶۲
۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۵
۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۶
۵-۱-۱- باطله‌هایی که فاقد پتانسیل تولید زهاب هستند ۶۶
۵-۱-۲-باطله‌هایی که پتانسیل تولید زهاب را دارند ۶۷
۵-۲- پیشنهادهای مدیریتی برای جلوگیری از تولید زهاب اسیدی..... ۶۷
۵-۳- پیشنهادها ۶۸
پیوست ۱ ..... ۶۹
منابع ۷۳

فهرست شکل‌ها

شکل -۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معدن طزره.....۴

شکل -۱-۲- نقشه و محل نمونه‌برداری معدن طزره.....۸

شکل -۱-۳– نمایی از کارگاه استخراج.....۱۰

شکل -۱-۴–نمایی از کورشلاک و دو اشترک شرقی و غربی.....۱۰

شکل -۱-۵–باطله‌های حوضه برناکی.....۱۰

شکل -۳-۱- باطله‌های سینه کار قدیمی مجموعه برناکی.....۲۵

شکل -۳-۲- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از باطله‌های معدن طزره بر روی نقشه.....۲۶

شکل -۴-۱- نمونه دستی باطله حاوی پیریت برداشت شده از معدن طزره.....۴۲

شکل -۴-۲- تصاویر میکروسکوپی حضور پیریت، آرسنوپیریت و مارکازیت حوضه رزمجا غربی.....۴۳

شکل -۴-۳- تصویر میکروسکوپی تجعات پیریت نمونه باطله برداشت شده حوضه مادر.....۴۴

شکل-۴-۴- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت و آرسنوپیریت در نمونه باطله حوضه کلاریز.....۴۵

شکل-۴-۵- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت در باطله‌های قدیمی سینه کار حوضه برناکی.....۴۶

شکل- ۴-۶- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی،.....۵۵

شکل-۴-۷- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، ۵۵

شکل- ۴-۸- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NNP ۵۶

شکل- ۴-۹- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی ۵۷

شکل- ۴-۱۰- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NNP و NAG pH ۵۸

شکل- ۴-۱۱- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NAPP و NAG pH ۵۹

شکل - ۴-۱۲- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در رده‌بندی ژئوشیمیایی NAG pH ۶۰

شکل -۴-۱۳- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH..... ۶۱

شکل - ۴-۱۴- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH..... ۶۱

شکل -۴-۱۵- اندازه‌گیری pH رواناب خارج شده از باطله استخراج در حوضه برناکی..... ۶۲

شکل -۴-۱۶- اندازه‌گیری pH در رواناب خارج شده از باطله‌های در حوضه رزمجا غربی..... ۶۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن.....۶

جدول ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و توصیف معرف نمونه‌های برداشت شده.....۲۶

جدول ۳-۲- رده‌بندی مقادیر غنی‌شدگی.....۲۸

جدول ۳-۳- حجم و نرمالیته اسید کلریدریک مورد استفاده بر اساس آزمایش فیز.....۳۰

جدول ۴-۱- نتایج تجزیه شیمیایی باطله‌ها به روش XRF (مقادیر بر حسب درصد).....۳۹

جدول ۴-۲- غلظت عناصر اصلی و جزئی ۴۰

جدول ۴-۳- ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های باطله.....۴۱

جدول ۴-۴ – کانی‌شناسی با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD).....۴۷

جدول ۴-۵- جدول ۴-۵- نتایج اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع.....۴۸

جدول ۴-۶- تفسیر نتایج ABA اصلاح شده.....۴۹

جدول ۴-۷- نتایج ارزیابی تولید (MPA) یا مصرف اسید (ANC).....۴۹

جدول ۴-۸- نتایج آزمون پتانسیل خنثی‌سازی (NP).....۵۰

جدول ۴-۹- نتایج آزمایش‌های استاتیکی ABA ۵۱

جدول ۴-۱۰- نتایج آزمون تشکیل اسید خاص (NAG).....۵۳

جدول ۴-۱۱- نتایج آزمون تولید اسید خالص (NAP).....۵۳

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه، بیان مسأله و ضرورت انجام پژوهش

زغال‌سنگ یکی از مهم‌ترین سوخت‌های فسیلی است که از دیرباز مورد استفاده بشر قرار گرفته است. کاربرد وسیع زغال‌سنگ به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد این منبع ارزشمند است؛ اما با این وجود، بهره برداری از معادن زغال‌سنگ با مشکلات زیست‌محیطی بسیار متعدد مانند تخریب چهره زمین، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی، آلودگی خاک و هوا و تولید زهاب اسیدی معدن همراه است.

زهاب اسیدی معدن یکی از بزرگترین مشکلات زیست محیطی صنعت معدنکاری در دنیا محسوب می‌شود. تشکیل زهاب اسیدی باعث انتشار عناصر اصلی و جزئی سمی (Ba, Li, Mg, Ca, Zn, Cu, As, Mn, S, Co, Ni, Pb, Cd) به محیط زیست می‌شود و به این طریق کیفیت محیط به شکل جدی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، همچنین اثرات مخرب زهاب اسیدی می‌تواند برای دهه‌ها و قرن‌ها پس از بسته شدن معدن باقی بماند (Lapko and Lawerence, 1996).

بیشتر باطله‌های معادن زغال‌سنگ حاوی مقادیر زیادی از کانی‌های سولفیدی، به ویژه پیریت و مارکازیت می‌باشند. انحلال و اکسیداسیون پیریت و مارکازیت، نقش اصلی را در تولید زهاب اسیدی معدن ایفا می‌کند. مهم‌ترین عوامل کنترل کننده تولید زهاب اسیدی شامل اندازه و مساحت سطحی کانی سولفیدی تولید کننده و خنثی کننده اسید، حضور باکتری‌های تسریع کننده فرآیند اکسایش، دما و اکسیژن موجود در آب های سطحی و منفذی است (Lopez and Ward, 2008).

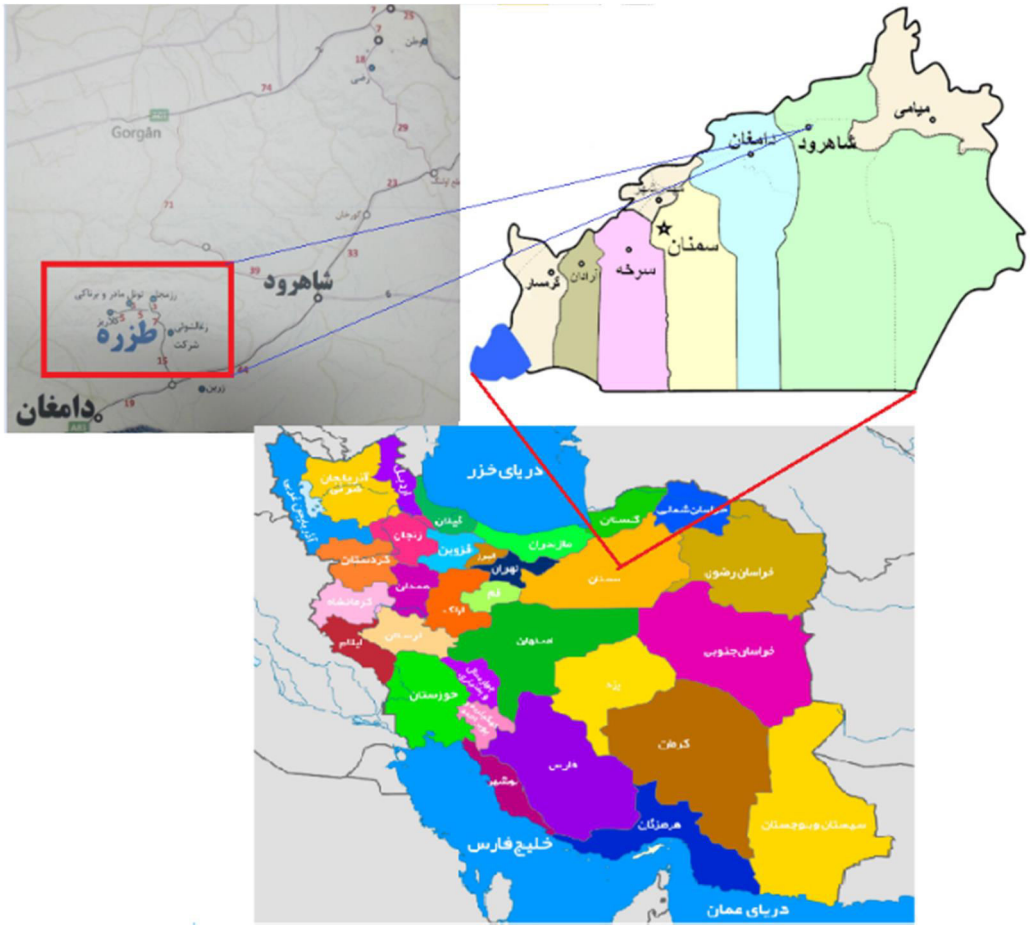
با توجه به مشکلات زیست محیطی ناشی از تشکیل زهاب اسیدی معدن، پیش‌بینی تولید زهاب به ویژه در معادن زغال‌سنگ که در آنها حجم وسیعی از باطله‌های معدنی تولید می‌شود بسیار ضروری است. محققان بر این باورند کنترل تولید زهاب اسیدی غیرممکن بوده، و خنثی کردن زهاب اسیدی نیز فرآیندی بسیار پرهزینه است. بنابراین پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی به عنوان اولین و مهم‌ترین گام در مدیریت تشکیل زهاب اسیدی، از اهمیت زیادی برخوردار است. روش‌های مختلفی برای

ارزیابی و پیش‌بینی پتانسیل تولید زهاب اسیدی معدن وجود دارد که آزمون‌های استاتیک و آزمون-های سینیتیک از رایج‌ترین آن‌ها هستند.

معدن زغال‌سنگ طزره در ۴۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان دامغان واقع شده است. میزان استخراج این معدن بین۱۷۰ تا ۱۸۰ هزار تن در سال است. معدنکاری زغال‌سنگ در محدوده طزره باعث تولید حجم زیادی از باطله‌های معدنی شده است که در اطراف معدن دورریزی شده‌اند. هدف اصلی این پژوهش بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های دپو شده در اطراف معدن، با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و آزمون‌های استاتیک (اندازه‌گیری pH و EC گل اشباع، شمارش اسید و باز، و تعیین تولید و مصرف اسید خالص) می‌باشد. با توجه به پیامدهای منفی زیست‌محیطی تولید زهاب اسیدی معدن و همچنین با توجه به این که تاکنون مطالعه‌ای درباره پتانسیل زهاب اسیدی توسط باطله‌های معدن زغال‌سنگ طزره صورت نگرفته است، انجام این پژوهش ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه

معدن زغال‌سنگ طزره در ۴۵ کیلومتری شمال‌شرقی شهر دامغان در ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۸دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و در زون ساختاری البرز شرقی واقع شده است (شکل ۱-۱). مراکز مسکونی روستایی مجاور این معدن، شامل روستای طزره در ۲ کیلومتری معدن، شهر دیباج در ۱۲ کیلومتری غرب معدن، منطقه مسکونی شهرسازی طزره، شهر دامغان در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب غربی منطقه و شهر شاهرود در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری شمال شرقی منطقه است. محدوده زغال‌سنگ شامل چهار معدن اصلی مجموعه کلاریز، مجموعه مادر، مجموعه کلمدر برناکی و مجموعه رزمجا و تعدادی معادن شخصی است.



شکل- ۱- ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معدن طزره

۱-۳- آب و هوای منطقه

منطقه طزره، از نظر آب و هوا تحت تأثیر جبهه‌های مدیترانه‌ای که از سمت غرب وارد می‌شوند و همچنین جبهه‌های سیبری که از سمت شمال نفوذ می نمایند، قرار دارد و به ندرت تحت پوشش دامنه تغییرات جریانات عربستان و اقیانوس هند قرار می‌گیرد. باد غالب منطقه دارای جهت غرب به شرق است (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۵). از مطالعات بارندگی، تبخیر و دما، به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های اقلیمی برای بررسی اقلیم منطقه استفاده می‌شود.

۱-۳-۱- دما

دمای یک منطقه تحت تأثیر توده‌های هوا، خصوصیات توپوگرافی و دوری یا نزدیکی به منابع آبی وسیع قرار دارد. منطقه مورد مطالعه ناحیه‌ای کوهستانی بوده و در فصل تابستان تغییرات دمایی بین ۱۰+ تا ۳۵+ درجه سانتی‌گراد در هر شبانه روز و در زمستان ۱۰+ تا ۲۰- گزارش شده است (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵). مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دمای سالیانه ایستگاه دامغان ۸/۷، ۲۱/۸ و ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۵).

۱-۳-۲- بارندگی

بر اساس داده‌های آماری هواشناسی، حداقل، حداکثر و میانگین بارندگی سالانه ایستگاه دامغان به ترتیب ۳۴، ۳۰۸ و ۱۱۶/۶ میلی‌متر (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۵) و بارش برف درحدود ۱۵۰ میلی‌مترگزارش شده است (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵).

۱-۳-۳- تبخیر

میزان تبخیر در ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از تشت‌های تبخیر اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس داده‌های موجود، میانگین ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق ایستگاه دامغان به ترتیب ۱۰۶/۵ و ۱۳۰۶/۲ میلی‌متر می‌باشد (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۵). بر اساس داده‌های دما و بارش، مقدار ضریب خشکی منطقه (معادله ۱-۱) برابر با ۱۹/۱ است.

معادله (۱-۱)

$$I = \frac{P}{T+10}$$

در رابطه ۱، I برابر ضریب خشکی، P برابر مقدار بارش بر حسب میلی‌متر و T دما بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به مقدار I که برای منطقه برابر۱۹/۱ بدست آمده است بر اساس رده بندی دمارتن (جدول ۱-۱)، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد.

جدول ۱-۱: طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۰)

نوع اقلیم	محدوده ضریب خشکی
خشک	**کوچکتر از ۱۰**
نیمه‌خشک	**۱۰ تا ۱۹/۹**
مدیترانه‌ای	**۲۰ تا ۲۳/۹**
نیمه‌مرطوب	**۲۴ تا ۲۷/۹**
مرطوب	**۲۸ تا ۳۴/۹**
بسیار مرطوب	**بزرگتر از ۳۵**

۱-۴- پوشش گیاهی

اراضی این منطقه از واریزه‌های سنگریزه‌دار و خاک فرسایش یافته و در قسمت‌هایی از خاک‌های عمیق، تشکیل شده است. تراکم پوشش گیاهی در این منطقه عمدتاً در ارتفاعات و در مواردی در حاشیه و بستر آبراهه‌ها مشاهده می‌شود. پوشش گیاهی در منطقه به طور عمده شامل گندمیان و درختچه‌های سازگار با خاک‌های منطقه است و در دشت‌های منطقه، علفزار و در قسمت‌هایی نیز گیاهانی از خانواده گرامینه و گیاهان شورپسند مشاهده می‌شود. تراکم پوشش گیاهی محدوده طزره، عمدتاً کم تا متوسط و شامل گیاهان مرتعی یکساله است و گونه غالب مرتعی در منطقه از درمنه و گراس‌ها و گندمیان و همچنین گیاهانی از خانواده نخودیان مانند گون است. مهم‌ترین گونه‌های جنگلی موجود درختان اورس و زرشک می‌باشد (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵).

۱-۵- منابع آب سطحی

منطقه مورد مطالعه در حوضه آبخیز کویر و در دشت دامغان واقع شده است. دشت دامغان از طرف شمال توسط بخش جنوبی ارتفاعات البرز، از شرق توسط تپه‌های مراد آباد، دهملا و کوه‌های کله

قوچی دانه، از مغرب توسط کوه شور و اورس و از جنوب توسط کویر حاج علی قلی محصور شده است. مهم‌ترین جریانات سطحی موجود در منطقه، رودخانه های دامغانرود، آستانه، چشمه‌علی و مار چشمه می‌باشد، نزدیک‌ترین رودخانه به منطقه رودخانه مار چشمه است.

۱-۶ - منابع آب زیرزمینی

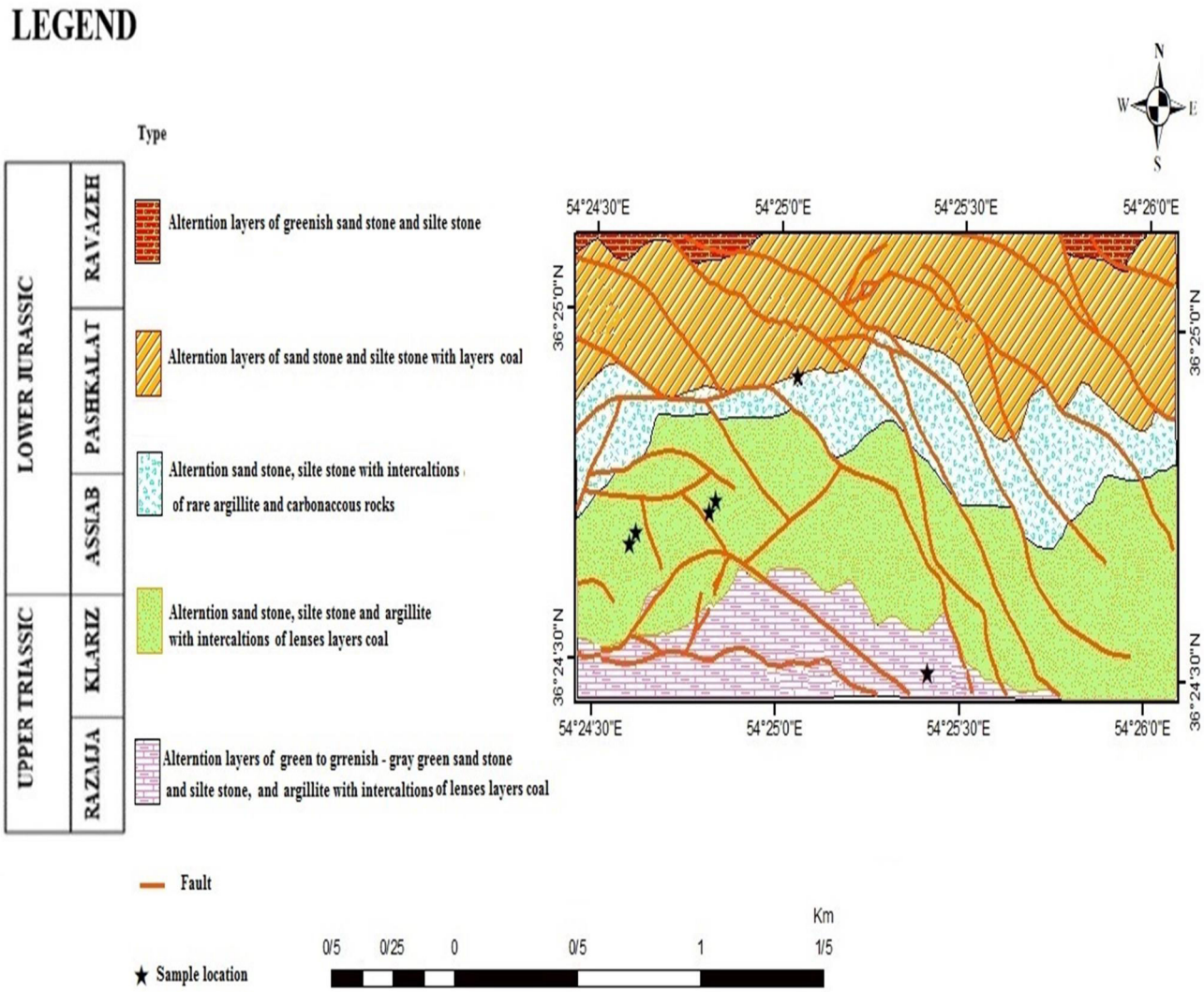
منطقه طزره در حاشیه شمالی حوضه آبخیز دشت کویر و در دشت دامغان واقع شده است. آبرفت دشت عناصر درشت دانه که کمی سیمانی است، تشکیل شده است. سنگ کف در حواشی کویر تا جنوب مهماندوست از مارن‌های میوسن تشکیل شده است. جهت جریان آب زیرزمینی در این منطقه از شمال به جنوب است (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرزشرقی، ۱۳۸۵).

آبخوان دشت دامغان حدوداً ۱۵ تا بیش از ۳۰۰ متر ضخامت دارد و تغییرات آن به گونه‌ای است که در شمال و شمال غرب بیش از ۳۰۰ متر و در جنوب و غرب از ۲۰۰ متر به ۱۵۰ متر کاهش می‌یابد. در شرق و جنوب شرق به تدریج ضخامت آن کاهش یافته و در حاشیه کویر به کمتر از ۲ متر می‌رسد. به طور کلی آبخوان اصلی دشت از نوع آزاد بوده و تقریباً در سراسر آن آبرفت دانه درشت گسترش یافته است (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرزشرقی، ۱۳۸۵).

۱-۷- زمین‌شناسی منطقه

ناحیه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در قسمت جنوب شرقی رشته کوه‌های البرز واقع شده است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل ماسه‌سنگ و شیل‌های زغال‌دار سازند شمشک (تریاس بالایی تا ژوراسیک زیرین با امتداد شرقی-غربی)، رسوبات آبرفتی عهد حاضر و پادگان‌های آبرفتی قدیمی حاوی گراول مارنی و کوارتز می‌باشند. نبود چینه شناسی (لایه سرخ بوکسیتی که مستقیم روی سازند الیکا قرار گرفته است) سازندهای الیکا و شمشک را از یکدیگر جدا می‌کند. بر روی سازند شمشک نیز سنگ‌های آهکی سازند دلیچای قرار گرفته است. سازند گروه شمشک در منطقه طزره به

سه زیر بخش به نام‌های پشکلات، آسیاب و کلاریز تقسیم می‌شود (شکل۱-۲). از نظر چینه‌شناسی رسوبات زغال‌دار متعلق به زیر بخش‌های کلاریز و پشکلات می‌باشند (شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵).



شکل۱-۲ – نقشه محدوده معدن و محل نمونه‌برداری معدن طزره

۱-۸- معدنکاری در محدوده معدن زغال‌سنگ و دپو باطله‌ها

ناحیه زغال‌دار طزره برای اولین بار در سال ۱۳۴۸ توسط زمین‌شناسان ایرانی و روسی مورد بررسی مقدماتی قرار گرفت. مطالعات اکتشافی نشان‌گر ذخیره نسبتاً زیاد زغال‌سنگ در منطقه بود. به تدریج با نصب دستگاه‌های حفاری و حفر تونل‌های اکتشافی، اکتشاف وارد مرحله جدی و دقیق‌تر شد. فعالیت استخراج در سال ۱۳۵۲ از تونل مادر آغاز گردید. معدن طزره نیز مانند سایر معادن زغال‌سنگ ایران بصورت زیرزمینی، و غیر مکانیزه (سنتی) به روش قطری و جبهه کار بلند استخراج می‌شود. در معادن زغال‌سنگ زیرزمینی ابتدا برای حفر تونل، بعد از انجام کلیه کارهای مقدماتی تونلی عمود بر لایه‌ها، ایجاد می‌گردد که به آن کورشلاک گفته می‌شود. سپس تونل در امتداد لایه زغالی مورد نظر پیشروی می‌کند که به هر کدام از این پیشروی‌ها که در امتداد لایه دلخواه انجام می‌شود اشترک لایه گفته می‌شود (شکل ۱-۴-). باطله‌ها از دو قسمت در حال استخراج معادن به بیرون از تونل‌ها انتقال داده می‌شود. بیشترین حجم باطله از محل سینه‌کارهای معدن (که حاوی حجم قابل توجه‌ای از سنگ‌های میزبان شامل شیل و ماسه‌سنگ، است) حاصل می‌شود، به نحوی که به‌طور متوسط در هر یک متر پیشروی سینه کار نزدیک به دوازده تن باطله تولید می‌شود. در سال ۱۳۹۷ میانگین پیشروی ماهانه در معدن طزره ۱۷۲متر بوده است، در نتیجه در حدود ۲۰۶۵ تن باطله در هر ماه تولید شده است. باطله‌های کارگاه‌های استخراج در اثر حفاری به موازت لایه زغالی مورد نظر تولید می‌شوند و مقدار آنها نسبت به باطله‌های سینه‌کار کمتر می‌باشد؛ چون فقط در بردارنده لایه زغالی است. مقدار باطله در این کارگاه‌ها بر اساس کیفیت لایه زغالی مورد نظر متفاوت است (شکل ۱-۵-). برای مثال در لایه زغالی K19، باطله بیشتری نسبت به لایه زغالی K5 تولید می‌شود. باطله‌های کارگاه‌های استخراج به‌صورت جداگانه دپو می‌شود. فرآیند تفکیک باطله‌ها از زغال‌سنگ‌ها، با استفاده از سرندهایی با ابعاد متفاوت انجام می‌شود. در داخل تونل‌ها این سرندها دارای ابعاد بزرگتر بوده و در خروجی سنگرهای زغال‌سنگ و محل دپو آن‌ها از ابعاد کوچکتری برخوردارند. زغال‌سنگ به دلیل نرم

و شکننده بودن بعد از برخورد با سرند شکسته شده و از سرندهای مربوطه عبور کرده؛ ولی سنگ‌های باطله بروی سرندها مانده و جداسازی می‌شوند.

