

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله های کارخانه زغالشویی مهماندوست، شمال

شرق دامغان

نگارنده: نجمه محمدی

استاد راهنما

دکتر گیتی فرقانی تهرانی

استاد مشاور

دکتر افشین قشلاقی

شهریور ۱۳۹۶

شماره: ۱۲۷۸۸  
تاریخ: ۹۶/۷/۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد حاتم نجمه محمدی با شماره دانشجویی ۹۳۱۵۴۶۴ رشته زمین شناسی گرایش زیست محصلی تحت عنوان بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله های کارخانه زغالشویی مهماندوست، شمال شرق دامغان که در تاریخ ۹۶/۶/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی همدان، گزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ..... ۱۰۰ درجه  مردود   
نوع تحقیق: نظری  عملی

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر کیی فرغانی تهرانی	۱- استاد راهنمای اول
			۲- استاد راهنمای دوم
	استادیار	دکتر افشین قشلاقی	۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر مهدی رضایی کپخانی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر غلامحسین...	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر رحیم باقری	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۷/۱

توضیح: 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).

## خداوندا

به ماتوفیق تلاش در سگت، صبر در نومی، رفتن بی همراه، جهاد بی سلاح، کار بی پاداش، فداکاری در سکوت، دین بی

دنیا، مذهب بی عوام، عظمت بی نام، خدمت بی نان، ایمان بی ریا، خوبی بی نمود، کسختی بی حامی، مناعت بی غرور،

عشق بی هوس، تنهایی در انبوه جمعیت و دوست داشتن بی آنکه دوست بدانند راعنایت فرما.

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ما را به جان خریدند و خود را سپهرهای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به

جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

تقدیم به خواهر عزیزم و همسر گرامیش

که سایه مهربانشان سایه سازند که می باشد، آنان که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمودند.

شکر و قدردانی

حمد و سپاس آن خدایی که به ما عقل داد و از طریق عقل به ما علم آموخت. خداوند سبحان را حمد گویم که جز او معبودی نیست و تمام ستایش با مخصوص اوست. درود خالصی را که به من توفیق داد تا در زمره پیوندگان علم و معرفت باشم، باشد که این مجموعه هر چند ناخیز، قطره ای بردیای بی کران علم بیفزاید. در این راه خود را مدیون اساتید کرامت‌داری می‌دانم که علم و اخلاق را به من آموختند. از زحمات بی دریغ و خالصانه اساتید کرامت‌دارم سرکار خانم دکتر کیتی فرقانی تهرانی و جناب آقای دکتر افشین قشلاقی که راه‌نمایی و مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند و باره‌نمایی و مساعدت‌های ارزنده خود در تمامی مراحل انجام این پژوهش و سوزنازه‌میرایی نمودند، به پاس محبت‌های بی‌دینشان که هرگز فروکش نمی‌کند، تشکر و قدردانی می‌نمایم و بی‌شک انجام این تحقیق بدون راه‌نمایی‌های این دو بزرگوار که در طی مسیر میرایی نمودند، میسر نبود. از اساتید محترم جناب آقای دکتر غلامحسین کریمی و دکتر رحیم باقری که داوران این پایان نامه را بر عهده گرفتند، قدردانی می‌نمایم و همچنین از اجناب آقای دکتر امید و دکتر جعفری نیز کمال تشکر را دارم. از بھکاری و مساعدت، بخش‌اكتشافات شرکت زغال سنگ البرز شرفی، که با د اختیار قرار دادن داده‌ها و نقشه‌های مورد نیاز، اجناب را در انجام این تحقیق کمک و یاری کردند، تقدیر و تشکر می‌نمایم. از مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران که هزینه آنالیزهای این پایان نامه را بر عهده گرفتند، سپاسگذارم. در نهایت از دوستان عزیزم به جهت مساعدت و بھکاری در انجام این پروژه کمال تشکر را دارم.