شکل ۱-۳–نمایی از کارگاه استخراج

شکل ۱-۴–نمایی از کورشلاک و دو اشترک شرقی و غربی یک لایه زغالی

شکل ۱-۵–نمایی از باطله‌های حوضه برناکی

فصل دوم

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- زغال‌سنگ، نحوه تشکیل، و اثرات زیست محیطی آن

به سنگ‌ها و مواد فسیل باقی‌مانده از بقایای گیاهی و جانوری، سنگ زیست یا بیولیت می‌گویند. بیولیت‌ها به دو گروه قابل سوختن و غیرقابل سوختن تقسیم می شوند. زغال‌سنگ در واقع جز بیولیت‌های قابل سوختن می‌باشد. بیولیت ها شامل دو گروه گیاهی و جانوری هستند. اندام گیاهی در نهایت به تورب، بیتومین و زغال‌سنگ و اندام‌های جانوری به هیدروکربورها، نفت و شیل‌های نفتی تبدیل می‌شوند (یزدی، ۱۳۷۸).

زغال‌سنگ نوعی سنگ رسوبی قابل احتراق است و جز دسته کانسارهای رسوبی بیوشیمیایی است. زغال‌سنگ به طور کلی از عناصر کربن (به صورت ترکیبات هیدروکربوری و کربن ثابت) هیدروژن و نیتروژن و ناخالصی‌ها تشکیل شده است. درصد ناخالصی در زغال‌های مختلف متفاوت است. به طور کلی پنجاه درصد زغال را مواد هیدروکوبوری و کربن تشکیل می‌دهد.

استخراج و بهره‌برداری از زغال‌سنگ دارای اثرات زیست محیطی مختلفی است که مهم‌ترین آنها عبارتند از تخریب چهره زمین، فرونشست و ریزش معادن، آتش‌سوزی معادن، انباشت حجم زیادی باطله ناشی از استخراج و فرآوری، نشت گازهای سمی، انفجارات معدنی، ایجاد گرد و غبار و آلودگی هوا، افزایش خطر سیل، آلودگی صوتی، افت کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، آلودگی خاک و گیاهان، تولید زهاب اسیدی معدن، و انتشار عناصر بالقوه سمّی (Rose and Cravotta, 1999; Zhuang et at., 2007; Bain et al., 2010).

۲-۱-۱- زهاب اسیدی معدن

زهاب اسیدی یکی از بزرگترین مشکلات زیست‌محیطی استخراج زغال‌سنگ به شمار می‌آید و از مهم-ترین عوامل آلودگی منابع آب زیرزمینی و سطحی، خاک، و محصولات زراعی می‌باشد. تولید زهاب اسیدی بر اثر هوازدگی و اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت و مارکازیت ایجاد می‌شود (Lapakko, 2003).

اکسیداسیون پیریت یک فرآیند گرمازا است که موجب انتقال گرما در دپوهای باطله و معادن زیرزمینی و تولید اسید می‌شود (Banerjee, 2013) ویژگی‌های مهم زهاب اسیدی شامل پایین بودن میزان pH، غنی از یون‌های فلزی آهن، آلومینیم، منگنز، کادمیم، مس، سرب، روی و جیوه و سولفات، و بالا بودن هدایت الکتریکی است (Nordstrom and Alpers, 1998).

زهاب اسیدی معدن و شستشوی فلز از توده‌های باطله به طور طبیعی اتفاق می‌افتد و به وسیله فعالیت‌های معدنی تسریع می‌یابد. چنین فعالیت‌هایی تأثیر عمیقی بر محیط‌زیست و اکولوژی دارند. منابع اصلی تولید زهاب اسیدی در مناطق معدنی شامل آبشویی و اکسیداسیون توده‌های باطله، حفاری‌های معدنی مانند تونل‌ها و گودال‌های روباز، و باطله‌های حاصل از فرآوری ماده معدنی می‌باشد (Banerjee, 2013) زهاب‌های اسیدی معدن زمانی به وجود می‌آیند که سرعت تولید اسید بیش‌تر از سرعت خنثی‌سازی آن باشد. سرعت واکنش و تولید زهاب اسیدی به اندازه و مساحت سطحی ذرات پیریت وابسته است. ذرات ریز پیریت نسبت به ذرات درشت پیریت سطح وسیع‌تر واکنش‌پذیری بیش‌تری دارد و اسید بیش‌تری تولید می‌کند (Lengke *et al.,* 2010)

شرایط اقلیمی، فراوانی نسبی مواد تولید کننده و خنثی کننده اسید، و خصوصیات فیزیکی باطله‌ها از عوامل مؤثر بر میزان تولید اسید هستند (Doulati Ardejani, 2010).

اکسایش پیریت هنگامی رخ می‌دهد که این کانی در معرض اکسیژن قرار گیرد (Reimstidt, 2003) اگر اکسایش در حضور ریز جانداران رخ دهد، به آن اکسایش زیستی گفته می‌شود. اکسایش پیریت بدون حضور ریز جاندران نیز ممکن است و به صورت یک فرایند شیمیایی غیر زیستی و یا غیر آلی رخ دهد. اکسیداسیون پیریت را می‌توان به سه مرحله اصلی تقسیم بندی نمود.

(۱) اکسیداسیون گوگرد

$$2FeS_2 + 7/2O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$$

(۲) اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی

$$Fe^{2+} + 1/4O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + 1/\ 2H_2O_{(aq)}$$

(۳) هیدرولیز و رسوب‌گذاری کانی‌ها و کمپلکس‌های آهن سه ظرفیتی

$$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+$$

$$2Fe^{+3} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH_3)_3 + 3H^+ \quad (۴)$$

رسوبات $Fe(OH_3)$ به رنگ زرد، نارنجی و یا قرمز قابل مشاهده هستند (Banerjee, 2014). طی فرآیند اکسیداسیون پیریت، باکتری‌های اکسیدکننده سولفور و آهن به ویژه باکتری تیوباسیلوس نیز نقش دارند. این باکتری‌ها قابلیت کاتالیز Fe^{2+} را در شرایط اسیدی داشته و انرژی لازم را برای این واکنش-ها تأمین می‌کنند. فعالیت باکتری‌ها به pH و دمای محیط وابسته است. این باکتری‌ها در pH حدود ۲ تا ۳ و دمای بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد بسیار فعال می‌باشد(Chon and Hwang, 2000).

در اغلب موارد اسید تولید شده در باطله‌های سولفیدی با کانی‌های دیگر موجود در باطله واکنش داده و خنثی می‌شود. چنانچه مقدار اسید تولیدشده از قابلیت خنثی سازی سنگ میزبان بیشتر باشد، باطله‌ها دارای پتانسیل تولید اسید خواهند بود. از کانی‌های خنثی کننده می‌توان به کلسیت، دولومیت، منیزیت و آنکریت اشاره کرد. معادله (۲-۱) واکنش انحلال کلسیت با اسید تولید شده از سولفید آهن را نشان می‌دهد.

(۲-۱):

$$CaCO_3(S) + H^+(aq) \rightarrow HCO_3^-(aq) + Ca^{2+}(aq)$$
$$CaCO_3(S) + 2H^+(aq) \rightarrow H_2CO_3^-(aq) + Ca^{2+}(aq)$$

نرخ انحلال کربنات‌ها یکسان نیست. به طور کلی کربنات منیزیم و دولومیت از نرخ انحلال کمتری نسبت به کلسیت برخوردار هستند (David Rickard, 2000).

۲-۲- روش‌های ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی

روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی معدن وجود دارد:

۱. مدل‌سازی زمین‌شناسی

۲.توصیف زمین‌شناسی و کانی شناسی، پتروگرافی، ژئوشیمیایی

۳. آزمایش‌های ژئوشیمیایی شامل آزمایش‌های استاتیک و آزمایش‌های سینیتیک

۴. استفاده از مدل‌های محاسباتی برای حرکت اکسیژن و فرایندهای ژئوشیمیایی (Lottermoser, 2010)

قابل ذکر است که آزمایش‌های استاتیک و سینتیک، بدون انجام مطالعات کانی‌شناسی قابل استناد نیستند. همچنین در این آزمایش‌ها، نمونه برداری صحیح اهمیت زیادی دارد. برای مثال در توده‌های باطله‌های قدیمی، باید سطح و عمق در نظر گرفته شود و از عمق‌های مختلف نمونه‌برداری و نمونه‌ها باهم مخلوط گردد و یک نمونه معرف به‌دست آید.

برای پیش‌بینی اولیه تولید اسید در معادن و باطله‌های معدنی اغلب از آزمایش‌های استاتیک استفاده می‌شود. در تست‌های استاتیک نرخ تولید اسید یا مصرف اسید محاسبه می‌گردد و مرتبط با زمان نیستند. توسط این آزمایش‌ها، توازن بین فرآیندهای تولید اسید (اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی) و فرآیندهای خنثی‌سازی اسید (انحلال کربنات‌ها و هوازدگی سیلیکات‌ها) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Banerjee, 2014). آزمایش‌های استاتیک روش‌های تجربی متنوعی هستند. مهم‌ترین روش‌های استاتیکی شامل موارد زیر است (Lottermoser, 2010):

- اندازه‌گیری pH[1] و هدایت الکتریکی (EC[2]) گل اشباع
- ارزیابی تولید یا مصرف اسید (بر اساس روش آمریکای شمالی)

[1]- Power Hydrogene
[2]- Electrical Canductivity

- محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA[1])
- آزمایش ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC[2])
- محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP[3])
- آزمایش‌های استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز (بر اساس روش استرالیا و اقیانوسیه)
- آزمایش پتانسیل اسید (AP[4])
- آزمایش پتانسیل خنثی‌سازی (NP[5])
- آزمایش پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP[6])
- آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG[7])
- آزمایش پتانسیل اسید خالص (NAP[8])

بسیاری از آزمایش‌های استاتیک به سادگی در محل معدن قابل انجام بوده و به دلیل این که ارزان و سریع می‌باشند، رایج‌تر از آزمایش‌های سینتیک هستند. از نقطه ضعف اصلی این آزمایش‌ها این است که برآوردی از کیفیت زهاب به دست نمی‌دهد (Lapakko, 2003). همچنین، در همه آزمایش‌های استاتیک نمونه‌ها باید پودر شوند تا سطح واکنش زیاد شود؛ در صورتی که در طبیعت بدین شکل نیست و مواد و سنگ‌ها الزاماً ریز دانه نمی‌باشند. پودر کردن نمونه‌ها باعث می‌شود سطح واکنش افزایش یافته و نتایج اغراق‌آمیزی حاصل شود. همچنین در آزمایش‌های استاتیک، حضور گونه‌های مختلف گوگرد به شکل گوگرد عنصری، گوگرد موجود در سولفات‌ها، گوگرد موجود در سایر سولفیدها مانند کالکوپیریت و کالکوسیت، و گوگرد آلی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. احتمال خنثی شدن اسید

[1] -Maximum Potential Acidity
[2]- Acid Neutralizing Capacity
[3] -Net Acid Producting Potential
[4] -Acid Potential
[5] -Neutralization Potential
[6] -Net Neutralization Potential
[7] -Net Acid Generation
[8] -Net Acid Potential

توسط کانی‌های ثانویه و همچنین سیلیکات‌ها نیز در این آزمایش‌ها قابل بررسی نیست (Benzaazoua *et al*., 2004).

با توجه به عدم قطعیت نتایج حاصل از آزمونهای استاتیک، و همچنین محدودیت‌های این روش‌ها، محققان انجام آزمون‌های سینیتیک را پیشنهاد نموده‌اند. مشکلات انجام این آزمایش‌ها عبارتند از هزینه بالا، نیاز به تجهیزات و امکانات ویژه، و مدت زمان طولانی آزمایش‌ها (Sobek, 1973).

۲-۳- مطالعات پیشین

۲-۳-۱- سابقه مطالعات قبلی در جهان

لاورنس و شسکه (Lawrence and Scheske, 1996) با بررسی پتانسیل خنثی‌سازی باطله‌های معدنی در کانادا به این نتیجه رسیدند که سنگ‌شناسی وکانی شناسی یک نمونه کمک زیادی در تفسیر خواهد کرد. تفسیر داده‌های آزمایش پتانسیل خنثی‌سازی (NP) باید بر اساس ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌ها انجام شود.

گری (Gary, 1997) آب های اسیدی حاصل از باطله‌ها و معادن متروک مس در آوکا در نیجریه را به عنوان مهم‌ترین عامل آلوده کننده رودخانه آوکا معرفی کرده است. در این منطقه، زهاب اسیدی به شکل مستقیم و غیرمستقیم بر روی اکوسیستم آبزی تاثیر می‌گذارد.

ریچارد و همکاران (Richard *et al*., 2000) پتانسیل تولید اسید در باطله‌های معدنی و خاکستر زغال سنگ معادن زغال‌سنگ نیوزلند را بررسی کرده و نشان دادند که احتمال تشکیل زهاب اسید معدن در این منطقه بالا است و سنگ‌های تولید کننده اسید رسوبات دریایی ریز دانه هستند. رسوبات عمیق دریایی دارای گوگرد واکنش‌پذیر بیشتر بوده و احتمال تشکیل زهاب اسیدی توسط آنها نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است. اما بسیاری از متغیرهای دیگر مانند شکل و اندازه دانه پیریت، نفوذپذیری و دسترسی به اکسیژن و رطوبت نیز میزان تولید اسید را کنترل می‌کند.

جامبر و همکاران(Jambor *et al*., 2001) با انجام آزمایشهای استاتیک به این نتیجه رسیدند که، پتانسیل تولید اسید سنگ‌ها بستگی به میزان گوگرد آنها دارد.

لیو و همکاران (Liu *et al*., 2000) پتانسیل زهاب اسیدی باطله‌های یک معدن زغال‌سنگ در هند را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های استاتیک نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند. با این حال، آزمایش‌های سینتیک نشان داد که ظرفیت خنثی‌سازی نمونه‌ها بیش‌تر از ظرفیت تولید اسید می‌باشد، به همین دلیل احتمال تولید اسید در این معدن کم است یا وجود ندارد.

زیلبرشیمیت و همکاران (Zilberchmidt *et al*., 2004) به مطالعه باطله‌های معادن زغال‌سنگ حوضه زغالی مسکو و احتمال تشکیل زهاب اسیدی و آلودگی‌های ناشی از آن پرداختند. در این منطقه، فعالیت‌های معدنکاری گسترده بوده و مقدار باطله تولید شده بسیار زیاد است. بسیاری از باطله‌ها بدون مراقبت در اطراف معدن رها شده‌اند و منطقه دارای شرایط نامساعد آب و هوایی می‌باشد. میزان کائولن،کربن، آهن، گوگرد و فلزات سنگین این باطله‌ها بالا می‌باشد. بارش باران رخداد واکنش در داخل باطله را تسریع می‌کند و باعث اکسید شدن گوگرد و تولید زهاب اسیدی می‌شود.

اکابزا و همکاران (Akabzaa *et al*., 2006) پتانسیل تولید زهاب اسیدی در معادن منتخب در کمربند فلز زایی آشانتی غنا را با استفاده از روشهای ژئوشیمیایی استاتیک پیش‌بینی کردند. آزمایش‌های محاسبه اسید و باز، و آزمایش تولید اسید خالص ابزارهای کم‌هزینه و در عین حال قدرتمندی برای غربال کردن باطله‌های معدنی، در محیط های کم سولفید است.

جامبر و همکاران (Jambor *et al*., 2006) با استفاده از آزمایش استاتیک و محاسبه پتانسیل خنثی سازی انواع سنگ‌ها در کانادا به این نتیجه رسیدند که تغییرات قابل توجهی می‌تواند در مقادیر NP به‌دست می‌آید. پتانسیل تولید اسید سنگ‌ها بستگی به میزان گوگرد و خنثی‌سازی آن‌ها دارد. سیلیکات آلومینیم نیز دارای مقادیر بالای NP بود.

ساریا و همکاران (Saria *et al*., 2007) با بررسی غلظت فلزات سنگین در زهاب اسیدی معدن نشان دادند که با کاهش pH پتانسیل اکسیداسیون احیا افزایش و غلظت فلزات سنگین نیز در زهاب افزایش می‌یابد.

ولنت و گومز (Valent and Gomes, 2009) در بررسی رسوبات حاصل از زهاب اسیدی معدن (کانی-های ثانویه) Valdarcas در شمال پرتغال و تأثیر آن‌ها بر ترکیب آبهای سطحی به این نتیجه رسیدند که افزایش pH و کاهش مقادیر آهن در محلول باعث تشکیل سولفات‌های آلومینیوم‌دار می‌شود. حضور این‌کانی‌های ثانویه نشان‌گر بالا بودن غلظت آهن در آب بود.

پلت و همکاران (Plante *et al*., 2012) بر روی باطله‌های معدنی و نرمه‌های آن، آزمایش‌های استاتیک را انجام دادند. نتایج حاصل، نشان دهنده پتانسیل خنثی سازی اسید خالص نمونه‌ها کم است و بنابراین این باطله‌ها دارای پتانسیل تولید اسید هستند.

ارگولار و همکاران (Erguler *et al*., 2013) اثر ابعاد ستون و اندازه ذرات باطله را در نتایج تست ستونی سینیتیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد زمانی که pH به ۴ برسد غلظت یون‌های آهن، مس، سرب، روی، کادمیم و نیکل برای هر دو نمونه دانه درشت و دانه ریز بالا می‌رود. در رسوبات ریز دانه شتاب میزان تولید اسید طولانی‌تر است. از نظر آماری بین ابعاد ستون و نرخ تولید زهاب اسیدی ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

بوژازاه و همکاران (Bouzahzah *et al*., 2014) اهمیت مطالعات کانی شناسی را در پیش‌بینی زهاب اسیدی معدن توسط آزمونهای استاتیک و سینیتیک مورد توجه قرار دادند. این پژوهشگران نشان دادند که پیش بینی تولید زهاب توسط آزمایش‌های استاتیک هنگامی ارزشمند است که کانی‌شناسی به اندازه کافی مورد توجه قرار گرفته باشد.

بنرجی (Banerjee, 2014) به منظور ارزیابی پتانسیل زهاب اسیدی باطله‌های معدن زغال‌سنگ هند از آزمایش‌های استاتیک و سینتیک استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که کربنات‌ها سریع‌تر از کانی‌هایی که اسید تولید می‌کنند از سیستم خارج می‌شوند.

هاگمن و همکاران (Hageman *et al*., 2015) از آزمایش‌های استاتیک انتخابی برای بررسی تولید و خنثی سازی اسید توسط باطله‌های معادن نیوزلند و کانادا استفاده کردند. نتایج به روش ABA داده-هایی در مورد تولید و خنثی کنندگی اسید ارائه می‌دهد؛ ولی آزمایشABA اصلاح شده یک روش بهتر و موثرتر بوده و اطلاعات موثق‌تری را در مورد قابلیت شتشو فلزات و سایر عناصر که ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌کنند ارائه می‌دهد.

دولد و همکاران (Dold *et al*., 2017) احتمال تولید زهاب اسیدی را در معدن ریوتینتو اسپانیا، معدن سرودپاسکو پرو، و معدن آزوکا آرژانتین بررسی کردند. به منظور دستیابی به اطلاعات مناسب، این محققین از مطالعات کانی شناسی استفاده کردند و نشان دادند که از ترکیب مطالعات کانی شناسی و آزمایشهای استاتیک می‌توان یک نتیجه قابل قبول برای پیش‌بینی زهاب اسیدی سنگ به-دست آورد.

۲-۳-۲- سابقه مطالعات قبلی در ایران

سهرابی و همکاران (۱۳۸۳) ضمن بررسی باطله های کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی عنوان نمودند که باطله های قدیمی جیک در محدوده تولید اسید قرار گرفته است، در حالی که باطله های جدید جیک از نظر تولید اسید در محدوده نامشخص قرار دارند زیرا آنها دارای پتانسیل خنثی سازی بالاتری نسبت به باطله های قدیمی جیک هستند.

دولتی اردجانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی اکسیداسیون پیریت و مطالعه ویژگی‌های زهاب اسیدی تولید شده از معدن زغال‌سنگ رضی و همچنین باطله‌های زغالشویی منطقه آزادشهر رامیان، شمال

شرق ایران به این نتیجه رسیدند که قابلیت خنثی شدن خاصیت اسیدی زهاب بالاست و افزایش pH آب‌ها به دلیل حضور سنگ‌های کربناته و یا سنگ‌های حاوی مقدار کم پیریت در منطقه می‌باشد.

رحیمی (۱۳۸۸) در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد به ارزیابی غلظت فلزات سنگین در منابع آب و خاک مجموعه معدنی طزره (مجموعه تونل مادر) پرداخت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ضریب غنی‌شدگی عناصر سلنیم، سرب، جیوه، آرسنیک و استرانسیم در زغال‌سنگ این منطقه بالا است.

محمدی و همکاران (۱۳۹۵) با مطالعه دقیق کانی‌شناسی، پتانسیل تولید اسید در معدن طلای موته را مورد ارزیابی قرار دادند. حضور مقدار زیاد پیریت نشان دهنده احتمال تولید اسید در منطقه می‌باشد. اکثر آزمایش‌های استاتیک نتایج مشابهی برای نمونه‌ها داشتند. در دو نمونه احتمال تولید اسید وجود داشته و یک نمونه با داشتن بیشترین محتوی گوگرد وکمترین محتوی MgO و CaO بیشترین تولید اسید را دارند.

شکری و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی ژئوشیمی زیست محیطی زهاب اسیدی معدن در دپوهای باطله‌های کارخانه زغالشویی البرز شرقی نشان دادند که زیر منطقه اکسیداسیون، کانی‌های ثانویه و کانی‌های خنثی کننده مانند ژیپس تشکیل شده است. با افزایش عمق باطله‌ها، غلظت سرب و روی افزایش و غلظت مس و نیکل کاهش یافته است.

محمدی (۱۳۹۶) پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های کارخانه زغال‌شویی مهماندوست، شمال شرق دامغان را مورد بررسی قرار داد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که باطله‌های زغال‌شویی نسبت به عناصر مس و منگنز بدون غنی‌شدگی، نسبت به کبالت دارای غنی‌شدگی اندک، نسبت به نیکل دارای غنی‌شدگی متوسط، نسبت به روی و آنتیموان دارای غنی‌شدگی نسبتاً شدید، نسبت به کادمیم دارای غنی‌شدگی شدید و نسبت به آرسنیک و سرب دارای غنی‌شدگی بی‌نهایت هستند. در ۵ نمونه مورد مطالعه، pH گل اشباع کم‌تر از ۳ و هدایت الکتریکی گل اشباع بیش‌تر از ۲۰۰۰ می‌باشد

و در این نمونه‌ها، پتانسیل خنثی‌سازی خالص بیشتر از ۲۰+، پتانسیل تولید اسید خالص منفی، pH تشکیل اسید خالص کمتر از ۴/۵ و نسبت ظرفیت خنثی‌سازی اسید به حداکثر پتانسیل تولید اسید کمتر از یک است، بنابراین احتمال تولید زهاب اسیدی در باطله‌های منطقه بالاست.

فصل سوم

روش انجام پژوهش

۳-۱- مقدمه

هدف اصلی این پژوهش، پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های تولید شده در معدن طزره، با استفاده از آزمایش‌های استاتیک می‌باشد. مراحل انجام پژوهش عبارتند از:

۱- مطالعات کتابخانه‌ای شامل بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، مطالعه کتاب‌ها، مقالات و پایان‌نامه‌های مرتبط با موضوع

۲- بازدید میدانی، نمونه‌برداری از باطله‌های دپو شده در اطراف معدن به روش استاندارد (۸ نمونه معرف)

۳- تعیین غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه دستگاه فلورسانس پرتو ایکس[۱]

۴- بررسی ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس[۲] و مطالعه مقاطع میکروسکوپی

۵- تعیین پتانسیل تولید اسید باطله‌ها با استفاده از آزمایش‌های استاتیک

۶- تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده و نگارش پایان نامه

در این فصل مراحل انجام پژوهش به تفصیل ارائه شده است.

۳-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه

پیش از نمونه‌برداری، انجام مطالعات میدانی ضرورت دارد تا نمونه‌های برداشت شده، جامعه آماری مناسب و دقیقی را به دست دهند. با توجه به حجم بسیار زیاد باطله‌های دپو شده در اطراف تونل‌های معدن طزره، برداشت نمونه معرف[۳] از توده‌های باطله اهمیت زیادی دارد. معدن طزره، از چهار محدوده شامل حوضه‌های کلاریز، برناکی، مادر و رزمجا غربی تشکیل شده است. باطله‌های دپو شده

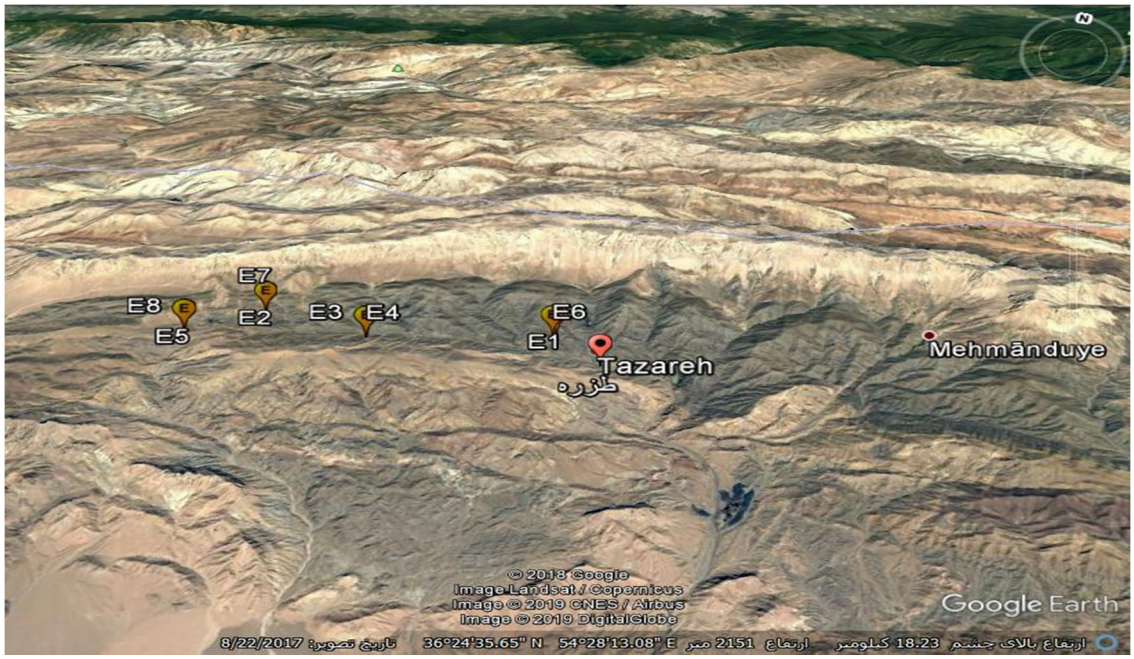
1-X-Ray Fluorescence
[2] X-Ray Diffraction
۱ - Representive sample

شامل باطله‌های سینه‌کار (که حجم بیشتری در منطقه دارد) و باطله‌های کارگاه‌های استخراج (که حجم کمتری دارند) است. در بعضی از موارد دو نوع باطله‌ها نیز بر روی هم دپو شده‌اند. برای انجام نمونه‌برداری از این چهار محدوده، چهار نمونه معرف از باطله‌های قدیمی سینه کار و چهار نمونه معرف از باطله‌های جدید برداشت شد. هر نمونه معرف از ۱۵ تا ۲۰ جزء نمونه تشکیل می‌شود، جزء نمونه‌ها با یکدیگر ترکیب شدند و یک نمونه معرف بدست آمد. هر جزء نمونه از عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از سطح باطله برداشت شد تا احتمال برداشت باطله‌های هوازده کاهش یابد.

شکل ۳-۱- نمایی از باطله‌های معدن طزره (باطله سینه کار قدیمی مجموعه برناکی)

جدول ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و توصیف نمونه‌های معرف برداشت شده از باطله‌های معدن طزره

شماره نمونه	محل برداشت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	استخراج غربی	۵۴° ۲۵ ۲۵″	۳۶° ۲۴ ۳۰″
۲	سینه کار برناکی	۵۴° ۲۴ ۵۰″	۳۶° ۲۴ ۴۴″
۳	استخراج مادر	۵۴° ۲۵ ۰۳″	۳۶° ۲۴ ۵۵″
۴	سینه کار مادر	۵۴° ۲۵ ۰۴″	۳۶° ۲۴ ۵۴″
۵	سینه کار کلاریز	۵۴°۲۴ ۳۶″	۳۶° ۲۴ ۴۰″
۶	سینه کار غربی	۵۴° ۲۵ ۲۵″	۳۶° ۲۴ ۳۰″
۷	استخراج برناکی	۵۴° ۲۴ ۴۹″	۳۶° ۲۴ ۴۳″
۸	استخراج کلاریز	۵۴°۲۴ ۳۷″	۳۶° ۲۴ ۴۱″



شکل-۳-۲- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از باطله‌های معدن طزره بر روی نقشه گوگل ارث

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، ابتدا هر نمونه در آزمایشگاه خردایش دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، خردایش و همگن شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، در آون قرار گرفت.

۳-۳- تهیه مقاطع صیقلی

به منظور بررسی ویژگی‌های پتروگرافی و کانی‌شناسی نمونه‌های باطله‌های معدن طزره، از نمونه‌های معرف، ۴ مقطع صیقلی تهیه شد. مقاطع صیقلی از باطله‌های جدیدی تهیه شدند که هنوز تحت تاثیر هوازدگی و اکسیداسیون قرار نگرفته‌اند. به این منظور، نمونه باطله بر روی لام شیشه‌ای چسبانده شد و سپس توسط پودر کروندم سایش داده شد. مقاطع در کارگاه مقطع دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه شدند.

۳-۴- آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)

طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، اطلاعات جامعی درباره ساختار بلورین و ترکیب شیمیایی کانی‌های موجود ارائه می‌دهد. هر کانی، الگوی پراش پرتو ایکس منحصر به خود را دارد. از این روش به منظور شناسایی کانی‌های موجود در نمونه‌های باطله استفاده شد. این آنالیز توسط دستگاه XRD فیلیپس مدل PW1800 در دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گردید.

۳-۵- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها

فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، یکی از روش‌های دستگاهی است که از آن به طور وسیعی در مطالعات ژئوشیمیایی استفاده می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری غلظت اکسیدهای اصلی و برخی از عناصر

جزئی موجود در نمونه‌ها کاربرد دارد. به این منظور از دستگاه فلورسانس پرتو ایکس-Shimadzu 1800 دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود استفاده گردید.

۳-۶- محاسبه ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های باطله

جهت بررسی میزان تجمع یک عنصر در رسوب، سنگ یا باطله می‌توان از ضریب غنی‌شدگی (EF[1]) استفاده نمود. این ضریب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = (M_1 / C_1) / (M_2 / C_2) \qquad (۱-۳)$$

در این معادله، M_1 و C_1 به ترتیب نشانگر غلظت عنصر مورد بررسی و غلظت عنصر مرجع در نمونه مورد مطالعه و M_2 و C_2 به ترتیب نشانگر غلظت عنصر مورد بررسی و غلظت عنصر مرجع (Al) در نمونه مرجع (ترکیب میانگین پوسته زمین) می‌باشند. با استفاده از محاسبه ضریب غنی‌شدگی می‌توان شدت غنی‌شدگی باطله، خاک یا رسوب را در ۵ دسته جای داد (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲- رده‌بندی مقادیر غنی‌شدگی (Sutherland., 2000)

مقدار ضریب غنی-شدگی	شدت غنی‌شدگی
<۲	بدون غنی‌شدگی
۲-۵	غنی‌شدگی متوسط
۵-۲۰	غنی‌شدگی قابل توجه
۲۰-۴۰	غنی‌شدگی خیلی زیاد
>۴۰	غنی‌شدگی شدید

[1] -Enrichment Factor

۳-۷- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی

درآزمایش‌های استاتیک توازن بین فرآیندهای تولید اسید (اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی) و فرآیندهای خنثی‌سازی اسید (انحلال کربنات‌ها و هوازدگی سیلیکات‌ها) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Nugraha *et al*., 2009). آزمایش‌های استاتیک روش‌های تجربی متنوعی هستند. مهم‌ترین روش-های استاتیکی که دراین مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند، به شرح ذیل می‌باشد.

اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع، محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA)، محاسبه پتانسیل اسید (AP)، آزمایش پتانسیل خنثی‌سازی (NP)، آزمایش‌های استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز (تصحیح شده)، محاسبه پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)، آزمایش ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)، محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP)، آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG) و آزمایش پتانسیل اسید خالص (NAP). در ادامه به شرح هر یک از این آزمایش‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۷-۱- آزمایش اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع

به منظور انجام این آزمایش، ابتدا نمونه‌ها از مش ۶۰ عبور داده شد. سپس با در نظر گرفتن نسبت جامد به آب ۱:۱، ۲۰ گرم نمونه داخل بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید تا گل اشباع تهیه شود. سپس نمونه توسط میله شیشه‌ای به مدت ۱۰ ثانیه هم زده شد. pH و EC گل اشباع توسط قرار دادن الکترود pH و EC داخل گل اشباع بعد از گذشت ۱۲ تا ۱۴ ساعت تعیین گردید.

۳-۷-۲- محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA)

برای محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA) مقدار گوگرد موجود در نمونه (که از آزمایش XRF به دست آمده) در عدد ۳۰/۶۲۵ ضرب می‌شود (معادله ۳-۲). واحد (MPA) برابر با کیلوگرم اسیدسولفوریک به ازای یک تن باطله است.

معادله (۳-۲)

$$MPA\ (Kg\ H_2SO_4 t^{-1}) = \%S \times 30.6$$

در این تخمین، حداکثر مقدار اسیدی که در یک تن باطله می‌تواند ایجاد شود به دست می‌آید. در محاسبه MPA فرض می‌شود که کل گوگرد موجود به صورت پیریت حضور دارد.

۳-۷-۳- محاسبه پتانسیل تولید اسید (AP)

پتانسیل تولید اسید (AP)، از ضرب کردن درصد گوگرد نمونه (که توسط آنالیز XRF تعیین شده) در عدد ۳۱/۲۵ و طبق معادله (۳-۳)، بدست می‌آید. واحد AP برابر با کیلوگرم کربنات کلسیم به ازای یک تن باطله است. در این روش، مقدار کربنات کلسیم مورد نیاز برای خنثی کردن اسید، به دست می‌آید (Sobek, 1978).

معادله (۳-۳)

$$AP\ (Kg\ CaCO_3\ t^{-1}) = \%S \times 31.25$$

۳-۷-۴- آزمون پتانسیل خنثی‌سازی نمونه (NP)

قبل از انجام این آزمایش باید آزمایش فیز (جدول ۳-۳) انجام گیرد تا حجم (V) و نرمالیته (N) اسید و باز مورد استفاده در آزمایش مشخص گردد. فیز صدایی است که در اثر اضافه کردن اسید به نمونه شنیده می‌شود.

جدول ۳-۳- حجم و نرمالیته اسید کلریدریک مورد استفاده بر اساس آزمایش فیز (Sobek, 1978).

نرمالیته	حجم (ml)	نتیجه آزمایش فیز
۰/۱	۲۰	هیچ
۰/۱	۴۰	ضعیف
۰/۵	۴۰	متوسط
۰/۵	۸۰	قوی

برای انجام این آزمایش ۰/۵ گرم نمونه عبور کرده از الک ۱۸ مش در بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و چند قطره اسید کلریدریک ۲۵ درصد به آن اضافه گردید. بر اساس صدایی که شنیده می‌شود نتیجه آزمایش فیز به هیچ، ضعیف، متوسط و قوی (جدول ۳-۳) تقسیم می‌شود و بر این اساس، حجم و نرمالیته اسید و نرمالیته باز مورد استفاده در آزمایش تعیین می‌شود (Sobek, 1978).

برای تعیین پتانسیل خنثی‌سازی نمونه (NP)، ۲ گرم نمونه عبور کرده از الک ۶۰ مش در یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و در ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به آن اضافه گردید. سپس ارلن را روی هیتر گذاشته وقتی به نقطه جوش رسید آن را تکان داده تا واکنش کامل شود (هیچ حبابی از آن خارج نشود). سپس ۱۲۵ میلی لیتر آب مقطر به نمونه اضافه شد و به مدت یک دقیقه محلول جوشانده شد. پس از آن اجازه داده شد تا نمونه به اندازه دمای اتاق سرد شود. در این حالت درب نمونه‌ها باید بسته باشد. در مرحله بعد نمونه با هیدروکسید سدیم مطابق با نرمالیته اسید مصرف شده تیتر شد تا pH به ۷ برسد و برای حداقل ۳۰ ثانیه ثابت بماند. اگر هیدروکسید سدیم استفاده شده برای رسیدن pH به ۷ کمتر از ۳ میلی لیتر باشد، اسید اضافه شده در مرحله قبلی کافی نبوده و آزمایش با استفاده از آزمایش فیز تکرار می‌شود. پتانسیل خنثی‌سازی (NP) از معادله (۳-۴) به دست می‌آید و واحد آن کیلوگرم کربنات کلسیم به ازای یک تن باطله است Sobek, (1978).

معادله (۳-۴)

$$\mathrm{NP}\ (\mathrm{Kg\ CaC}O_3\ \mathrm{t}^{-1}) = [(\mathrm{N} \times \mathrm{V\ (ml)\ of\ HCl}) - (\mathrm{N} \times \mathrm{V\ (ml)\ of\ NaOH}\ )] \times 50\ /\mathrm{W\ (g)}$$

در این رابطه N برابر با نرمالیته اسید یا باز، V برابر با حجم نمونه (بر حسب میلی‌لیتر) و W برابر با وزن نمونه (بر حسب گرم) است. در این تخمین، کربنات کلسیمی که برای خنثی کردن اسید لازم است، به دست می‌آید.

۳-۷-۵- آزمون‌های استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز (تصحیح شده)

آزمایش‌های استاتیکی ABA، از معتبرترین آزمایش‌هایی هستند که برای ارزیابی پتانسیل تولید اسید نمونه‌های معدنی استفاده می‌شوند. این آزمایش‌ها کیفی بوده و در آنها نرمالیته و حجم اسید مورد نیاز برای انحلال کانی‌های کربناته و حجم باز مورد نیاز برای خنثی کردن اسید از طریق تیتراسیون مشخص می‌شود. از بین این آزمایش‌ها، روش ABA[۱] اصلاح شده مورد توجه بیش‌تری قرار دارد. در این آزمایش‌ها، اختلاف پتانسیل تولید اسید (AP) و پتانسیل خنثی سازی نمونه (NP) اندازه‌گیری شده و سپس پتانسیل خنثی سازی خالص نمونه (NNP) به دست می‌آید و از این طریق، پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط نمونه مشخص می‌شود. AP، NP وNNP برحسب $KgCaCO_3\ t^{-1}$ بیان می-شوند. همچنین از تقسیم NP به AP نسبت NPR بدست می‌آید:

معادله (۳-۵)

$$NPR = NP(Kg\ CaCO_3\ t^{-1})/AP(Kg\ CaCO_3\ t^{-1})$$

این مقدار معمولاً طیف وسیعی از کمتر از ۱ تا ۴ را در بر می‌گیرد. نمونه‌های که NPR<۱ دارند، اسید تولید می‌کند. اگر NPR>4 باشد، احتمالاً نمونه‌ها هیچ گونه اسیدی تولید نمی‌کنند (Lawrence *et al.*,1996).

۳-۷-۶- پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)

پتانسیل خنثی‌سازی خالص(NNP)، از اختلاف بین پتانسیل خنثی‌سازی (NP) و پتانسیل تولید (AP)، توسط معادله (۳-۶)، محاسبه می‌گردد. واحدNNP برابر با کیلوگرم کربنات کلسیم به ازای یک تن باطله است

معادله (۳-۶)

$$NNP(Kg\ CaCO_3\ t^{-1}) = NP\ (Kg\ CaCO_3\ t^{-1}) - AP\ (Kg\ CaCO_3\ t^{-1})$$

۱-Modified Acid Bas Acounting Tests

اگر NNP بیش‌تر از ۲۰+ باشد، نمونه هیچ‌گونه پتانسیلی برای تولید اسید ندارد و اسیدی تولید نمی-شود، ولی اگر NNP کم‌تر از ۲۰- باشد، در این صورت نمونه به طور بالقّوه دارای پتانسیل تولید اسید خواهد بود. اگر مقدار NNP بین ۲۰+ و ۲۰- باشد (-20 < NNP < +20)، در این‌صورت نمونه از نظر تولید اسید مشکوک می‌باشد (Dold, 2017).

۳-۷-۷- آزمایش ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)

در این آزمایش بخشی از اسید حاصل از اکسیداسیون پیریت، با کانی‌های خنثی‌کننده اسید موجود در نمونه واکنش می‌دهد. توسط آزمایش تعیین ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC) می‌توان ظرفیت خنثی‌کنندگی نمونه را به دست آورد. به این منظور، ۱۰ گرم نمونه که از الک ۴۰۰ مش عبور داده شده است در بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. نمونه به مدت ۱۵ دقیقه روی شیکر قرار داده شد و پس از آن pH ثبت گردید. سپس نمونه با اسیدسولفوریک ۱ نرمال تیتر شد تا اینکه به pH ۳/۵ برسد. ظرفیت خنثی‌سازی نمونه (ANC) از معادله (۳-۷) به دست می‌آید و واحد آن کیلوگرم اسید سولفوریک به ازای یک تن باطله است. در این تخمین، مقدار اسیدی که توسط نمونه می‌تواند خنثی یا مصرف شود، به دست می‌آید (Lawrence *et al.*,1996).

معادله (۳-۷)

$$\mathrm{ANC}(\mathrm{Kg\ H_2SO_4 t^{-1}}) = \frac{\mathrm{V(ml)} \times 0.049 \times 1000}{\mathrm{W(g)}}$$

در این رابطه V برابر با حجم اسیدسولفوریک (بر حسب میلی‌لیتر) و W برابر با وزن نمونه (بر حسب گرم) می‌باشد. اگر نسبت ANC/MPA کم‌تر از یک باشد، ظرفیت تولید اسید بیش‌تر از خنثی‌سازی اسید خواهد بود و باطله زهاب اسیدی تولید می‌کند و یا احتمال تولید زهاب اسیدی زیاد است، اما اگر نسبت ANC/MPA بیش‌تر از یک باشد، باطله هیچ‌گونه زهاب اسیدی را تولید نمی‌کند (Lawrence *et al.*,1996).

۳-۷-۸- محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP)

برای محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP) ابتدا حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA حداکثر مقدار اسیدی که در یک تن باطله می‌تواند ایجاد شود)، از ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC حجم اسیدی که توسط کانی‌های تولیدکننده اسید تولید می‌شود)، کم می‌شود (معادله ۳-۸). واحد آن کیلوگرم اسیدسولفوریک به ازای یک تن باطله است (Lawrence *et al.*,1996).

معادله (۳-۸)

$$\mathrm{NAPP}\ (\mathrm{Kg\ H_2SO_4t^{-1}}) = \mathrm{MPA}\ (\mathrm{Kg\ H_2SO_4t^{-1}}) - \mathrm{ANC}\ (\mathrm{Kg\ H_2SO_4t^{-1}})$$

در این معادله، اگر NAPP مثبت باشد نمونه دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشد؛ ولی اگر NAPP منفی باشد، نمونه فاقد پتانسیل تولید اسید است.

۳-۷-۹- آزمایش تشکیل اسید خالص[1] (NAG)

از آزمایش تشکیل اسید خاص (NAG) برای ارزیابی پتانسیل تولید اسید یک نمونه استفاده می‌شود. در این آزمایش نمونه با پراکسید هیدروژن واکنش داده می‌شود. در زمان انجام آزمایش NAG، واکنش تولید اسید و خنثی‌سازی اسید می‌تواند به طور همزمان رخ دهد. بنابراین، نتیجه نهایی نشان-دهنده مقدار اسید خالص تولید شده توسط نمونه است.

برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه‌ها از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند. سپس ۲/۵ گرم از نمونه داخل بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۲۵۰ میلی‌لیتر پراکسید هیدرروژن ۱۵ درصد به نمونه اضافه شد. یک شیشه روی بشر قرار داده شد، و پس از ۲۴ ساعت pH ثبت گردید.

عدم تشکیل اسید توسط نمونه [1](NAF): یک نمونه زمانی در رده NAF قرار می‌گیرد و یا به عبارتی اسید تشکیل نمی‌شودکه $\mathrm{NAG\ pH} \geq 4.5$ و NAPP آن منفی باشد.

1 - Net acid generation

دارای پتانسیل تشکیل اسید [۲](PAF): نمونه‌ای در رده PAF قرار می‌گیرد که پتانسیل تولید اسید آن، بیش‌تر از خنثی‌سازی اسید باشد. چنین موادی دارای خطر بالایی از نظر تولید زهاب اسیدی هستند.

نامشخص [۳](UC): هنگامی که NAPP مثبت و NAG pH $\geq$ 4.5 و یا وقتی‌که NAPP منفی و pH NAG <4.5 باشد، نمونه در رده نامشخص قرار می‌گیرد (Research Institute, 2002).

در صورتی‌که نسبت NAG/NAPP کم‌تر از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده این است که گوگرد غیرسولفیدی (سولفات‌های اولیه، گوگرد آلی، گوگرد عنصری) در نمونه حضور دارد و در نتیجه احتمال تولید زهاب اسیدی کم می‌باشد. ولی اگر نسبت NAG/NAPP بیش‌تر از ۰/۵ شود، در این صورت نشان‌دهنده تشکیل گوگرد سولفیدی و در نتیجه احتمال تولید زهاب اسیدی است (Research Institute, 2002).

۳-۷-۱۰- آزمون تولید اسید خالص [۴] (NAP)

این آزمایش شبیه به آزمایش NAG می‌باشد، با این تفاوت‌که در این آزمایش، از پراکسیدهیدروژن غلیظ استفاده می‌شود و سپس محلول تیتر می‌شود. برای انجام این آزمون، ابتدا نمونه‌ها از الک ۲۰۰ مش عبور داده شدند. سپس ۵ گرم از نمونه داخل بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۱۰۰ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۵ درصد اضافه شد. نمونه به مدت یک ساعت روی همزن قرار گرفت. زمانی که حبابی از نمونه خارج نشود و جنب و جوشی نداشته باشد، واکنش کامل شده است (اگر درصد گوگرد بالا باشد، ممکن است حالت انفجاری رخ دهد که در دو نمونه استخراج برناکی و استخراج کلاریز این اتفاق در هنگام آزمایش افتاد). سپس pH اندازه‌گیری می‌شود و به حدی سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال اضافه می‌شود که pH به ۷ برسد. سپس NAP از معادله (۳-۹) به دست می-

1- Non-acid forming
2--Potentially acid forming
3-Uncertain
4- Net acid potential

آید. واحد NAP بر حسب کیلوگرم اسید سولفوریک به ازای یک تن باطله است (Lapko and Lawerence, 1996).