نجمه محمدی

شهریور ۱۳۹۶

## تعهدنامه

اینجانب **نجمه محمدی** دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان **بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های کارخانه زغالشویی مهماندوست، شمال شرق دامغان** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده 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 هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو:

### مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه

## چکیده

زهاب اسیدی معدن یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی و از مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده محیط زیست می‌باشد که بر اثر اکسایش کانی‌های سولفیدی در باطله‌های معادن به ویژه زغال‌سنگ تولید می‌شود. در این پژوهش پتانسیل تولید اسید باطله‌های تولید شده توسط کارخانه زغال‌شویی مهماندوست واقع در ۲۴ کیلومتری شمال شرق شهرستان دامغان مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور پس از انجام مطالعات میدانی و برداشت نمونه‌های معرف، بر اساس مطالعات کانی‌شناسی و آزمایش‌های استاتیک (اندازه‌گیری pH و EC گل اشباع، ارزیابی تولید یا مصرف اسید و محاسبه اسید-باز) صورت گرفت. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که باطله‌های زغال‌شویی نسبت به عناصر مس و منگنز بدون غنی‌شدگی، نسبت به کبالت دارای غنی‌شدگی اندک، 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. کانی‌های موجود در باطله‌ها شامل کوارتز، موسکویت، کلینوکلر، کائولینیت، ایلیت، مونت‌موریلونیت و کلسیت می‌باشد. باطله‌های شماره ۳ و ۷ به دلیل اینکه pH گل اشباع آن‌ها بیشتر از ۴ و هدایت الکتریکی گل اشباع آن‌ها بیشتر از ۲۰۰۰ است و همچنین در این باطله‌ها پتانسیل خنثی‌سازی خالص بزرگتر از ۲۰+، پتانسیل تولید اسید خالص منفی، نسبت پتانسیل خالص بزرگتر از ۳، pH تشکیل اسید خالص بزرگتر از ۴/۵ و نسبت ظرفیت خنثی‌سازی اسید به حداکثر پتانسیل تولید اسید بزرگتر از یک می‌باشد، زهای اسیدی تولید نمی‌کنند. در باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، به دلیل اینکه pH گل اشباع کم‌تر از ۳ و هدایت الکتریکی گل اشباع بیش‌تر از ۲۰۰۰، پتانسیل خنثی‌سازی خالص بیشتر از ۲۰+، پتانسیل تولید اسید خالص بیشتر منفی، نسبت پتانسیل خالص کم‌تر از ۳، pH تشکیل اسید خالص کم‌تر از ۴/۵ و نسبت ظرفیت خنثی‌سازی اسید به حداکثر پتانسیل تولید اسید کم‌تر از یک است، احتمال تولید زهاب اسیدی بالاست.

کلمات کلیدی: زهاب اسیدی معدن، باطله‌ها، مهماندوست، شمال شرقی دامغان

## مقاله‌های برگرفته از پایان‌نامه:

۱- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های زغال‌سنگ، سومین کنگره ملی زغال‌سنگ

ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۱۳۹۵

۲- بررسی اثرات زیست‌محیطی باطله‌های زغال‌سنگ. سومین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران، دانشگاه

صنعتی شاهرود، شهریور ۱۳۹۵



## فهرست

صفحه	عنوان
ز.....	چکیده.....
ح.....	مقاله‌های برگرفته از پایان‌نامه.....
م.....	فهرست شکل‌ها.....
۱.....	فصل اول: کلیات.....
۲.....	۱-۱- مقدمه، بیان مسأله و ضرورت انجام پژوهش.....
۳.....	۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه.....
۵.....	۱-۳-۱- دما.....
۵.....	۱-۳-۱- بارندگی.....
۵.....	۱-۳-۳- تبخیر.....
۶.....	۱-۴- پوشش گیاهی.....
۷.....	۱-۵- منابع آب سطحی.....
۷.....	۱-۶- منابع آب زیرزمینی.....
۸.....	۱-۷- زمین‌شناسی منطقه.....
۹.....	۱-۷-۱- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه.....
۱۱.....	۱-۸- شرح مختصر فعالیت کارخانه زغالشویی مهماندوست.....
۱۴.....	۱-۹- روش انجام تحقیق.....

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین.....	۱۵
۱-۲- مقدمه.....	۱۶
۲-۲- نحوه تشکیل زغالسنگ و اجزای اصلی آن.....	۱۶
۳-۲- چشم انداز صنعت زغال در ایران.....	۱۷
۴-۲- اهمیت مطالعات بافتی و کانی شناسی.....	۱۸
۵-۲- اثرات زیست محیطی باطله های زغالسنگ.....	۱۹
۶-۲- روش ارزیابی تولید زهاب اسیدی معدن.....	۲۰
۷-۲- مروری بر مطالعات پیشین.....	۲۳
فصل سوم: روش انجام تحقیق.....	۲۷
۱-۳- مقدمه.....	۲۸
۲-۳- نمونه برداری و آماده سازی نمونه.....	۲۸
۳-۳- مطالعات بافتی و کانی شناسی.....	۳۲
۱-۳-۳- آنالیز پراش پرتو ایکس.....	۳۳
۲-۳-۳- تهیه مقاطع صیقلی.....	۳۳
۴-۳- تجزیه شیمیایی نمونه ها.....	۳۳
۱-۴-۳- محاسبه ضریب غنی شدگی عناصر بالقوه سمی در نمونه های باطله.....	۳۴
۵-۳- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی.....	۳۵
۱-۵-۳- اندازه گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع.....	۳۶
۲-۵-۳- ارزیابی تولید یا مصرف اسید (روش آمریکای شمالی).....	۳۷