معادله (۳-۹)

$$NAP\ (Kg\ CaCO3\ t^{-1}) = \frac{50ab}{c}$$

در این رابطه a برابر با نرمالیته سدیم هیدروکسید، b برابر با حجم سدیم هیدروکسید بر حسب میلی-لیتر و c هم برابر وزن نمونه بر حسب گرم است.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

فرایند استخراج زغال‌سنگ باعث تولید حجم عظیمی از باطله شده که در اطراف تونل‌های معدن طزره دپو شده است. باطله‌های حاصل از فرایند استخراج، از مهم‌ترین منابع تولید زهاب اسیدی معدن می‌باشند. هدف از این پژوهش، ارزیابی تولید زهاب اسیدی معدن (AMD) توسط باطله‌های معدن طزره و مقایسه توده‌های باطله دپو شده در این معدن از نظر پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشد. در این فصل پس از بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی باطله‌های معدن طزره، به بررسی احتمال تشکیل زهاب اسیدی توسط این باطله‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۲- غلظت عناصر اصلی و جزئی درنمونه‌های باطله

بخشی از اثرات زیست‌محیطی زغالسنگ، ناشی از مواد معدنی موجود در این سوخت فسیلی است. بنابراین بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی زغالسنگ (بررسی غلظت عناصر اصلی و جزئی در آن) اهمیت بسیار زیادی دارد. در جدول‌های ۴-۱ و ۴-۲ غلظت عناصر اصلی و بعضی از عناصر جزئی در باطله‌های معدن طزره البرزشرقی، در مقایسه با مقدار کلارک (فراوانی پوسته‌ای) این عناصر ارائه شده است. بر اساس نتایج آنالیز XRF بر روی نمونه‌های معرف (جدول ۴-۱)، اکسیدهای SiO_2 و Al_2O_3 به ترتیب با میانگین ۵۴/۷ و ۲۲/۱ درصد، از بیشترین مقدار برخوردار هستند. بر اساس نتایج آنالیز XRF، بالاترین درصد گوگرد در نمونه شماره (۶) و کمترین آن در نمونه شماره (۳) مشاهده می‌شود. میانگین مقدار گوگرد در نمونه‌های مورد مطالعه، ۱/۶ درصد می‌باشد. اکسیدهای منگنز و فسفر با متوسط غلظت ۰/۲ و ۰/۱ دارای کم‌ترین فراوانی در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشند.

غلظت کادمیم در نمونه‌های باطله مورد مطالعه پایین‌تر از حد آشکارسازی دستگاه XRF بود. عناصر Cu، As، Zr، Cr، Pb، Ni، Fe نسبت به مقادیر کلارک غنی‌شدگی نشان می‌دهند. این امر احتمالاً مربوط به حضور کانی‌های سولفیدی، سولفاتی، کربناتی و سیلیکاتی در نمونه‌ها است. برای مثال غلظت بسیار بالای آرسنیک در نمونه‌ها (میانگین ۶۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، احتمالاً با حضور این

عنصر در کانی پیریت در ارتباط است. لازم به ذکر است که در مورد اکثر عناصر مورد مطالعه، حداکثر غلظت عناصر در نمونه شماره ۶ باطله‌های (سینه کار غربی)، مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۱- نتایج تجزیه شیمیایی باطله‌ها به روش XRF (مقادیر بر حسب درصد)

نمونه	Na_2O	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	S	TiO_2	K_2O	MnO
۱	۰/۲	۵۷/۷	۱۹	۰/۴	۲/۳	۹/۳	۰/۱	۰/۷	۱/۹	۷/۶	۰/۱
۲	۰/۱	۵۶/۴	۱۹/۱	۱	۲/۳	۸/۷	۰/۱	۲/۱	۱/۸	۶/۶	۰/۱
۳	۰/۲	۵۹/۱	۲۲/۵	۰/۲	۲/۱	۶/۵	۰/۱	۰/۳	۱/۶	۶/۸	۰/۷
۴	۰/۲	۵۷/۳	۲۰/۶	۰/۷	۲/۶	۹/۱	۰/۱	۰/۹	۱/۶	۶/۲	۰/۱
۵	۰/۱	۵۴/۴	۲۳/۲	۱/۱	۱/۸	۷/۷	۰/۱	۱/۸	۱/۸	۶/۶	۰/۱
۶	۰/۲	۵۰/۱	۲۱/۳	۱/۱	۱/۷	۱۲/۱	۰/۲	۳/۵	۱/۸	۶/۴	۰/۱
۷	۰/۱	۵۲/۶	۲۶/۳	۰/۹	۱/۸	۶/۳	۰/۱	۱/۵	۲/۱	۷/۴	۰/۱
۸	۰/۱	۵۰/۳	۲۵/۱	۰/۸	۲/۱	۹/۲	۰/۱	۱/۹	۱/۹	۷/۵	۰/۱
میانگین	۰/۱	۵۴/۷	۲۲/۱	۰/۷	۲	۸/۶	۰/۱	۱/۵	۱/۸	۶/۸	۰/۲

جدول ۴-۲- غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های باطله مورد مطالعه در مقایسه با متوسط غلظت عناصر در پوسته زمین (مقادیر بر حسب (mg/kg)

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	میانگین	کلارک
Cu	۴۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۵۵۰	۵۰
Mn	۶۹۷	۷۷۴	۴۶۴	۱۰۸۴	۶۹۷	۱۰۸۴	۳۸۷	۸۵۱	۷۵۴/۷	۱۰۰۰
Ni	۵۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۵۷۵	۷۵
As	۷۰	۱۰۰	۱۰	۹۰	۵۰	۱۷۰	۱۰	۵۰	۶۸/۷	۱/۵
Cr	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۶۰۰	۲۵۰۰	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۰۰
Pb	۱۸۰	۲۰۰	۱۴۰	۲۰۰	۳۰۰	۸۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۲/۵	۱۴
Zr	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۱۷۰۰	۲۱۰۰	۲۳۰۰	۲۷۰۰	۲۴۰۰	۲۲۰۰	۲۱۵۰	۱۹۰
Ca	۲۵۷۳	۷۰۰۴	۱۵۰۰	۴۷۸۸	۸۰۷۶	۷۳۶۱	۶۵۷۵	۵۸۶۰	۵۲۷۹/۶	۳۶۳۰۰
Fe	۶۵۱۲۳	۶۰۶۴۶	۴۵۲۵۷	۶۳۰۲۴	۴۹۵۲۴	۸۴۳۵۹	۴۴۴۱۸	۶۴۷۷۳	۵۹۶۴۰/۵	۵۰۰۰۰

در جدول ۴-۳، مقادیر ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های باطله معدن طزره ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، باطله‌های معدن طزره نسبت به عناصر Mn، Fe، Cd بدون غنی‌شدگی، نسبت به عناصر Ni، Zr، Cr، Cu، Pb دارای غنی‌شدگی قابل توجه و نسبت به عنصر As دارای غنی‌شدگی خیلی زیاد می‌باشد. به دلیل غنی بودن باطله‌ها از عناصرAs و Pb، احتمال حضور کانی‌های پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و مارکازیت در باطله‌ها زیاد است. بنابراین در صورت تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های حاصل از معدن طزره، احتمال آلودگی منابع آب سطحی، زیرزمینی و خاک به عناصر بالقوه سمّی، به ویژه آرسنیک و سرب بالاست.

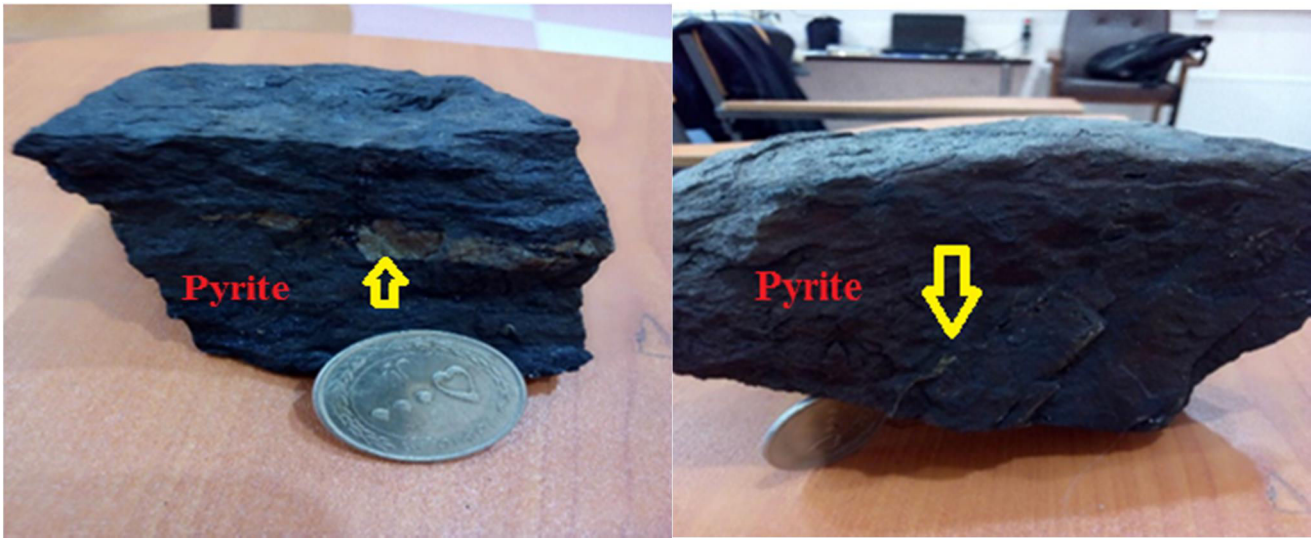
جدول ۴-۳- ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های باطله

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	میانگین
Cu	۶/۴	۷/۷	۵/۵	۶/۱	۷/۹	۱۱/۶	۷/۱	۸/۶	۷/۵
Mn	۰/۵	۰/۶	۰/۳	۰/۸	۰/۴۷	۰/۸	۰/۲	۰/۵	۰/۵
Ni	۵/۳	۵/۲	۳/۶	۵/۹	۴/۴	۶/۷	۴/۶	۶/۵	۵/۳
As	۳۸/۶	۵۲/۸	۴/۶	۴۵/۸	۲۲/۵	۸۳/۸	۳/۹	۲۰/۹	۳۴/۱
Cr	۷/۴	۹/۵	۸/۳	۹/۹	۱۰/۸	۱۸/۴	۷/۷	۷/۵	۹/۹
Pb	۱۰/۵	۱۱/۷	۸/۸	۱۰/۸	۱۴/۳	۴۱/۷	۱۲/۶	۱۳/۲	۱۵/۴
Zr	۷/۸	۸/۲	۶/۱	۸/۳	۸/۱	۸/۴	۷/۵	۷/۲	۷/۷
Fe	۱/۱	۰/۹	۰/۶	۰/۹	۰/۶	۱/۲	۰/۵	۰/۸	۰/۸

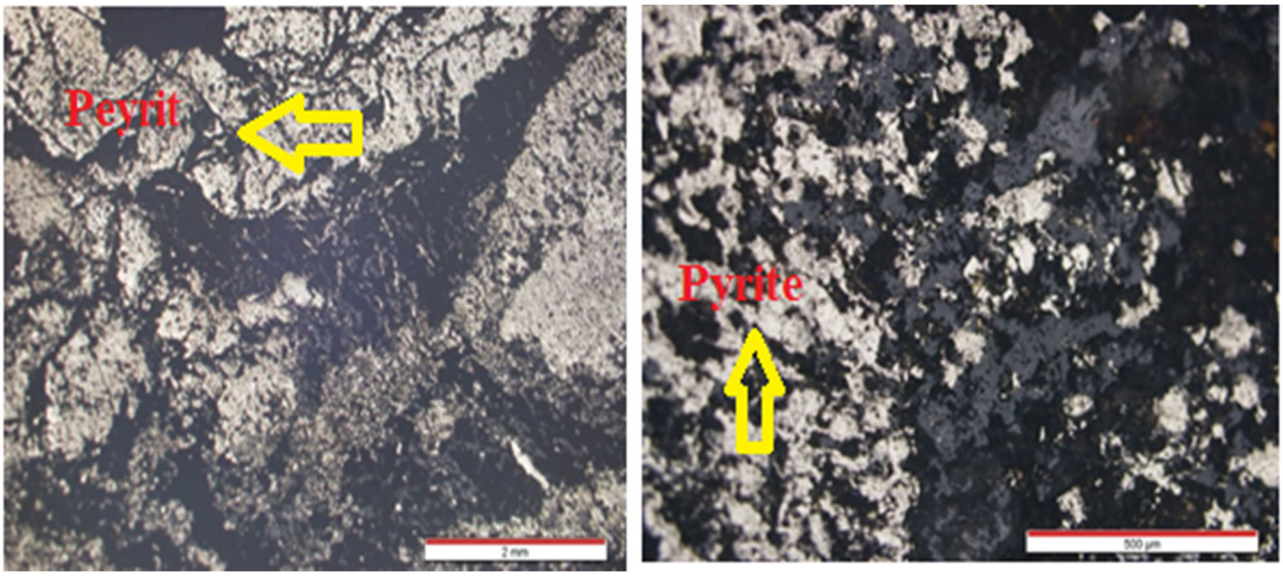
۴-۳- مطالعات بافتی و کانی‌شناسی

۴-۳-۱- مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی

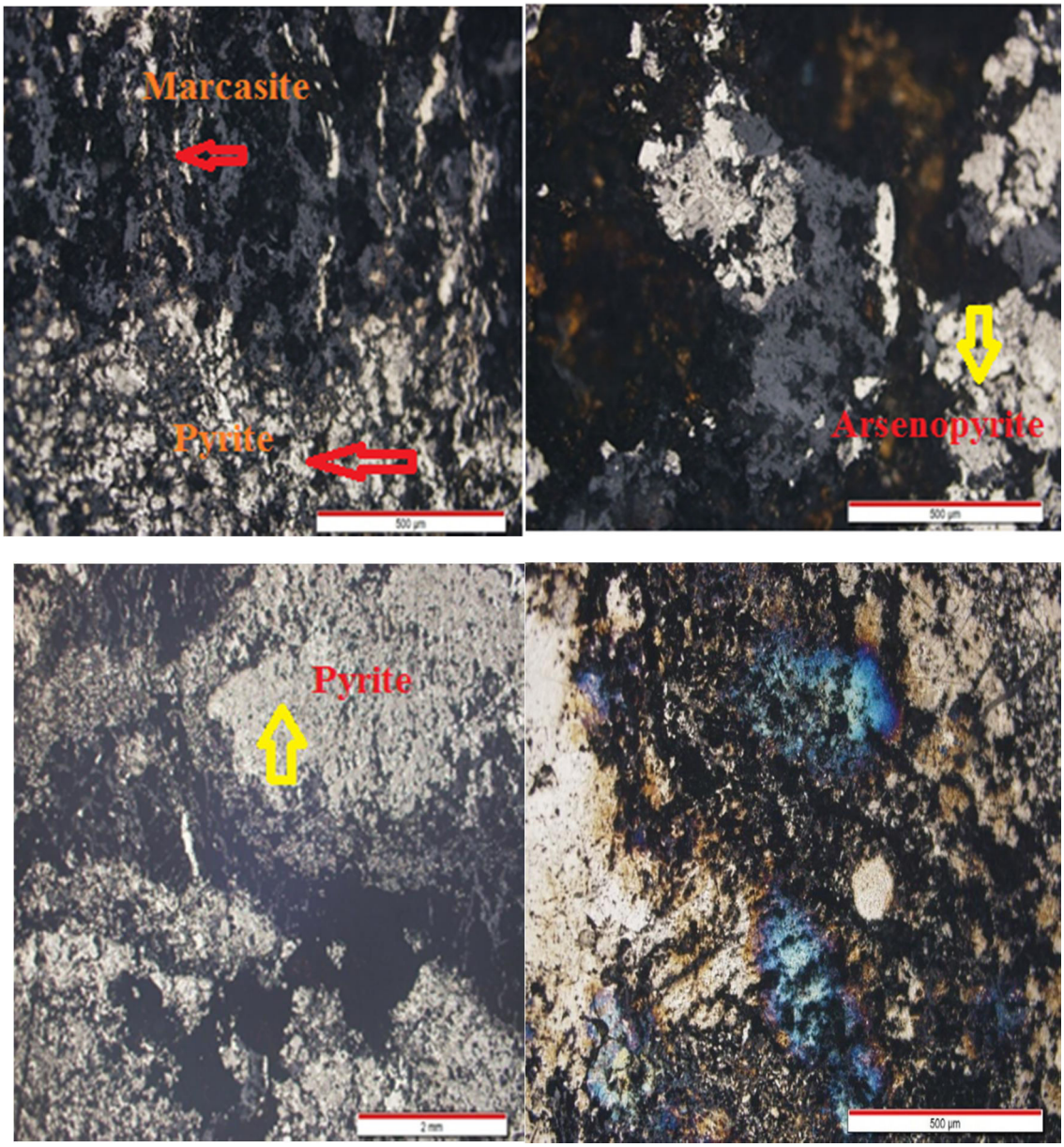
بررسی ماکروسکوپی نمونه‌ها نشان دهنده حضور پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی در معدن زغال‌سنگ طزره است. در نمونه‌های دستی، پیریت به صورت ذرات بلوری گوشه‌دار تا کروی یا به‌صورت پرکننده درز و شکاف‌ها دیده می‌شود (شکل ۴-۱). همچنین در نمونه‌های دستی، کانی‌های کوارتز، کلسیت و سایر سولفیدها مانند کالکوپیریت و گالن قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۴-۱- نمونه دستی باطله حاوی پیریت برداشت شده از معدن طزره

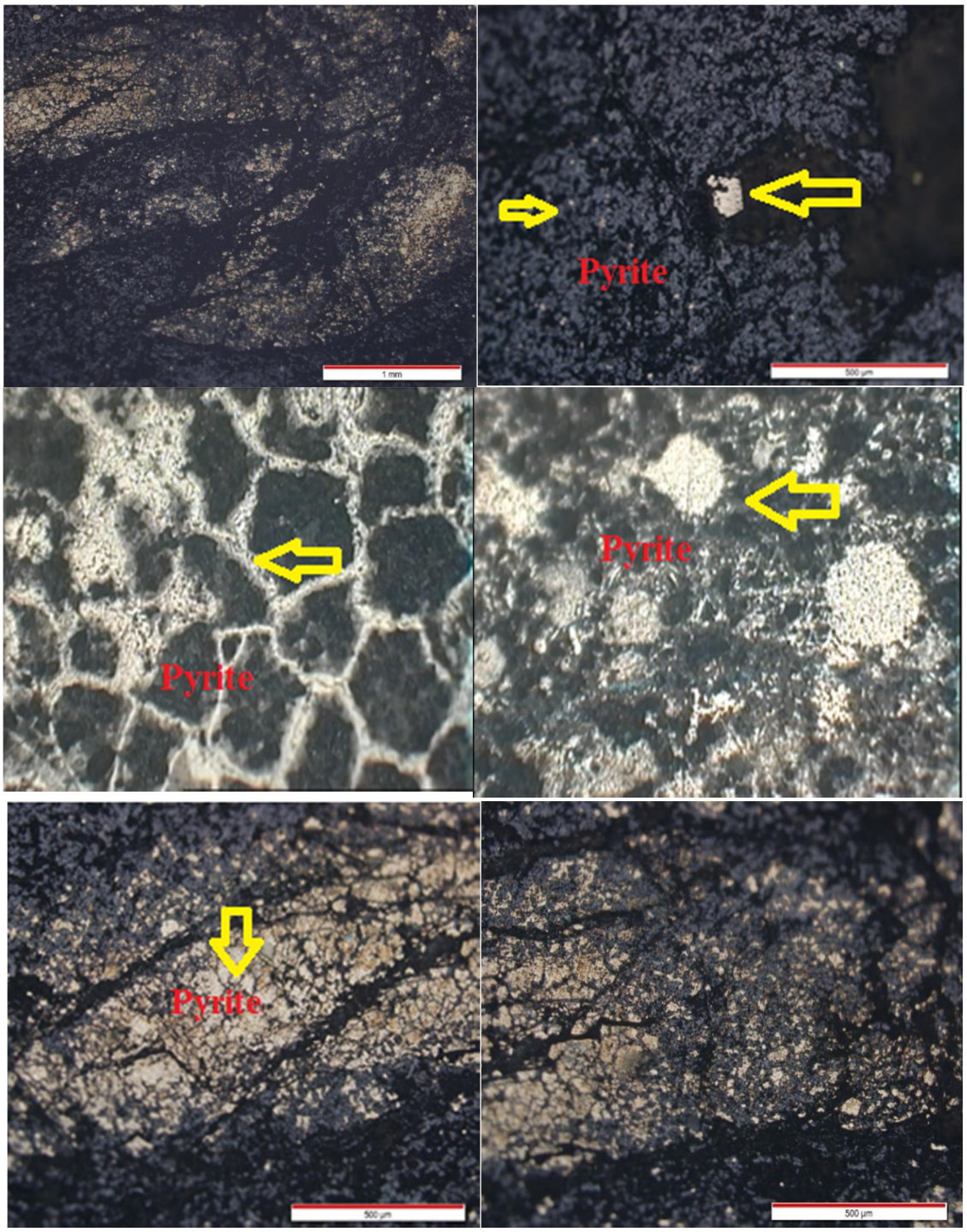


شکل ۴-۲- تصاویر میکروسکوپی حضور پیریت در نمونه باطله برداشت شده از حوضه رزمجا غربی



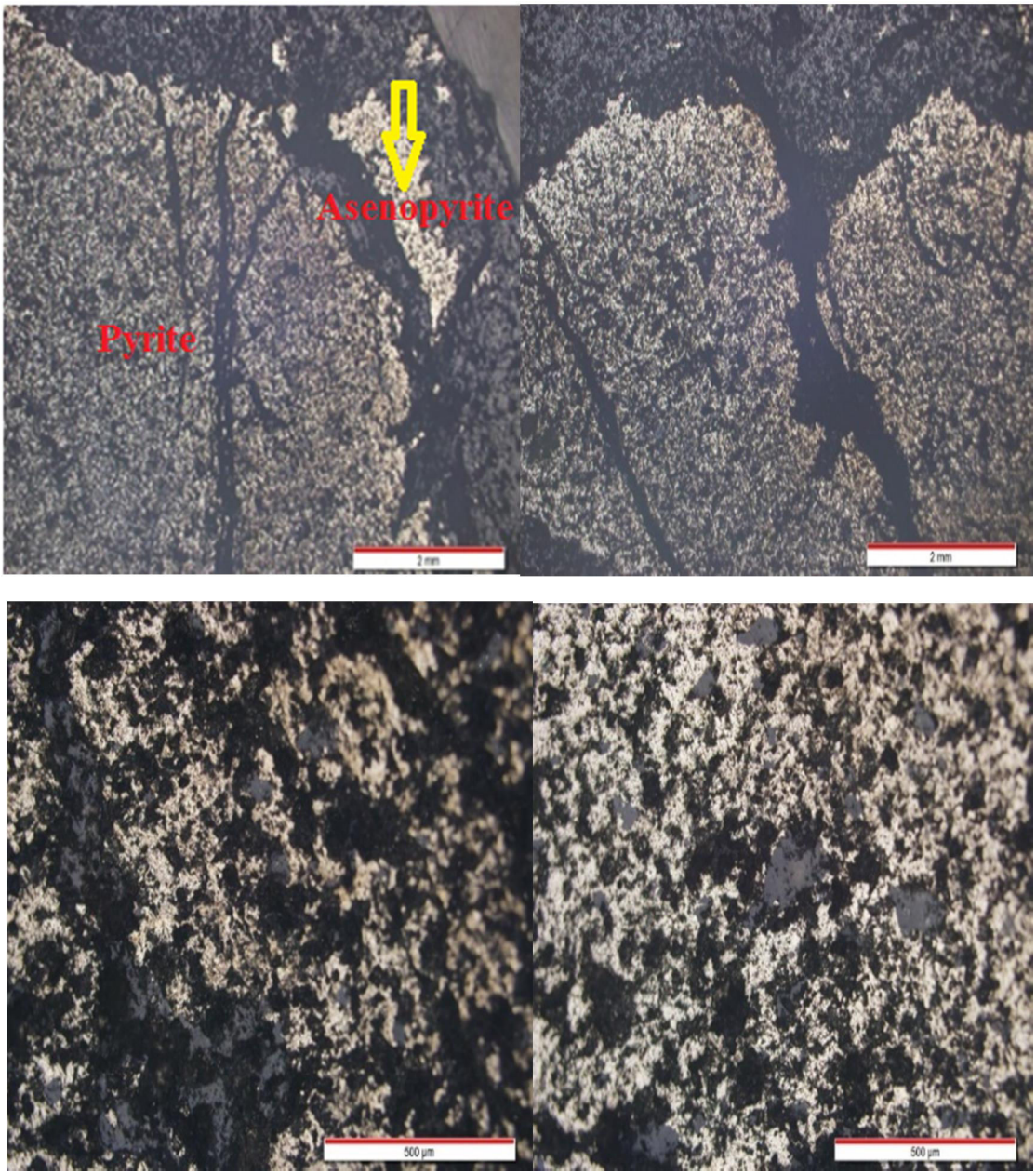
شکل ۴-۲- تصاویر میکروسکوپی حضور پیریت، آرسنوپیریت و مارکازیت در نمونه باطله برداشت شده از حوضه رزمجا غربی

با توجه به بررسی‌های کانه‌نگاری توسط میکروسکوپ نوری انعکاسی (شکل ۴-۲)، کانی‌های سولفیدی مشاهده شده در مقاطع صیقلی مورد مطالعه، شامل پیریت، مارکاسیت و آرسنوپیریت می‌باشد. کانی پیریت به صورت توده‌ای، رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، بی‌شکل، نیمه‌شکلدار، و تجمعات فرامبوئیدی مشاهده می‌شود. حضور بلورهای سوزنی شکل مارکازیت نیز در مقاطع صیقلی قابل توجه است.



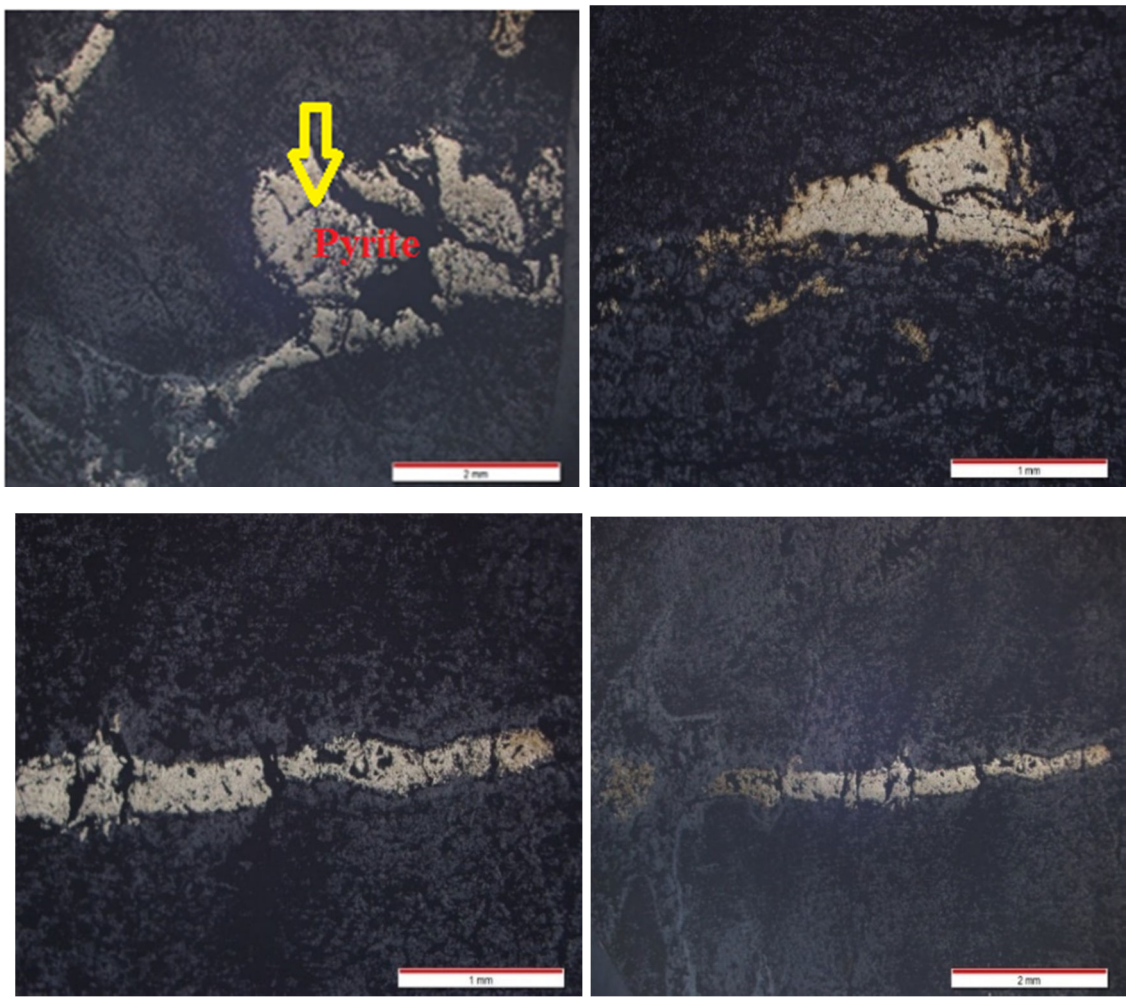
شکل ۴-۳- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت در نمونه باطله برداشت شده از حوضه مادر

پیریت‌های مشاهده شده در مقاطع صیقلی (شکل ۴-۳) ، دارای شکستگی‌های فراوان هستند. به-صورت دانه‌های ریز پراکنده بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار و تجمعات فرامبوئیدی دیده می شود.



شکل ۴-۴- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت و آرسنوپیریت در نمونه باطله برداشت شده از حوضه کلاریز

پیریت‌های مشاهده شده در مقاطع صیقلی (شکل ۴-۴) ، دارای شکستگی هستند و بیشتر به‌صورت دانه‌های ریز پراکنده بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند.



شکل ۴-۵- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت در باطله‌های قدیمی سینه کار برداشت شده از حوضه برناکی

مشاهداتی همچون بافت فرامبوئیدی و ریز دانه کانی پیریت، حضور شکستگی‌های فراوان در این کانی، و نیز حضور مارکازیت نشان می‌دهد که احتمال هوازدگی این کانی و تشکیل زهاب اسیدی وجود دارد؛ چرا که حداکثر اکسایش پیریت، در امتداد ترک‌ها و حفره‌ها رخ می‌دهد (Lottermoser, 2010).

۴-۳-۲- بررسی ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های معدن طزره از روش پراش پرتو ایکس (XRD)

بر اساس نتایج آنالیز XRD (پیوست ۱)، کانی‌های موجود در باطله‌های معدن طزره جدول (۴-۴)، شامل کانی‌های سیلیکاتی کوارتز (SiO_2)، کائولینیت ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)، آلبیت، و کانی‌های

سولفیدی پیریت و مارکازیت (FeS_2)، آرسنوپیریت ($AsFeS_2$) و کالکوزیت می‌یاشد. کانی کائولینیت در نمونه باطله‌های شماره ۸ (باطله‌های استخراج کلاریز) و کانی مارکازیت در نمونه شماره ۲ (باطله-های قدیمی سینه‌کار برناکی) مشاهده نشد. کانی‌های کوارتز (SiO_2) و کائولینیت ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) کانی‌های اصلی هستند.

حضور کانی‌های ایلیت و کائولینیت می‌تواند ناشی از هوازدگی فلدسپار پتاسیم باشد. در اثر هوازدگی این کانی‌ها، یون‌های هیدروژن موجود درمحلول مصرف می‌شوند و یا یون‌های بی‌کربنات تولید می-شوند، که باعث خنثی‌شدن اسید می‌شوند (Lopez *et al*., 2008).

جدول ۴-۴ –کانی‌شناسی نمونه های مورد مطالعه با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)

شماره	نمونه	کانی‌های موجود در نمونه توسط روش پراش پرتو ایکس (XRD)
۱	**استخراج غربی**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت
۲	**سینه کار برناکی**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، آلبیت و کالکوزیت
۳	**استخراج مادر**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت
۴	**سینه کار مادر**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت
۵	**سینه کار کلاریز**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت
۶	**سینه کار غربی**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت
۷	**استخراج برناکی**	کوارتز، کائولینیت، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت
۸	**استخراج کلاریز**	کوارتز، پیریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، مارکازیت، آلبیت، و کالکوزیت

۴-۴- ارزیابی پتانسیل تولید اسید توسط روش‌های استاتیک

۴-۴-۱- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله‌ها با استفاده از pH و EC گل اشباع

در صورتی که pH گل اشباع از ۴ کمتر باشد، علامت اولیه‌ای برای احتمال تشکیل زهاب اسیدی است. هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌ها تحت تأثیر غلظت کانیون‌ها و آنیون‌ها و فرآیندهای انحلال و شستشو می‌باشد و در اثر کاهش pH، افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH و EC گل اشباع در جدول (۴-۵) ارائه شده است. تمام نمونه‌های مورد مطالعه دارای pH بیشتر از ۴ و در نمونه باطله-های (۱و۳) هدایت الکتریکی پایین‌تر از ۲۰۰۰ (µS/cm) است و احتمالاً تمام نمونه‌ها فاقد پتانسیل تولید زهاب اسیدی هستند. نمونه شماره ۲، دارای کمترین pH و نمونه۴، دارای بیشترین pH در مقایسه با سایر نمونه‌ها است.

جدول ۴-۵- نتایج اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع نمونه‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	نمونه	pH	EC (µS/cm)	ارزیابی تولید اسید
۱	استخراج غربی	۶/۷	۱۵۸۰	فاقد پتانسیل تولید اسید
۲	سینه کار برناکی	۵/۳	۴۳۴۰	فاقد پتانسیل تولید اسید
۳	استخراج مادر	۷/۱	۱۹۵۰	فاقد پتانسیل تولید اسید
۴	سینه کار مادر	۷/۳	۳۲۹۵	فاقد پتانسیل تولید اسید
۵	سینه کار کلاریز	۵/۵	۲۷۱۰	فاقد پتانسیل تولید اسید
۶	سینه کار غربی	۵/۶	۳۹۸۵	فاقد پتانسیل تولید اسید
۷	استخراج برناکی	۶/۴	۲۷۶۰	فاقد پتانسیل تولید اسید
۸	استخراج کلاریز	۶/۵	۲۷۴۵	فاقد پتانسیل تولید اسید

۴-۴-۲- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای ABA

طبق نتایج آزمون ABA (جدول ۴-۵ و ۴-۶)، مقدار NNP نمونه‌های ۲ ، ۵، ۶ و ۸، کم‌تر از ۲۰- بوده بنابراین این باطله‌ها دارای دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند. NNP باطله‌های شماره ۱، ۳، ۴، و ۷، بیش‌تر از ۲۰+ بوده، و در نتیجه این نمونه‌ها احتمالاً فاقد پتانسیل تولید اسید هستند. نسبت NPR (NP/AP) باطله‌های شماره ۲، ۵، ۶، ۷ و ۸، کم‌تر از یک می‌باشد، در نتیجه این باطله‌ها دارای پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند، ولی در باطله‌های شماره ۱و ۳، این دو نسبت بیش‌تر از یک می‌باشد، در نتیجه این باطله‌ها در محدوده حد واسط می‌باشند (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶- تفسیر نتایج ABA اصلاح شده

معیار	فاقد پتانسیل تولید اسید	حد واسط	دارای پتانسیل اسید
NNP	>**20**($KgCaCO_3t^{-1}$)	**>-20 x<20**	>-20($KgCaCO_3t^{-1}$)
NP/AP	۳>	**بین ۳ تا ۱**	**<۱**

جدول ۴-۷- نتایج ارزیابی (MPA) و (ANC) و (NAPP)

شماره نمونه	**نمونه**	MPA ($KgH_2SO_4t^{-1}$)	ANC ($KgH_2SO_4t^{-1}$)	NAPP ($KgH_2SO_4t^{-1}$)
۱	استخراج غربی	۲۱/۴۳	۱۱/۷۶	۹/۶۷

جدول ۴-۷- نتایج ارزیابی (MPA) و (ANC) و (NAPP)

شماره نمونه	نمونه	MPA ($KgH_2SO_4t^{-1}$)	ANC ($KgH_2SO_4t^{-1}$)	NAPP ($KgH_2SO_4t^{-1}$)
۲	سینه کار برناکی	۶۳/۷	۱۰/۲۹	۵۳/۴۱
۳	استخراج مادر	۹/۸	۱۴/۲۱	-۴/۴۱
۴	سینه کار مادر	۲۸/۴۸	۱۶/۶۶	۱۱/۸۲
۵	سینه کار کلاریز	۵۶/۰۴	۱۰/۷۸	۴۵/۶۲
۶	سینه کار غربی	۱۰۶/۸۸	۸/۸	۹۸/۰۸
۷	استخراج برناکی	۴۶/۸۵	۱۳/۷۲	۳۳/۱۳
۸	استخراج کلاریز	۵۶/۹۶	۱۳/۲۳	۴۳/۷۳

جدول ۴-۸- نتایج آزمون پتانسیل خنثی‌سازی (NP)

شماره نمونه	نمونه	آزمایش فیز	حجم اسید (ml)	نرمالیته اسید	حجم باز (ml)	نرمالیته باز
۱	استخراج غربی	ضعیف	۲۰	۰/۱	۸/۷	۰/۱
۲	سینه کار برناکی	ضعیف	۲۰	۰/۱	۹/۹	۰/۱
۳	استخراج مادر	ضعیف	۲۰	۰/۱	۸/۱	۰/۱

جدول ۴-۸- نتایج آزمون پتانسیل خنثی‌سازی (NP)

شماره نمونه	نمونه	آزمایش فیز	حجم اسید (ml)	نرمالیته اسید	حجم باز (ml)	نرمالیته باز
۴	سینه کار مادر	ضعیف	۲۰	۰/۱	۷/۳	۰/۱
۵	سینه کار کلاریز	ضعیف	۲۰	۰/۱	۷/۹	۰/۱
۶	سینه کار غربی	ضعیف	۲۰	۰/۱	۷/۷	۰/۱
۷	استخراج برناکی	ضعیف	۲۰	۰/۱	۸/۳	۰/۱
۸	استخراج کلاریز	ضعیف	۲۰	۰/۱	۸/۶	۰/۱

بر اساس نتایج آزمون NP و محاسبه AP (جدول ۴-۹)، نمونه‌های شماره ۶ و ۲، به ترتیب دارای بیشترین AP بوده و بنابراین‌پتانسیل تولید اسید را دارا هستند؛ همچنین کمترین NP مربوط به نمونه شماره ۲ است، که نشان می‌دهدپتانسیل خنثی‌سازی اسید در این نمونه از سایر نمونه‌ها، بیش‌تر است.

جدول ۴-۹- نتایج آزمایش‌های استاتیکی ABA

شماره نمونه	نمونه	NP ($KgCaCO_3t^{-1}$)	AP ($KgCaCO_3t^{-1}$)	NNP ($KgCaCO_3t^{-1}$)	NPR= NP/AP	$\frac{ANC}{MPA}$
۱	استخراج غربی	۲۸/۲۵	۲۱/۸۷	۶/۳۸	۱/۲۰	۰/۵۴
۲	سینه کار برناکی	۲۵/۲۵	۶۵	-۳۹/۷۵	۰/۳۸	۰/۱۶
۳	استخراج مادر	۲۹/۷۵	۱۰	۱۹/۷۵	۲/۹۰	۱/۴۵

جدول ۴-۹- نتایج آزمایش‌های استاتیکی ABA

شماره نمونه	نمونه	NP ($KgCaCO_3t^{-1}$)	AP ($KgCaCO_3t^{-1}$)	NNP ($KgCaCO_3t^{-1}$)	NPR= NP/AP	$\frac{ANC}{MPA}$
۴	سینه کار مادر	۳۱/۷۵	۲۹/۰۶	۲/۶۹	۱/۰۹	۰/۵۸
۵	سینه کار کلاریز	۳۰/۲۵	۵۷/۱۸	-۲۶/۹۳	۰/۵۲	۰/۱۹
۶	سینه کار غربی	۳۰/۷۵	۱۰۹/۰۶	-۷۸/۳۱	۰/۲۸	۰/۰۸
۷	استخراج برناکی	۲۹/۲۵	۴۷/۸۱	-۱۸/۵۶	۰/۶۱	۰/۲۹
۸	استخراج کلاریز	۲۸/۵۰	۵۸/۲۵	-۲۹/۷۵	۰/۴۸	۰/۲۲

۴-۴-۳- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای آزمون تشکیل اسید خالص (NAG) و تولید اسید خالص (NAPP)

نتایج آزمایش NAG (جدول ۴-۱۰ و۴-۶)، نشان می‌دهد که باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸، دارای NAPP مثبت، و pH NAG تمام نمونه‌ها کمتر از ۴/۵ می‌باشد. به همین دلیل این باطله‌ها در رده PAF (دارای پتانسیل تشکیل اسید) قرار می‌گیرند. ظرفیت تولید اسید این باطله‌ها بیش‌تر از خنثی‌سازی اسید می‌باشد و دارای پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند. باطله شماره ۳ دارای NAPP منفی می‌باشند، به همین دلیل این نمونه در رده NAF قرار می‌گیرد. به عبارتی در این باطله‌ها، ظرفیت خنثی‌سازی اسید بیش‌تر از ظرفیت تولید اسید می‌باشد در نتیجه، دارای فاقد پتانسیل تولید زهاب اسیدی است (Research Institute, 2002).

بر اساس داده‌های جدول ۴-۱۰، در تمام نمونه‌ها، نسبت NAG/NAPP کمتر از ۰/۵ است، بنابراین احتمال تولید زهاب اسیدی در آن‌ها وجود ندارد.

جدول ۴-۱۰- نتایج آزمون تشکیل اسید خاص (NAG)

شماره نمونه	نمونه	NAG pH	$\frac{NAG}{NAPP}$
۱	استخراج غربی	۱/۶۵	۰/۱۷
۲	سینه کار برناکی	۱/۷۴	۰/۰۳
۳	استخراج مادر	۲/۸۰	- ۰/۶۳
۴	سینه کار مادر	۳/۰۲	۰/۲۶
۵	سینه کار کلاریز	۱/۵۸	۰/۰۳
۶	سینه کار غربی	۱/۷۰	۰/۰۱
۷	استخراج برناکی	۱/۳۰	۰/۰۳
۸	استخراج کلاریز	۱/۱۷	۰/۰۲

بر اساس، جدول ۴-۱۱، باطله‌های شماره ۸، ۱ و ۶، به ترتیب دارای بیش‌ترین NAP می‌باشند. کمترین مقدار AP مربوط به نمونه‌های ۳ و ۴ و بیشترین مقدار NP در نمونه ۴ مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۱۱- نتایج آزمون تولید اسید خالص (NAP)

شماره نمونه	نمونه	pH قبل از تیتر کردن	حجم باز (ml)	نرمالیته باز	NAP ($KgCaCO_3t^{-1}$)
۱	استخراج غربی	۲/۹	۱۹/۵	۰/۱	۱۹/۵
۲	سینه کار برناکی	۲/۹	۱۵/۲	۰/۱	۱۵/۲

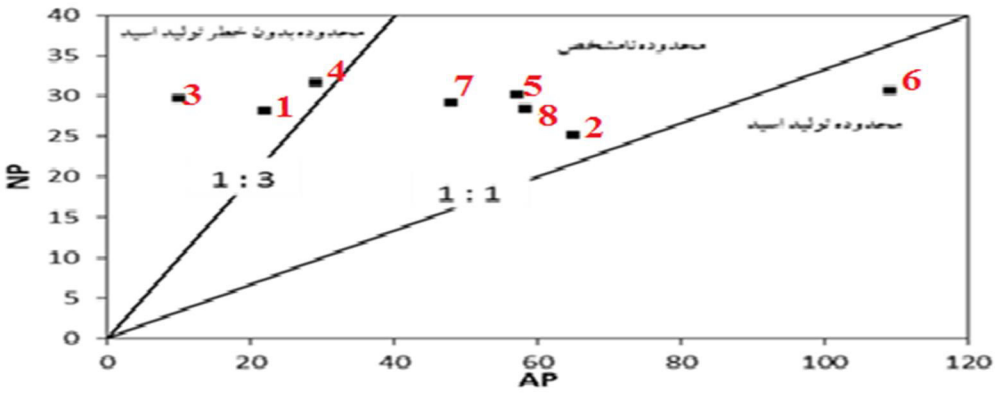
جدول ۴-۱۱- نتایج آزمون تولید اسید خالص (NAP)

شماره نمونه	نمونه	pH قبل از تیتر کردن	حجم باز (ml)	نرمالیته باز	NAP ($KgCaCO_3t^{-1}$)
۳	استخراج مادر	۲/۷	۶/۸	۰/۱	۶/۸
۴	سینه کار مادر	۴/۱	۶/۳	۰/۱	۶/۳
۵	سینه کار کلاریز	۲/۹	۱۴/۲	۰/۱	۱۴/۲
۶	سینه کار غربی	۳/۱	۱۸/۷	۰/۱	۱۸/۷
۷	استخراج برناکی	۲/۹	۱۲/۷	۰/۱	۱۲/۷
۸	استخراج کلاریز	۱/۹	۳۹	۰/۱	۳۹

۴-۵- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی با استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی

۴-۵-۱- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس پتانسیل خنثی سازی(AP) در مقابل پتانسیل تولید اسید (NP)

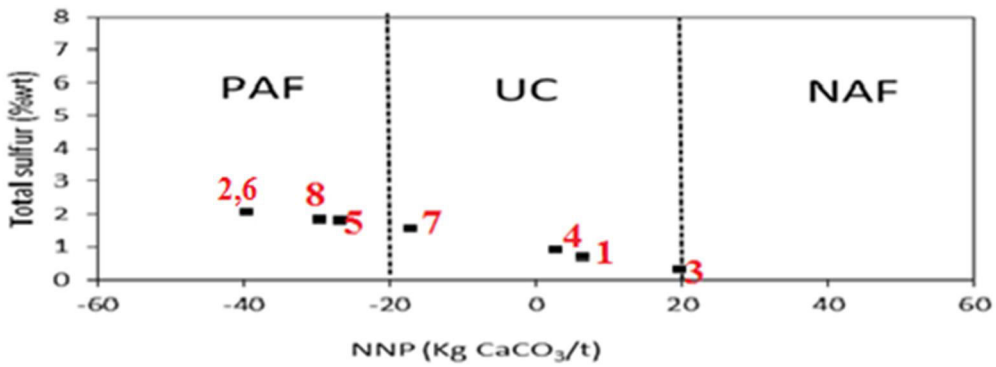
این نمودار (Broughton, 1992) ارائه شده است و نشان می دهد. بر اساس این نمودار که بیشتر در روش ABA کاربرد دارد، نمونه باطله شماره ۶ دارای پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشد. نمونه باطله‌های۲، ۵، ۷ و ۸ در محدوده نامشخص، نمونه باطله‌های ۳، ۴ و ۱ در محدوده عدم پتانسیل تولید اسید و بدون خطر قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۶- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس پتانسیل خنثی سازی NP در مقابل AP پتانسیل تولید اسید (Broughton, 1992).

۴-۵-۲- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس درصد گوگرد کل و پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP).

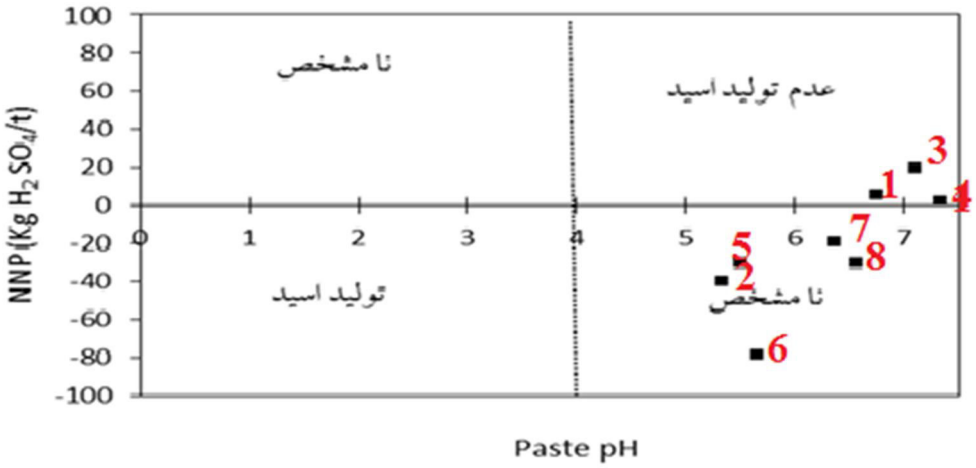
این نمودار (Broughton, 1992) ارائه شده است و نشان می دهد که بر اساس نمودار درصد گوگرد کل و پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)، نمونه‌ها در یکی از چند گروه، NAF (غیر تولیدکننده اسید)، PAF (احتمال تشکیل اسید) و UC (نامشخص) قرار گرفتند (Smart *et al*., 2002). این نمودار نشان می‌دهد که نمونه باطله‌های ۲ ، ۵، ۶ و ۸ دارای پتانسیل تشکیل اسید می‌باشند. نمونه باطله شماره ۱، ۳، ۴، ۷ در رده نامشخص قرار دارد. خطر تولید زهاب اسیدی توسط نمونه‌های ۳ کمتر از بقیه نمونه‌ها می‌باشد.



شکل۴-۷- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس درصد گوگرد کل و پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)

۴-۵-۳- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP).

این نمودار توسط (Research Institute, 2002).ارائه شده است و نشان می دهد، که بر اساس نمودار (۴-۸) نمونه‌های ۱، ۳ و۴ دارای NNP مثبت و در محدوده عدم تولید اسید قرار می‌گیرد. بقیه نمونه-های ۲، ۵، ۶ و ۷ در محدوده نامشخص قرار گرفته و احتمال تولید اسید آن نامعلوم است.



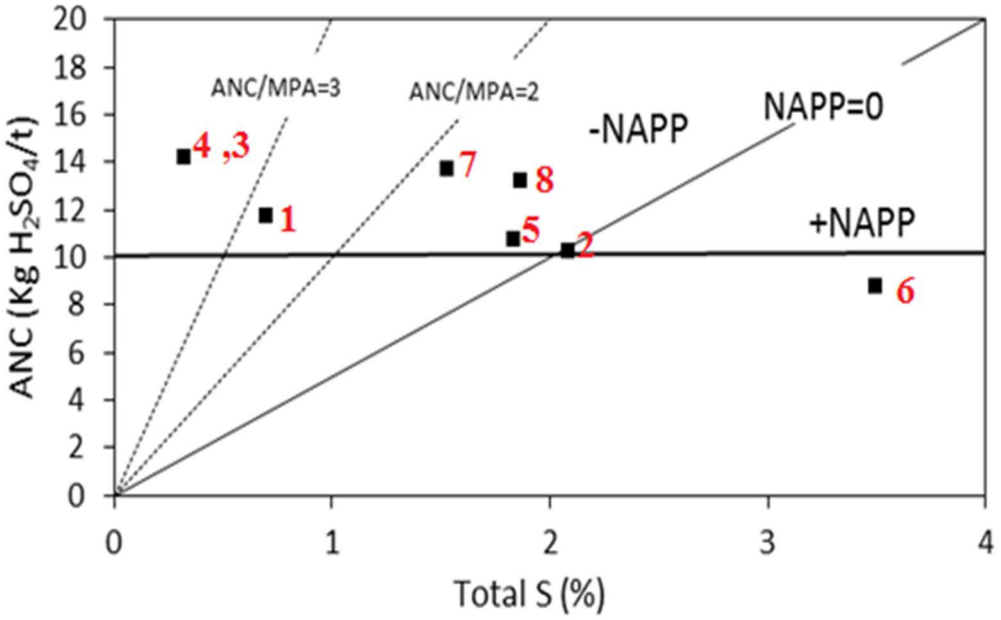
شکل ۴-۸- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NNP (Research Institute, 2002).

۴-۵-۴- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس درصد کل گوگرد و ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)

این نمودار توسط (Currey et al., 1999) ارائه شده است و ... را نشان می دهد که این نمودار (۴-۹)، NAPP منفی از NAPP مثبت جدا می‌شود. از نسبت ANC/MPA به عنوان روشی برای ارزیابی خطر تولید اسید از باطله‌های معدنی استفاده می‌شود. NAPP مثبت معادل با نسبت ANC/MPA کم‌تر از یک می‌باشد و نمونه دارای پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشد. NAPP صفر معادل با نسبت ANC/MPA برابر یک می‌باشد. NAPP منفی معادل با نسبت ANC/MPA بزرگ‌تر از یک است و نشان می‌دهد که زهاب اسیدی تولید نمی‌شود. لازم به ذکر است که مقدار این نسبت معمولاً از ۱ تا ۳

تغییر می‌کند. یک قاعده کلی وجود دارد که اگر نسبت ANC/MPA از ۲ بالاتر باشد، به معنای آن است که به احتمال زیاد تولید اسید نمی‌کند.

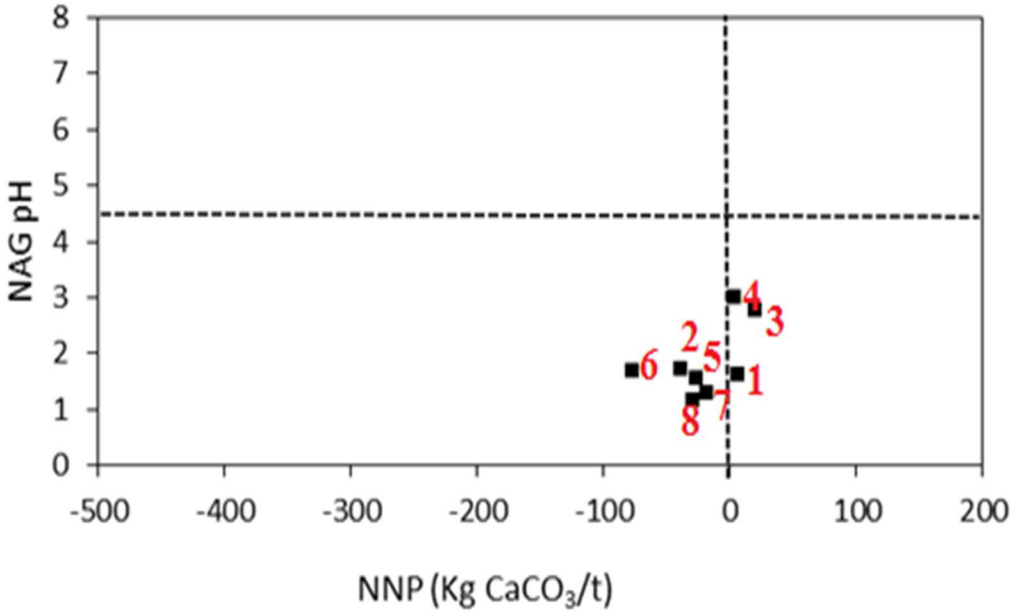
بر اساس شکل ۴-۹، نمونه باطله شماره ۶، دارای NAPP مثبت و نسبت ANC/MPA آن کم‌تر از یک می‌باشد، بنابراین این نمونه دارای پتاسیل تولید اسید می‌باشد. نمونه شماره ۲ دارای NAPP نزدیک به خط تعادل صفر بوده و احتمال تولید اسید بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. نمونه‌های ۱، ۵، ۷ و ۸ دارای NAPP منفی بوده و نسبت ANC/MPA آن‌ها بزرگتر از یک می‌باشد و احتمالاً اسیدی تولید نمی‌کنند. نسبت ANC/MPA در نمونه‌های ۳ و۴ بزرگتر از ۲ می‌باشد، بنابراین به احتمال زیاد این نمونه‌ها اسید تولید نمی‌کنند.



شکل ۴-۹- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس درصد کل گوگرد و ANC (Currey et al., 1999)

۴-۴-۵- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP) و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG pH).

این نمودار توسط (Plante *et al.*, 2012) ارائه شده است و ... را نشان می دهد، نمونه‌هایی با NNP بزرگتر از ۳۰، معمولاً دارای pH بزرگتر از ۴/۵ خواهد بود و احتمال تولید توسط آن‌ها پایین است. در صورتی که NAG pH ≤ ۴/۵ باشد، خطر تولید زهاب اسیدی وجود دارد.



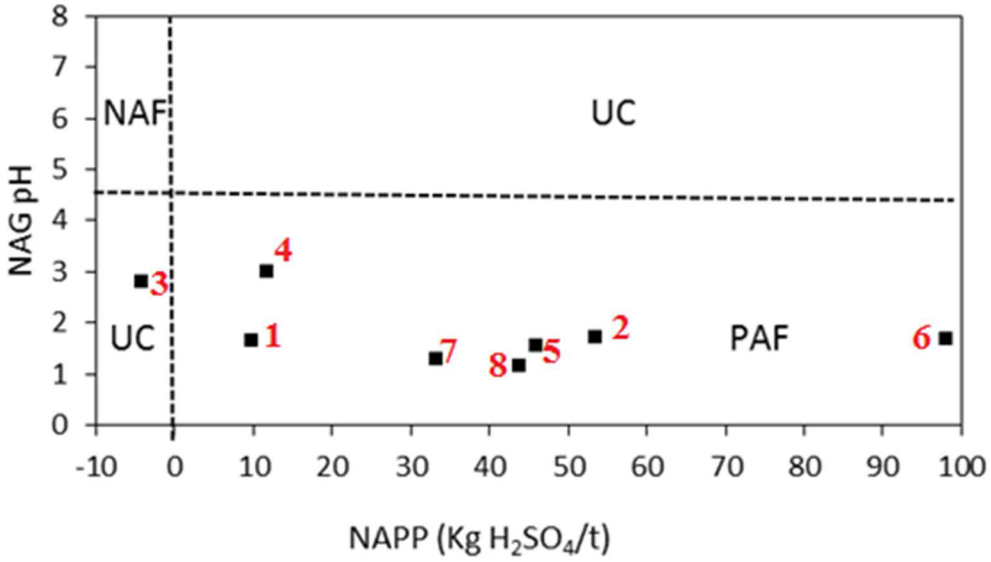
شکل ۴-۱۰- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NNP و NAG pH (Plante *et al.*, 2012).

شکل ۴-۱۰- نشان می‌دهد که نمونه های شماره ۲، ۵، ۶، ۷ و ۸ دارای NAG pH ≤ ۴/۵ و دارای NNP منفی بوده و بنابراین دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند، در صورتی که نمونه‌های شماره ۱، ۳ و ۴ دارای NNP مثبت و کمتر از۲۰ بوده در نتیجه در این باطله‌ها احتمال تولید زهاب اسیدی نامشخص است. نمونه‌های ۴ و ۱ به خط تعادل نزدیک هستند و احتمال هوازدگی و تولید زهاب آنها بیشتر از نمونه ۳ می‌باشد.

۴-۵-۶- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP) و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG-pH)

این نمودار توسط (Research Institute, 2002) ارائه شده است و نشان می دهد، که بر اساس نمودار NAPP در مقابل NAG pH (شکل۴-۱۱)، باطله‌ها در یکی از سه گروه NAF (غیر تولیدکننده اسید)، PAF (احتمال تشکیل اسید) و UC (نامشخص) قرار می‌گیرند (Smart *et al*., 2002).

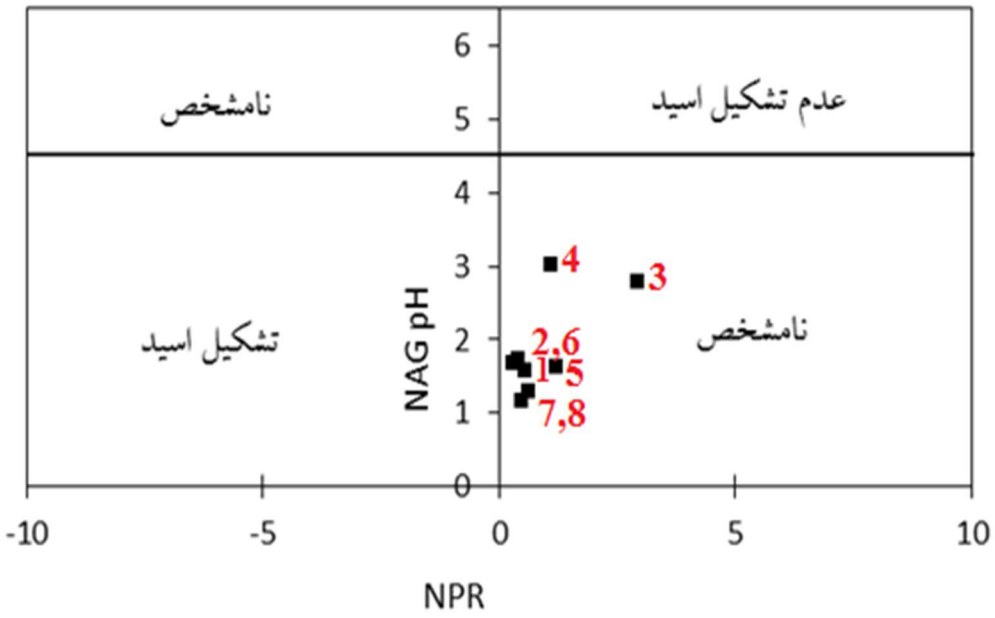
شکل ۴-۱۱ نشان می‌دهد که نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، ۷ و ۸ در رده PAF (احتمال تشکیل اسید)، و نمونه شماره ۳ در رده NAF (عدم تولید اسید)، قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۱۱- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NAPP و NAG pH (Research Institute, 2002).

۴-۵-۷- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس نسبت NPR (NPR=NP/MPA) و NAG pH

این نمودار توسط (Plante *et al*., 2012) ارائه شده است و نشان می دهد، اگر NAG pH کمتر از ۴/۵ باشد، نمونه به احتمال زیاد دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشد. اگر NAG pH- بیشتر از ۴/۵ باشد، نمونه به احتمال زیاد اسیدی تولید نمی‌کند (Plante *et al*., 2012)

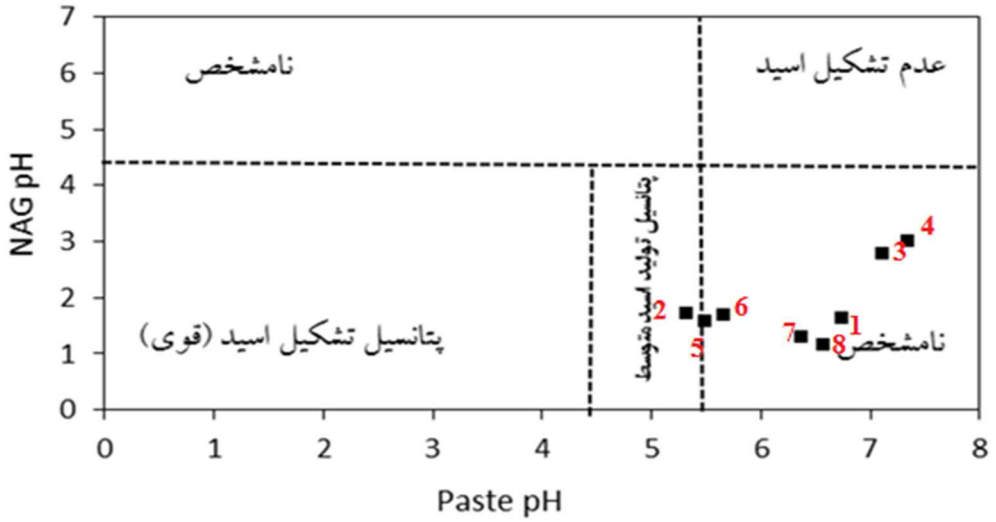


شکل ۴-۱۲- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس نسبت NPR و NAG pH (Plante *et al*., 2012).

در شکل ۴-۱۲- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در رده‌بندی ژئوشیمیایی NAG pH در مقابل نسبت NPR نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴-۲۰، تمام نمونه‌ها پتانسیل تولید اسید آن‌ها نامشخص می‌باشد.

۴-۵-۸- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG pH)

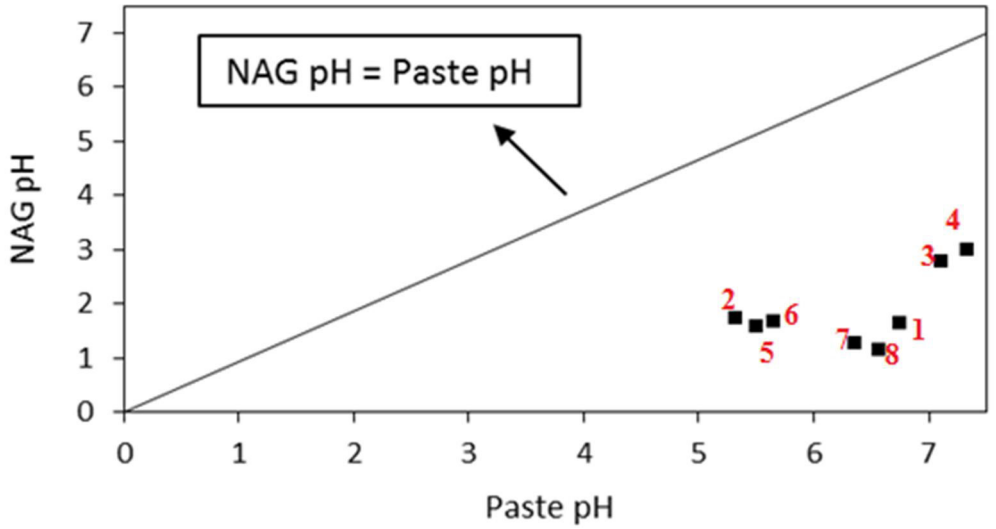
این نمودار توسط (Plante *et al*., 2012) ارائه شده است و نشان می دهد، که بر اساس شکل ۴-۱۳، نمونه‌های شماره ۱، ۳ ، ۴، ۵ و، ۶ و ۸ دارای پتانسیل تولید اسید نامشخص می‌باشند، ولی نمونه‌های شماره ۲ و ۵ دارای پتانسیل تشکیل اسید متوسط می‌باشند. نمونه شماره ۶ نزدیک به خط پتانسیل تولید اسید است.



شکل ۴-۱۳- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH **گل اشباع و** NAG pH (Plante et al., 2012).

۴-۵-۹- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG pH).

این نمودار توسط (Plante et al., 2012) ارائه شده است و نشان می دهد، که به طور کلی می‌توان این نتیجه را گرفت که نمونه‌هایی که pH > NAG pH گل اشباع باشد، کمتر هوازده شده و احتمال تولید زهاب اسیدی در آن‌ها کم است (Plante *et al.*, 2012).



شکل ۴-۱۴- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH (Plante et al., 2012)

همچنین نمونه‌هایی که pH > ۵/۵ گل اشباع است و در سمت راست خط قرار می‌گیرند، به نظر می‌رسد محتوای سولفید آن‌ها پایین است یا به طور کامل هوازده نشده‌اند یا هوازدگی در مراحل اولیه است (Plante *et al*., 2012). هرچه نمونه‌ها به خط تعادل نزدیکتر باشند، بیشتر هوازده شده و احتمال تولید زهاب اسیدی توسط نمونه بیشتر است.

بر اساس این نمودار تمام نمونه‌ها از خط تعادل دورتر هستند و pH گل اشباع آن‌ها بیشتر از NAG pH می‌باشد، بنابراین احتمال تولید اسید در تمام نمونه‌ها خیلی کم می‌باشد.

۴-۶- مشاهده‌های صحرایی

اندازه‌گیری pH رواناب‌های خروجی از باطله‌های تولید شده در حوضه های برناکی و رزمجا در منطقه معدنی طزره (شکل-۴-۱۵- و -۴-۱۶-) نشان داد که pH در حدود ۴/۵ تا ۵ است، بنابراین احتمال پتانسیل زهاب توسط باطله های تولید شده در این مناطق نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است.

شکل-۴-۱۵- اندازه‌گیری pH رواناب خارج شده از باطله استخراج تولید شده در حوضه برناکی

شکل-۴-۱۶- اندازه‌گیری pH در رواناب خارج شده از باطله های استخراج تولید شده در حوضه رزمجا غربی

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری

استخراج ماده معدنی زغال‌سنگ دارای اثرات زیست محیطی متعددی می‌باشد، و تولید زهاب اسیدی معدن یکی از مهم‌ترین این اثرات محسوب می‌شود. باطله‌های حاصل از معدنکاری زغال‌سنگ حاوی کانی‌های سولفیدی مانند پیریت می‌باشند. بنابراین قرار گرفتن این باطله‌ها در مجاورت اکسیژن جوّ و ریزش‌های جوّی، می‌تواند باعث تشکیل زهاب‌های اسیدی شود. آب باران با ورود به درون باطله‌ها، انجام واکنش‌های شیمیایی را تسهیل می‌کند و با هیدرولیز آهن و تبدیل Fe^{2+} به Fe^{3+}، باعث تولید اسید می‌شوند.

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله‌های معدن زغال‌سنگ طزره البرز-شرقی می‌باشد. به این منظور پس از برداشت نمونه‌های معرف، غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه-ها اندازه‌گیری شد. همچنین کانی‌شناسی باطله‌ها با مطالعات میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفت. سپس به وسیله انجام تست‌های استاتیک، باطله‌ها از لحاظ تولید یا عدم تولید زهاب اسیدی، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد.

۵-۱-۱- باطله‌هایی که فاقد احتمال پتانسیل تولید زهاب اسیدی هستند

باطله‌های شماره ۳ و ۴ احتمالاً زهاب اسیدی تولید نمی‌کنند، زیرا pH گل اشباع آن‌ها بیشتر از ۴ و همچنین در این باطله‌ها NNP > +20، NAPP منفی است. در نمونه باطله شماره ۳، NPR>۱، و نسبت ANC/MPA>1 می‌باشد. نمونه‌های ۴ و۳ دارای بالاترین نسبت ANC/MPA به بقیه نمونه-ها می‌باشند. نتایج آنالیز XRF **نشان می‌دهد که** این باطله‌ها دارای کم‌ترین درصد گوگرد نسبت به بقیه باطله‌ها هستند. در مطالعات میکروسکوپی نیز مشخص شد که مقدار پیریت این باطله‌ها بسیارکم است. ظرفیت خنثی‌سازی نمونه باطله شماره ۳، از سایرنمونه‌ها بیش‌تر می‌باشد. غلظت عناصر بالقوه سمی آرسنیک و سرب در این دو نمونه باطله (شماره ۴و۳) بسیار کم است.

۵-۱-۲- باطله‌هایی که احتمال پتانسیل تولید زهاب اسیدی دارا هستند

در نمونه‌های باطله شماره ۶ و ۲، نسبت NPR از سایر نمونه ها کمتر و MPA، AP، NAG و NAPP بیش‌تری از سایر باطله‌ها است به همین دلیل احتمال پتانسیل تولید زهاب اسیدی این دو نمونه از بقیه بیش‌تر است.

در باطله‌های قدیمی‌تر نسبت به باطله‌های جدید، غلظت فلزات سنگین بالاتر می‌باشد وکانی‌های پیریت بیش‌تری حضور دارند که اگر اکسید شوند، زهاب اسیدی تولید می‌کنند.

اندازه‌گیری صحرایی pH در رواناب‌های خارج شده از باطله های حوضه‌های برناکی و رزمجا در منطقه معدنی طزره نشان دهنده اسیدی بودن pH (در حدود ۴/۵ تا ۵) است که نشان می‌دهد این مناطق احتمال پتانسیل زهاب بیشتری را نسبت به سایر مناطق دارا می‌باشند. همچنین در منطقه رزمجا غربی روانابهای خارج شده از تونل، بوی بسیار نامطبوع و زننده‌ای دارد و مقدار TDS روانابها تا ۲۴ گرم بر لیتر نیز می‌رسد. این در حالی است که آب های خروجی از تونل مادر، دارای کیفیت مناسبی هستند و مقدار TDS آنها نیز ۱ تا ۲ گرم بر لیتر است. بنابراین احتمال تولید اسید در منطقه رزمجا بیشتر از سایر مناطق و احتمال تولید اسید در منطقه تونل مادر کمتر از سایر مناطق است. این شواهد صحرایی، نتایج آنالیزهای استاتیک و کانی شناسی به دست آمده در این پژوهش را مورد تأیید قرار می‌دهد.

۵-۲- پیشنهادهای مدیریتی برای جلوگیری از تولید زهاب اسیدی

برای کاهش اثرات زیست‌محیطی باطله‌های معدن طزره، می‌توان اقدامات زیر انجام را انجام داد:

۱- افزودن مواد قلیایی مانند آهک به باطله‌ها

۲- افزودن خاک اره به باطله‌ها

۳- ایجاد کانال زهکشی در کف بستر دپوها و انتقال زهاب به حوضچه‌های حاوی مواد جاذب آهکی

۴- پاکسازی با روش‌های کارآمد و باصرفه اقتصادی مانند گیاه پالایی

۵- دپو کردن باطله‌ها دور از مسیر آب‌های سطحی و سیلاب‌ها و اقداماتی در جهت مهار سیلاب

۶- استفاده از باطله‌ها در مصارف گوناگون مانند تولید آجر سبک

۵-۳- پیشنهادها

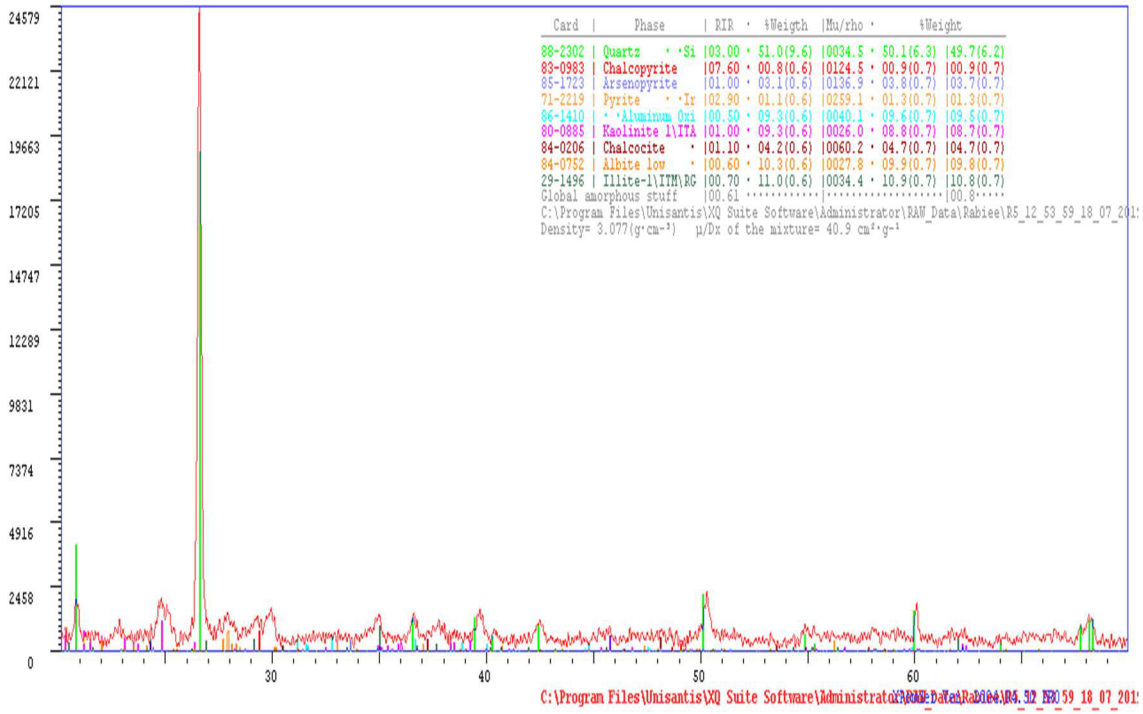
۱- انجام آزمایش‌های سینتیک

۲- انجام آزمایش استخراج ترتیبی

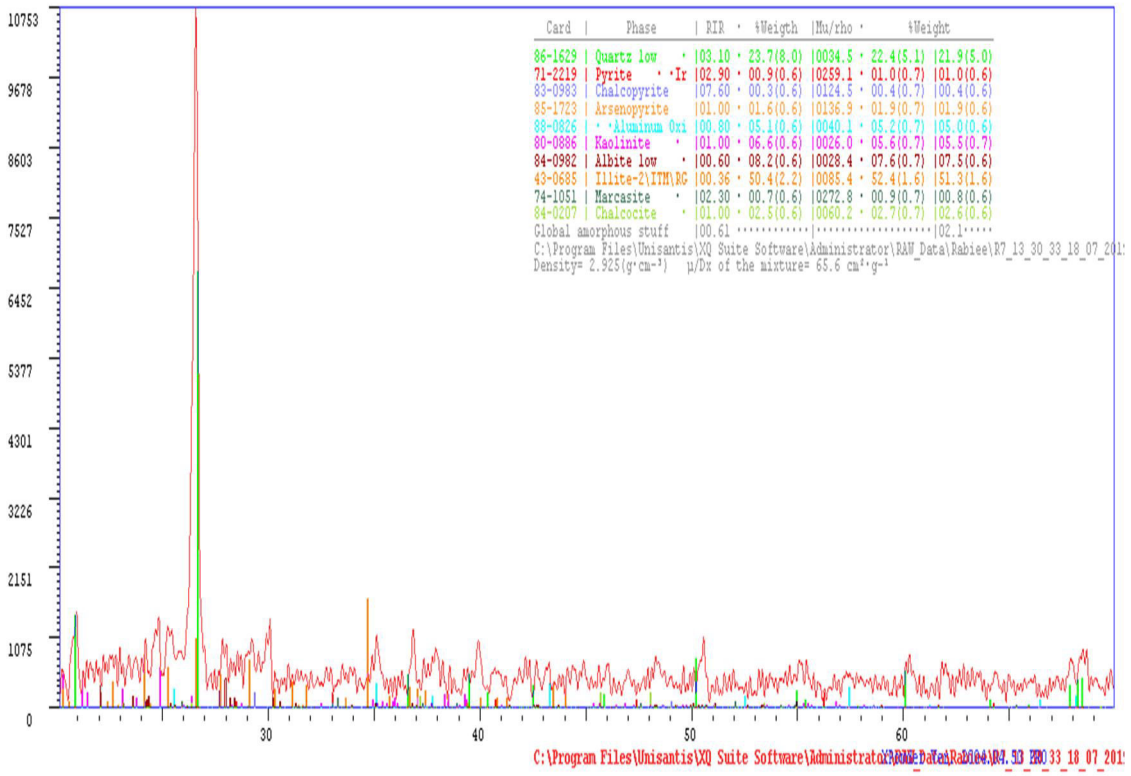
۳- انجام آزمایش ICP-MS[1] برای آگاهی کامل از عناصر موجود در زغال‌سنگ

1 - Inductively Coupled Plasma-MassSpectrometry

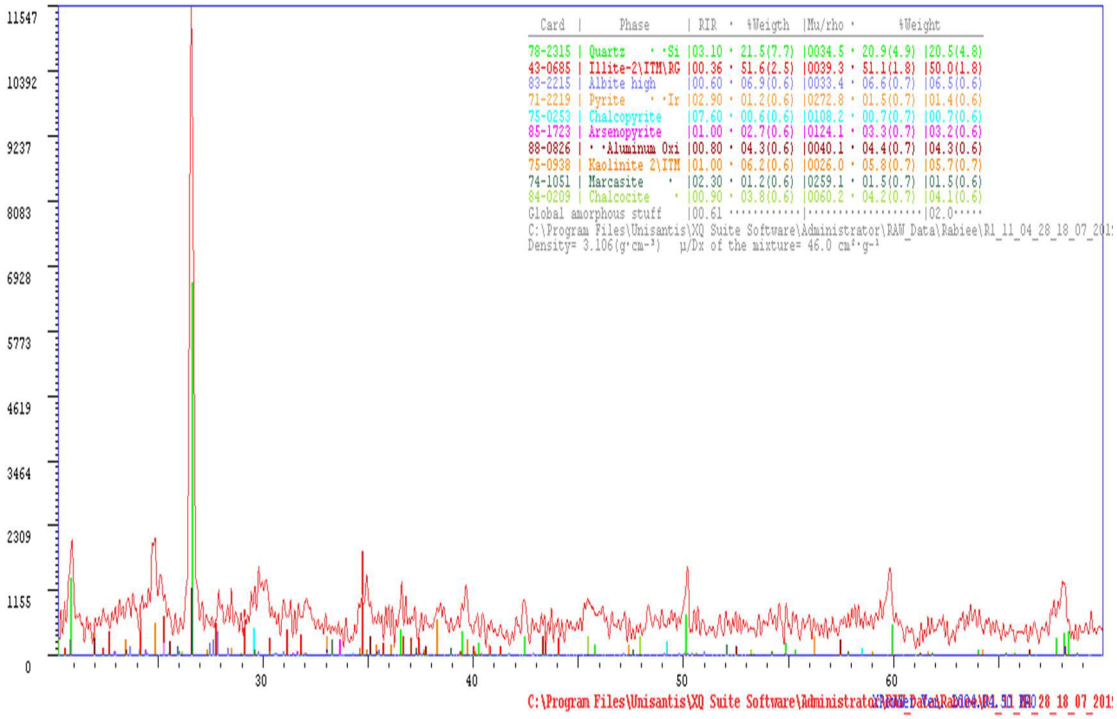
پیوست ۱



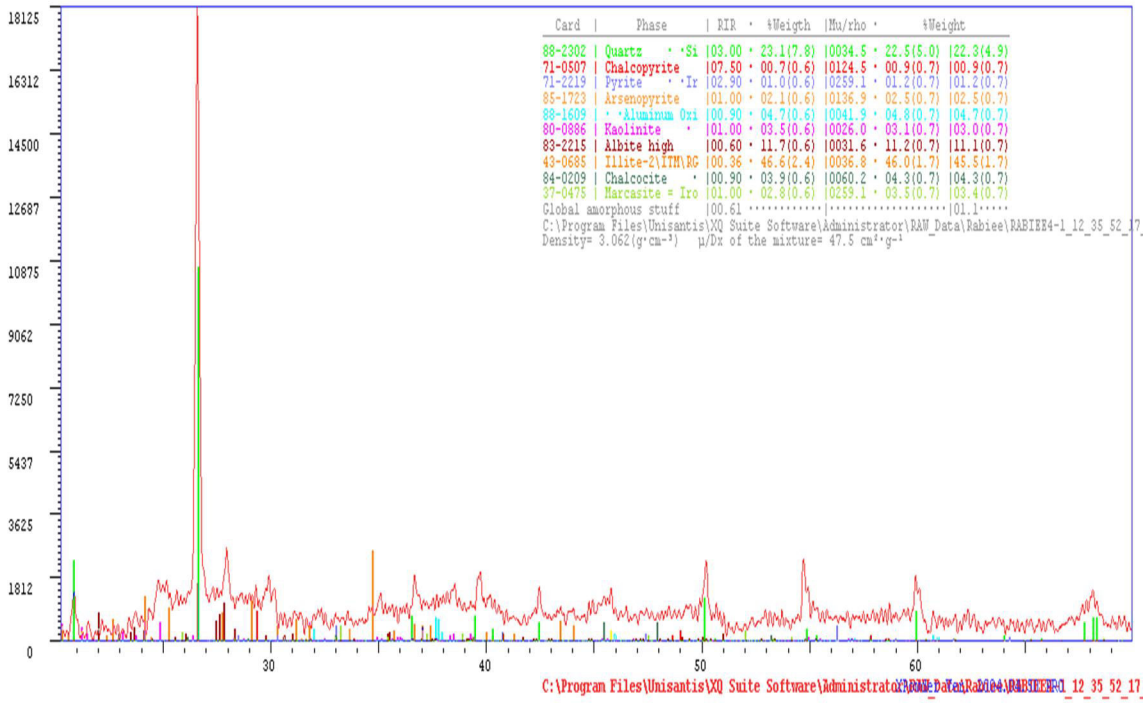
طیف ۱



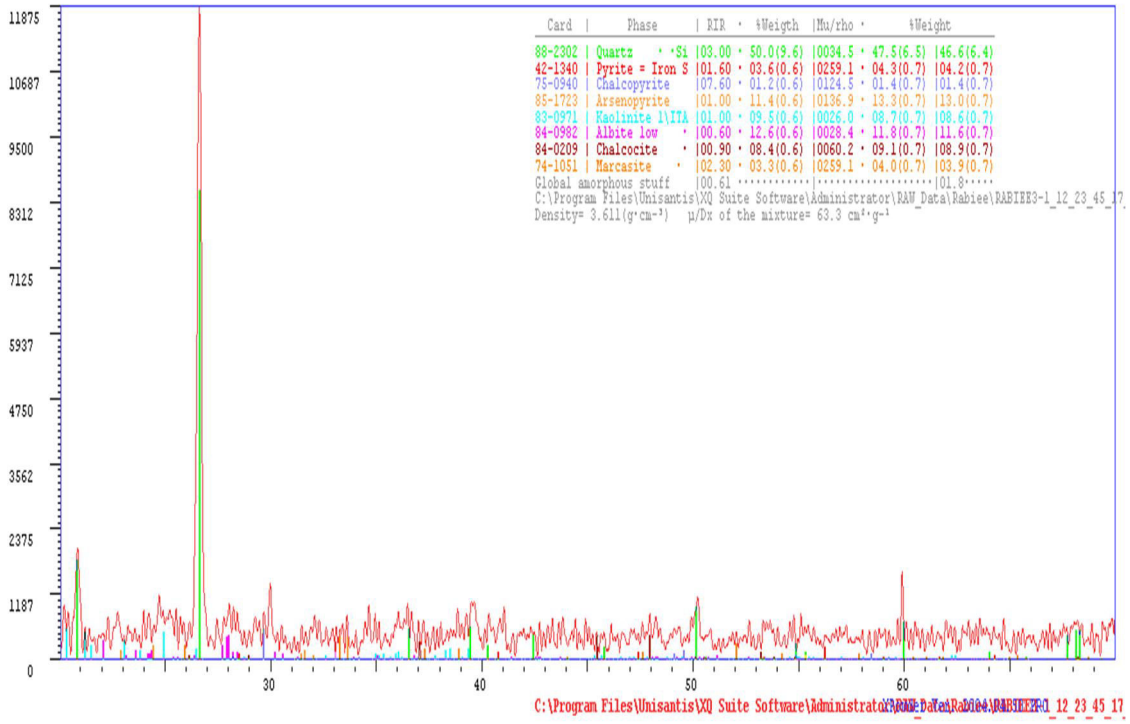
طیف ۲


Card | Phase | RIR | %Weigth | Mu/rho | %Weight
78-2315 | Quartz | 03.10 | 21.5(7.7) | 0034.5 | 20.9(4.9) | 20.5(4.8)
43-0685 | Illite-2\ITM\RG | 00.36 | 51.6(2.5) | 0039.3 | 51.1(1.8) | 50.0(1.8)
83-2215 | Albite high | 00.60 | 06.9(0.6) | 0033.4 | 06.6(0.7) | 06.5(0.6)
71-2219 | Pyrite | 02.90 | 01.2(0.6) | 0272.8 | 01.5(0.7) | 01.4(0.6)
75-0253 | Chalcopyrite | 07.60 | 00.6(0.6) | 0108.2 | 00.7(0.7) | 00.7(0.6)
85-1723 | Arsenopyrite | 01.00 | 02.7(0.6) | 0124.1 | 03.3(0.7) | 03.2(0.6)
88-0826 | Aluminum Oxi | 00.80 | 04.3(0.6) | 0040.1 | 04.4(0.7) | 04.3(0.6)
75-0938 | Kaolinite 2\ITM | 01.00 | 06.2(0.6) | 0026.0 | 05.8(0.7) | 05.7(0.7)
74-1051 | Marcasite | 02.30 | 01.2(0.6) | 0259.1 | 01.5(0.7) | 01.5(0.6)
84-0209 | Chalcocite | 00.90 | 03.8(0.6) | 0060.2 | 04.2(0.7) | 04.1(0.6)
Global amorphous stuff | 00.61 | 02.0
Density= 3.106(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 46.0 cm²·g⁻¹
11547
10392
9237
8083
6928
5773
4619
3464
2309
1155
0
30
40
50
60

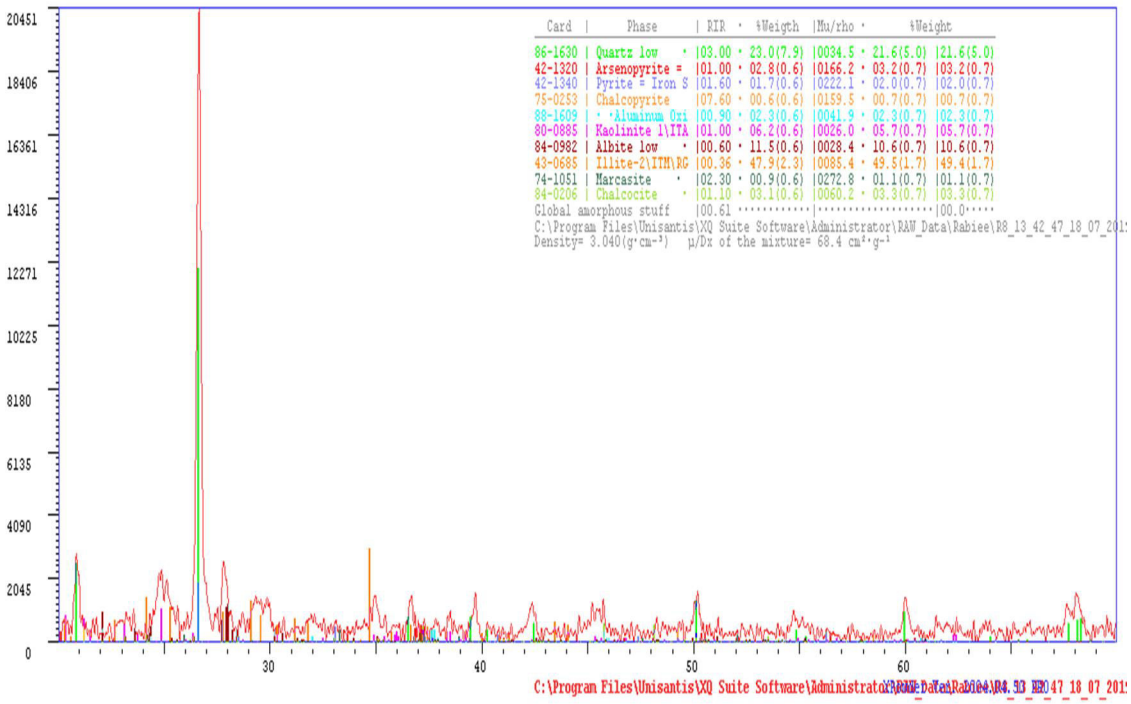
طیف ۳


Card | Phase | RIR | %Weigth | Mu/rho | %Weight
88-2302 | Quartz | 03.00 | 23.1(7.8) | 0034.5 | 22.5(5.0) | 22.3(4.9)
71-0507 | Chalcopyrite | 07.50 | 00.7(0.6) | 0124.5 | 00.9(0.7) | 00.9(0.7)
71-2219 | Pyrite | 02.90 | 01.0(0.6) | 0259.1 | 01.2(0.7) | 01.2(0.7)
85-1723 | Arsenopyrite | 01.00 | 02.1(0.6) | 0136.9 | 02.5(0.7) | 02.5(0.7)
88-1609 | Aluminum Oxi | 00.90 | 04.7(0.6) | 0041.9 | 04.8(0.7) | 04.7(0.7)
80-0886 | Kaolinite | 01.00 | 03.5(0.6) | 0026.0 | 03.1(0.7) | 03.0(0.7)
83-2215 | Albite high | 00.60 | 11.7(0.6) | 0031.6 | 11.2(0.7) | 11.1(0.7)
43-0685 | Illite-2\ITM\RG | 00.36 | 46.6(2.4) | 0036.8 | 46.0(1.7) | 45.5(1.7)
84-0209 | Chalcocite | 00.90 | 03.9(0.6) | 0060.2 | 04.3(0.7) | 04.3(0.7)
37-0475 | Marcasite = Iro | 01.00 | 02.8(0.6) | 0259.1 | 03.5(0.7) | 03.4(0.7)
Global amorphous stuff | 00.61 | 01.1
Density= 3.062(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 47.5 cm²·g⁻¹
18125
16312
14500
12687
10875
9062
7250
5437
3625
1812
0
30
40
50
60

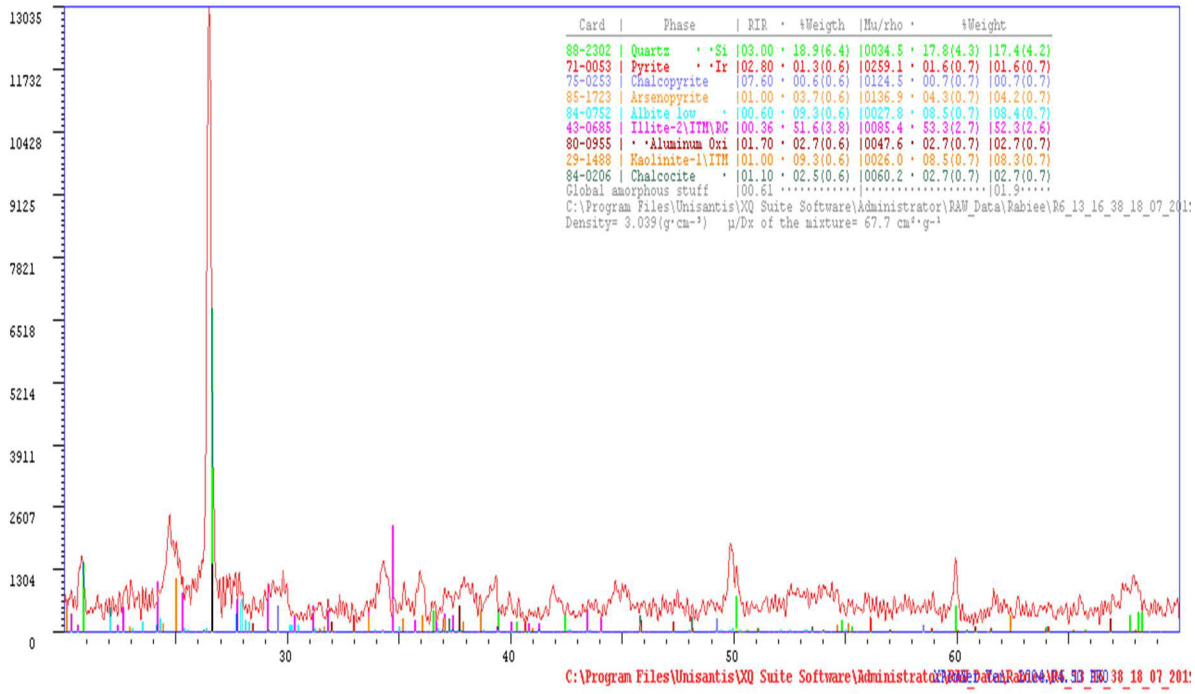
طیف ۴


Card | Phase | RIR | %Weigth | Mu/rho | %Weight
88-2302 | Quartz | Si | 03.00 | 50.0(9.6) | 0034.5 | 47.5(6.5) | 46.6(6.4)
42-1340 | Pyrite = Iron S | 01.60 | 03.6(0.6) | 0259.1 | 04.3(0.7) | 04.2(0.7)
75-0940 | Chalcopyrite | 07.60 | 01.2(0.6) | 0124.5 | 01.4(0.7) | 01.4(0.7)
85-1723 | Arsenopyrite | 01.00 | 11.4(0.6) | 0136.9 | 13.3(0.7) | 13.0(0.7)
83-0971 | Kaolinite 1\ITA | 01.00 | 09.5(0.6) | 0026.0 | 08.7(0.7) | 08.6(0.7)
84-0982 | Albite low | 00.60 | 12.6(0.6) | 0028.4 | 11.8(0.7) | 11.6(0.7)
84-0209 | Chalcocite | 00.90 | 08.4(0.6) | 0060.2 | 09.1(0.7) | 08.9(0.7)
74-1051 | Marcasite | 02.30 | 03.3(0.6) | 0259.1 | 04.0(0.7) | 03.9(0.7)
Global amorphous stuff | 00.61 | 01.8
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator\RAW_Data\Rabiee\RABIEE3-1_12_23_45_17
Density= 3.611(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 63.3 cm²·g⁻¹
11875
10687
9500
8312
7125
5937
4750
3562
2375
1187
0
30
40
50
60
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator

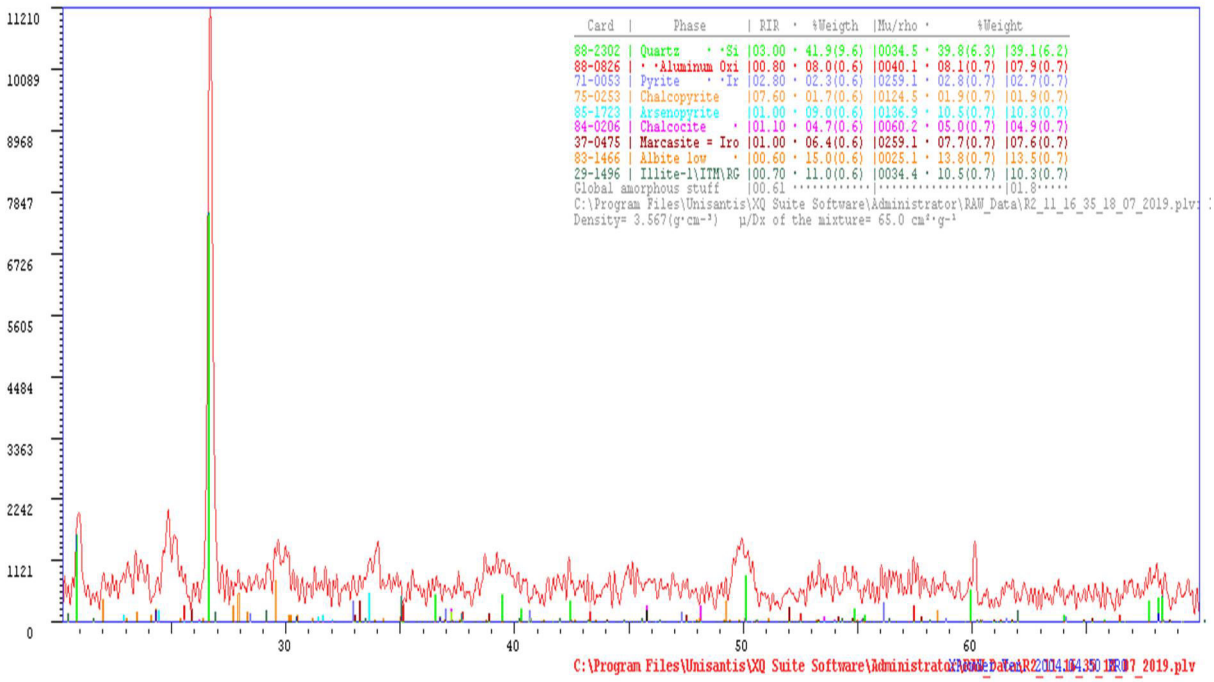
طیف ۵


Card | Phase | RIR | %Weigth | Mu/rho | %Weight
86-1630 | Quartz low | 03.00 | 23.0(7.9) | 0034.5 | 21.6(5.0) | 21.6(5.0)
42-1320 | Arsenopyrite = | 01.00 | 02.8(0.6) | 0166.2 | 03.2(0.7) | 03.2(0.7)
42-1340 | Pyrite = Iron S | 01.60 | 01.7(0.6) | 0222.1 | 02.0(0.7) | 02.0(0.7)
75-0253 | Chalcopyrite | 07.60 | 00.6(0.6) | 0159.5 | 00.7(0.7) | 00.7(0.7)
88-1609 | Aluminum Oxi | 00.90 | 02.3(0.6) | 0041.9 | 02.3(0.7) | 02.3(0.7)
80-0885 | Kaolinite 1\ITA | 01.00 | 06.2(0.6) | 0026.0 | 05.7(0.7) | 05.7(0.7)
84-0982 | Albite low | 00.60 | 11.5(0.6) | 0028.4 | 10.6(0.7) | 10.6(0.7)
43-0685 | Illite-2\ITM\RG | 00.36 | 47.9(2.3) | 0085.4 | 49.5(1.7) | 49.4(1.7)
74-1051 | Marcasite | 02.30 | 00.9(0.6) | 0272.8 | 01.1(0.7) | 01.1(0.7)
84-0206 | Chalcocite | 01.10 | 03.1(0.6) | 0060.2 | 03.3(0.7) | 03.3(0.7)
Global amorphous stuff | 00.61 | 00.0
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator\RAW_Data\Rabiee\R8_13_42_47_18_07_201
Density= 3.040(g·cm⁻³) μ/Dx of the mixture= 68.4 cm²·g⁻¹
20451
18406
16361
14316
12271
10225
8180
6135
4090
2045
0
30
40
50
60
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator

طیف ۶


Card | Phase | RIR | %Weigth | Mu/rho | %Weight
88-2302 | Quartz | Si | 03.00 | 18.9(6.4) | 0034.5 | 17.8(4.3) | 17.4(4.2)
71-0053 | Pyrite | Ir | 02.80 | 01.3(0.6) | 0259.1 | 01.6(0.7) | 01.6(0.7)
75-0253 | Chalcopyrite | 07.60 | 00.6(0.6) | 0124.5 | 00.7(0.7) | 00.7(0.7)
85-1723 | Arsenopyrite | 01.00 | 03.7(0.6) | 0136.9 | 04.3(0.7) | 04.2(0.7)
84-0752 | Albite low | 00.60 | 09.3(0.6) | 0027.8 | 08.5(0.7) | 08.4(0.7)
43-0685 | Illite-2\ITM\RG | 00.36 | 51.6(3.8) | 0085.4 | 53.3(2.7) | 52.3(2.6)
80-0955 | Aluminum Oxi | 01.70 | 02.7(0.6) | 0047.6 | 02.7(0.7) | 02.7(0.7)
29-1488 | Kaolinite-1\ITM | 01.00 | 09.3(0.6) | 0026.0 | 08.5(0.7) | 08.3(0.7)
84-0206 | Chalcocite | 01.10 | 02.5(0.6) | 0060.2 | 02.7(0.7) | 02.7(0.7)
Global amorphous stuff | 00.61 | 01.9
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator\RAW_Data\Rabiee\R6_13_16_38_18_07_201
Density= 3.039(g·cm-3) μ/Dx of the mixture= 67.7 cm²·g-1
13035
11732
10428
9125
7821
6518
5214
3911
2607
1304
0
30
40
50
60
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator

طیف ۷


Card | Phase | RIR | %Weigth | Mu/rho | %Weight
88-2302 | Quartz | Si | 03.00 | 41.9(9.6) | 0034.5 | 39.8(6.3) | 39.1(6.2)
88-0826 | Aluminum Oxi | 00.80 | 08.0(0.6) | 0040.1 | 08.1(0.7) | 07.9(0.7)
71-0053 | Pyrite | Ir | 02.80 | 02.3(0.6) | 0259.1 | 02.8(0.7) | 02.7(0.7)
75-0253 | Chalcopyrite | 07.60 | 01.7(0.6) | 0124.5 | 01.9(0.7) | 01.9(0.7)
85-1723 | Arsenopyrite | 01.00 | 09.0(0.6) | 0136.9 | 10.5(0.7) | 10.3(0.7)
84-0206 | Chalcocite | 01.10 | 04.7(0.6) | 0060.2 | 05.0(0.7) | 04.9(0.7)
37-0475 | Marcasite = Iro | 01.00 | 06.4(0.6) | 0259.1 | 07.7(0.7) | 07.6(0.7)
83-1466 | Albite low | 00.60 | 15.0(0.6) | 0025.1 | 13.8(0.7) | 13.5(0.7)
29-1496 | Illite-1\ITM\RG | 00.70 | 11.0(0.6) | 0034.4 | 10.5(0.7) | 10.3(0.7)
Global amorphous stuff | 00.61 | 01.8
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator\RAW_Data\R2_11_16_35_18_07_2019.plv
Density= 3.567(g·cm-3) μ/Dx of the mixture= 65.0 cm²·g-1
11210
10089
8968
7847
6726
5605
4484
3363
2242
1121
0
30
40
50
60
C:\Program Files\Unisantis\XQ Suite Software\Administrator

طیف ۸

منابع:

اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات و کلاریز ۱۳۵۲ " آرشیو بخش اکتشافات شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی".

رحیمی م، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد" ارزیابی غلظت فلزات سنگین در منابع آب و خاک مجموعه معدنی طزره (مجموعه تونل مادر) " دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۵. مرکز آماری ایران.

سهرابی م، قادری م، سالاری‌راد م.م، (۱۳۸۳)، "بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی از باطله های کارخانه زغالشویی البرز شرقی با استفاده از آزمایش ABA اصلاح شده" کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص۱۶، شاهرود.

علیزاده ا. (۱۳۸۰). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ ۱۳.

گزارش شرکت فنی مهندسی معدن کاوان بیستون، ۱۳۸۸. "مطالعه باطله‌های کارخانه‌های زغال‌شویی کشور با هدف تعیین موارد کاربرد صنعتی آن‌ها". مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران – یزد.

محمدی ن، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد" بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های کارخانه زغالشویی مهماندوست، شمال شرق دامغان" دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

یزدی، م.، "زغال‌سنگ از منشأ تا اثرات زیست محیطی آن‌ها" انتشارات جهاد دانشگاهی واحد امیرکبیر (۱۳۸۲).

Adam, K., Kourtis, A., Gazea, B., Kontopoulos, A., 1997. “Evaluation of static tests used to predict the potential for acid drainage generation at sulfide mine sites”. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. section A, mining industry 106, A1–A8.

Akabzaa, M., Armah, T., Yakubo B., 2006. “Prediction of acid mine drainage generation potential in selected mines in the Ashanti Metallogenic Belt using static geochemical methods”. Environ Geology 52:957–964

Akcil A., Koldas S., 2006. “Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies”. Journal of Cleaner Production 14, 1139-1145.

Banerjee, D., 2014. “Acid drainage potential from coal mine wastes environmental assessment through static and kinetic tests”. Int. J. Environ. Sci. Technol. 11, 1365–1378.

Barrie Johnson D., Hallberg K.B.,2005. “Acid mine drainage remediation options: a review”. Science of the Total Environment 338 3– 14.

Benzaazoua, M., Bussiere, B., Kongolo, M., McLaughlin, J., Marion, P., 2000. “Environmental desulphurization of four Canadian mine tailings using froth flotation”. International Journal of Mineral Processing 60, 57–74.

Chon H. T., Hwang Ji-Ho, 2000. “Geochemical characteristics of the acid mine drainage the water system in the vicinity of the dogye coal mine in korea”. Environmental Geochemistry and Health 22, 155–172.

Day, S.J., 1991. “New methods for determination of key mineral species in acid generation prediction by acid base accounting”. MEND, Ottawa, Ontario. MEND report 1.16.1c.

Dold B., 2017. “Acid rock drainage prediction: A critical review”. Journal of Geochemical Exploration 172, 120–132.

Doulati Ardejani F., Jodeiri Shokri B., Bagheri M., Soleimani E., 2010. “Investigation of pyrite oxidation and acid mine drainage characterization associated with Razi active coal mine and coal washing waste dumps in the Azad shahr–Ramian region, northeast Iran”. Environmental Earth Sciences 61.8, 1547–1560.

Erguler, K.G., Erguler A., B., Akcakoca H., Ucar A., C. 2014. “The effect of column dimensions and particle size on the results of kinetic column test used for acid prediction”. minedrainage. MineralsEngineering55, 18–29

Goodarzi F., Sanei H., Stasiuk L.D., Bagheri-Sadeghi H., Reyes J., 2006. “A preliminary study of mineralogy and geochemistry of four coal samples from northern Iran”. International Journal of Coal Geology 65, 35– 50.

Gray N. F., 1997. “Environmental impact and remediation of acid mine drainage: a management problem”. Environmental Geology 30, 62-71.

Hezarkhani, A. 2006. “Hydrothermal evolution of the Sar- Cheshmeh porphyry Cu‑Mo deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions”. Journal of Asian Earth Sciences, 28, 409‑422.

Hughes, J.B., Craw, D., Peake, B., Lindsay, P., Weber, P.A., 2006. “Environmental characterization of coal mine waste rock in the field: an example from New Zealand”. Environ. Geol. 52, 1501–1509.

Ian Wark Research Institute 2002. ARD test handbook. AMIRA P387A Project; “prediction and kinetic control of acid mine drainage”. Melbourne: AMIRA International. section A initial ARD screening Tools, A2–A7.

Jambor J.L., Dutrizac J.E., Raudsepp M., 2006. “Measured and computed neutralization potentials from static tests of diverse rock types”. Environ Geol 52:1173–1185

Jambor J.L., Dutrizac J.E., Groat L.A., Raudsepp M.., 2002. “Static tests of neutralization potentials of silicate and aluminosilicate minerals”. Environmental Geology 43:1–17.

Jambor, J. L. 2003. “Mine-waste mineralogy and mineralogical perspectives of acid-base accounting. In J. L. Jambor, D. W. Blowes, & A. I. M. Ritchie (Eds.) Environmental aspects of mine wastes”. Short Course Series,Mineralogical Association of Canada. 31, pp. 117–145.

Jodeiri Shokri, B., Ramazi, H. R., Doulati Ardejani, F., 2015. "Environmental Geochemistry and Acid Mine Drainage Evaluation of an Abandoned Coal Waste Pile at the Alborz- Sharghi Coal Washing Plant, NE Iran". International Association for Mathematical Geosciences. 33, 256–265.

Johnson D. B., Hallberg K. B., 2005. "Acid mine drainage remediation options: a review", Science of the Total Environment 338, 3– 14.

Katupotha J., 1989. "Pyrite Concentration and paleoenvironmental change of the Hiroshima Delta (Japan)", The Korean Journal of Quaternary Reaserch, Vol 3, No 1., 47-54

Kim J. J., Kim S. J. 2004. "Seasonal factors controlling mineral precipitation in the acid mine drainage at Donghae coal mine, Korea". Science of the Total Environment 325, 181–191.

Kleinmann, R. L. P. 2000. "Prediction of water quality at surface coal mines. Morgantown: The National Mine Land Reclamation Center". West Virginia University. pp 241.

Lapakko K., Lawrence R.W., 1993. "Modification Of The Net Acid Production (NAP) Test". Proceedings of the 17 Th Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium in Port Hardy, BC, 1993.

Lapakko, K.A., Engstrom, J.N., Antonson, D.A., 2006. "Effects of particle size on drainage quality from three lithologies". International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), Montana, US.2006

Lawrence, R. W., & Wang, Y. 1997. "Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage Proceedings from the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage". Vancouver pp. 451–464.

Lawrence, R.W., Wang, Y., 1996. “Determination of neutralizing potential for acid rock drainage prediction”. Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa, Canada. , MEND/NEDEM Report 1.16.3.

Lee G., Bigham J. M., Faur G., 2002. “Removal of trace metals by coprecipitation with Fe, Al and Mn from natural waters contaminated with acid mine drainage in the Ducktown Mining District, Tennessee”. Applied Geochemistry 17, 569–581.

Lei, L., Song, C., Xie, X., Li, Y., & Wang, F., 2010. “Acid mine drainage and heavy metal contamination in groundwater of metal sulfide mine at arid territory”. (BS mine, Western Australia). Transactions of Nonferrous Metal Society of China, 20, 1488–1493.

Lei, L., Watkins, R., 2005. “Acid drainage reassessment of mining tailings, Black Swan Nickel Mine, Kalgoorlie, Western Australia”. Appl Geochem. 20, 661–667.

Liu D., Yang Q., Tang D., Kang X., Huang W., 2000. “Geochemistry of sulfur and elements in coals from the Antaibao surface mine, Pingshuo, Shanxi Province, China”, International Journal of Coal Geology 46,. 51–64.

Lopez I. C., Ward C. R., 2008. “Composition and mode of occurrence of mineral matter in some Colombian coals”. International Journal of Coal Geology 73, 3–18.

Lottermoser B. G, 2010. “Mine Waste, Characterization, Treatment and invironmental and impact”. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. 31-82.

Miller, R., 1994. “Hardrock Bureau, Montana Department of State Lands, Montana, Personal Communication with Laurie Lamb”. SAIC, August 23, 1994.

Miller, S., Robertson, A., & Donahue, T. 1997. “Advances in acid drainage prediction using the Net Acid Generation (NAG) Test. Proceedings from the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage”. Vancouver, BC (pp. 533–549).

Miller, S., Robertson, A., & Donahue, T. 1997. “Advances in acid drainage prediction using the Net Acid Generation(NAG) test”. In Proceedings fourth International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, pp. 533‑549.

Modabberi, S., Alizadegan, A., Mirnejad, H., Esmaeilzadeh E., 2013. “Prediction of AMD generation potential in mining waste piles, in the Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Iran”. EnvironmentalMonitoring and Assessment, 185, 9077–9087.

Mohammadi Z., Modabberi S., Jafari M.R., Sadat Ajayebi K., 2015. “Comparison of different staticmethods for assessment of AMD generation potential inmining waste dumps in the Muteh Gold Mines, Iran”. Environ Monit Assess 187: 374.

Moore F., Esmaeili A., 2012. “Mineralogy and geochemistry of the coals from the Karmozd and Kiasar coal mines, Mazandaran province, Iran”. International Journal of Coal Geology 96-97, 9–21.

Nordstrom D. K., Alpers C. N., 1999. “Geochemistry of acid mine waters”, Chapter 6, In the environmental geochemistry of mineral deposite.

Ouangrawa, M., Aubertin, M., Molson, J. W., Bussiere, B., Zagury, G. J., 2010. “Preventing acid mine drainage with an elevated water table: long-term column experiments and parameter analysis”. Water, Air, and Soil Pollution, 213, 437–458.

Paktunc, A.D., 1999. “Mineralogical constraints on the determination of neutralization potential and prediction of acid mine drainage”. Environmental Geology 39 (2), 103–112.

Parbhakar-Fox, A., Lottermoser, B., Bradshaw, D., 2013. “Evaluating waste rock mineralogy and microtexture during kinetic testing for improved acid rock drainage prediction Miner”. Eng. 52, 111–124.

Parbhakar-Fox, A., Lottermoser, B.G., 2015. “A critical review of acid rock drainage prediction methods and practices. Miner. Eng. 82, 107–124.Nordstrom, D.K., 2000. Advances in the hydrogeochemistry and microbiology of acid mine waters”. Int. Geol. Rev. 42, 499–515.

Philip L. Hageman A., Robert R., Sealb Sharon F., Diehl a., Nadine M., Piatak, B., Heather A., Lowers, A. 2015. “Evaluation of selected static methods used to estimate

element mobility, acid-generating and acid-neutralizing potentials associated with geologically diverse mining wastes". Applied Geochemistry 57, 125–139.

Pinetown K. L., Ward Colin R., van der Westhuizen W. A., 2007. "Quantitative evaluation of minerals in coal deposits in the Witbank and Highveld Coalfields, and the potential impact on acid mine drainage", International Journal of Coal Geology 70, 166–183.

Plante, B., Bussière M., Benzaazoua B., 2012. "Static tests response on 5 Canadian hard rock mine tailings with low net acid-generating potentials". Journal of Geochemical Exploration 114, 57–69.

Plante, B., Benzaazoua, M., Bussière, B., 2011. "Kinetic testing and sorption studies by modified weathering cells to characterize the potential to generate contaminated neutral drainage". Mine Water and the Environment 30, 22–37.

Ravengai S., Owen R., Love D., 2004. "Evaluation of seepage and acid generation potential from evaporation ponds, Iron Duke Pyrite Mine, Mazowe Valley, Zimbabwe", Physics and Chemistry of the Earth 29, 1129–1134.

Richard N. Lindsay C., Clemens H., 2001 "Acid generating potential of waste rock and coal ash in New Zealand coal mines". International Journal of Coal Geology 45, 163–179

Richard W. Lawrence, Michael Scheske., 1997 "A method to calculate the neutralization potential of mining wastes ". Environmental Geology 32 (2)

Robertson, A. MacG., Broughton, L.M., 1992. "Reliability of acid rock drainage testing". Workshop on U.S. EPA Specifications for Tests to Predict Acid Generation from Non-Coal Mining Wastes, Las Vegas, Nevada, July 30–31.

Rose A. W., Cravotta C. A., 1999. "Geochemistry of coal mine drainage. In: Coal mine drainage prediction and pollution prevention in pennsylvania". The pennsylvania department of environmental protection, 1-22.

Sanchez Espana J., Lopez Pamo E., Santofimia E., Aduvire O., Reyes J., Barettino D., 2005. "Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva,

SW Spain): Geochemistry, mineralogy and environmental implications", Applied Geochemistry 20, 1320–1356.

Saria L., Shimaoka T., Miyawaki K., 2007. "Leaching of heavy metals in acid mine drainage". Waste Manag Res 24: 134.

Sobek, A. A., Schuller, W. A., Freeman, J. R., Smith, R M., 1978. "Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils". Cincinnati, US Environmental. Rep. EPA-600/z-78-054.

Sobek, A.A., Bambenek, M.A., Meyer, D., 1982. "Modified Soxhlet Extractor for pedologic studies".Soil Science Society of American Journal 46, 1340–1342.

Stromberg, B., Banwart, S., 1999. "Weathering kinetics of waste rock from the Aitik copper mine, Sweden: scale dependent rate factors and pH controls in large column experiments". Journal of Contaminant Hydrology 39, 59–89. Survey Open-File Report 2007-1063, 38.

Teichmuller, M., 1989. "The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. In: P.C. Lyons and B. Alperu (Editors), Peat and Coal: Origin, Facies, and Depositional Models". Int. J. Coal Geol., 12: 1-87.

Valent T. M., Gomes C. L., 2009. "Occurrence, properties and pollution potential of environmental minerals in acid mine drainage". Science of the total Environmental 407, 1135- 1152.

Valent T. M., Gomes C. L., 2009. "Occurrence, properties and pollution potential of environmental minerals in acid mine drainage". Science of the total Environmental 407, 1135- 1152.

Verburg, R., Bezuidenhout, N., Chatwin, T., Ferguson, K., 2009. "The global acid rock drainage guide (GARD guide)". Mine Water Environ. 28, 305–310.

Weber, P.A., Hughes J.B., Conner L.B., Lindsay, P., Smart, R., 2006. "Short-term acid rock drainage characteristics determined by paste ph and kinetic NAG testing: Cypress

prospect, New Zealand". In: Barnhisel R.I. (Ed.), Proceedings of 7th ICARD, St Louis, pp. 2289–2295.

White III, W.W., Lapakko, K.A., Cox, R.L., 1999. "Static-test methods most commonly used to predict acid-mine drainage: Practical guidelines for use and interpretation". In: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J. (Eds.), The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A. Processes, Techniques, and Health Issues, Reviews in Economic Geology, vol. 6A. Society of Economic Geologists Inc., pp. 325–338.

Widodo S., Oschmann W., Bechtel A., Sachsenhofer R. F., Anggayana K., Puettmann W., 2010. "Distribution of sulfur and pyrite in coal seams from Kutai Basin (East Kalimantan, Indonesia): Implications for paleoenvironmental conditions". International Journal of Coal Geology 81.3: 151-162.

Widodo S., Oschmann W., Bechtel A., Sachsenhofer R. F., Anggayana K., Puettmann W., 2010. "Distribution of sulfur and pyrite in coal seams from Kutai Basin (East Kalimantan, Indonesia): Implications for paleoenvironmental conditions". International Journal of Coal Geology 81.3: 151-162.

Zhuang X., Querol X., Alastory A., Plana F., Moreno N., Andres J. M., Wang J., "Mineralogy and geochemistry of the coals from the Chongquing and Southeast Hubi Coal mining district South China". International Journal of Coal Geology 71 (2007) 263.

Zilberchmidt M., Shpirt M., Komnitsas K., Paspaliaris I., 2004. "Feasibility of thermal treatment of high sulfur coal wastes". Minerals Engineering 17, 175–182.

Abstract

The Tazareh Coal Mine is located 45 km northeast of Damghan City. The objective of this study was to investigate the mineralogical and geochemical characteristics of spoils produced in Tazareh coal mine, and to evaluate the potential of the waste materials to produce acid mine drainage. For this purpose, 8 representative waste samples were collected. To achieve the purposes of the study, polish sections were prepared and studied. Indeed, X-ray diffraction (XRD) analysis, X-ray fluorescence analysis (XRF) and static experiments performed on the samples. Mineralogical studies indicate the presence of pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, chalcosite, marcassite, albite, kaolinite and quartz in the studied samples. Pyrite minerals are present as angular, spherical, and framboidic aggregates, or as filling the fissure. The studied samples are not enriched with respect to Mn, Fe and Cd elements, whereas they are significantly enriched with Ni, Cr, Cu and are highly enriched with As. The highest concentration of elements was observed in sample no. 6. According to the results of static tests, the pH of saturated mud was more than 4 and the electrical conductivity of saturated mud of 6 samples was more than 2000 µS/cm. According to static test results, only samples no. 6 and 2 have acid production potential. Field observations confirm this conclusion. The obtained results in this study show the necessity of environmental management in the Tazareh mine district.

Key Words: Acid Mine Drainage, Static Tests, Mining Wastes, Coal, Tazareh, Toxic Elements

.

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

Evaluating the Potential of Acid Mine Drainage Produgeneration by Spoils of Tezereh Mine, Northeast Damghan

By: Ebrahim Rabiee

Supervisor

Dr. Giti Forghani Tehrani

September 2019