۳۸	.....(MPA) محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید
۳۸	.....(ANC) آزمون ظرفیت خنثی‌سازی اسید
۳۹	.....(NAPP) محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص
۴۰	.....آزمونهای استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز
۴۰	.....(AP) محاسبه پتانسیل تولید اسید
۴۰	.....(NP) آزمون پتانسیل خنثی‌سازی نمونه
۴۲	.....(NNP) پتانسیل خنثی‌سازی خالص
۴۳	.....(NAG) آزمون تشکیل اسید خاص
۴۶	.....(NAP) آزمون تولید اسید خاص
۴۷	..... فصل چهارم: نتایج و بحث
۴۸	.....۱-۴- مقدمه
۴۸	.....۲-۴- ترکیب ژئوشیمیایی باطله‌ها
۵۲	.....۳-۴- مطالعات بافتی و کانی‌شناسی
۵۲	.....۱-۳-۴- مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی
۵۶	.....۲-۳-۴- بررسی ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های زغالشویی
۵۹	.....۴-۴- ارزیابی پتانسیل تولید اسید توسط روش‌های استاتیک
۵۹	.....۱-۴-۴- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله‌ها با استفاده از pH و EC گل اشباع
۶۱	.....۲-۴-۴- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای روش آمریکای شمالی
۶۲	.....۳-۴-۴- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای روش استرالیا-اقیانوسیه

- ۴-۴-۴- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای آزمون تشکیل اسید خالص ..... ۶۴
- ۴-۵-۴- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی با استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی ..... ۶۶
- ۴-۵-۱- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و NNP ..... ۶۶
- ۴-۵-۲- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس NNP و pH NAG ..... ۶۶
- ۴-۵-۳- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و pH NAG ..... ۶۷
- ۴-۵-۴- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس NAPP و pH NAG ..... ۶۸
- ۴-۵-۵- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس نسبت NPR و pH NAG ..... ۶۹
- ۴-۵-۶- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و pH NAG ..... ۷۰
- ۴-۵-۷- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس درصد کل گوگرد و ANC ..... ۷۱
- ۷۳ ..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....
- ۷۴ ..... ۱-۵- نتیجه‌گیری.....
- ۷۶ ..... ۲-۵- پیشنهادها.....
- ۷۷ ..... منابع:

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به کارخانه زغالشویی مهماندوست ..... ۴
- شکل ۲-۱- نقشه زمینشناسی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۰
- شکل ۳-۱- نمایی از کارخانه زغالشویی مهماندوست ..... ۱۱
- شکل ۱-۳- نمایی از باطله‌های درشتدانه سطحی دپو شده در اطراف کارخانه ..... ۳۰
- شکل ۲-۳- نمایی از باطله‌های ریزدانه قدیمی دپو شده در اطراف کارخانه ..... ۳۰
- شکل ۳-۳- نمایی از باطله‌های ریزدانه جدید دپو شده در اطراف کارخانه ..... ۳۱
- شکل ۴-۳- محل نمونه‌های معرف برداشت شده ..... ۳۲
- شکل ۵-۳- نمایی از قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب ..... ۴۵
- شکل ۶-۳- فیلتر کردن نمونه ..... ۴۵
- شکل ۱-۴- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت در نمونه درشتدانه سطحی ..... ۵۲
- شکل ۲-۴- تصاویر میکروسکوپی حضور پیریت در نمونه ریزدانه قدیمی ..... ۵۳
- شکل ۳-۴- تصاویر میکروسکوپی از پیریت‌های بیشکل و نیمه‌شکلدار ..... ۵۴
- شکل ۴-۴- تصاویر میکروسکوپی تجمعات پیریت فرامبوئیدی ..... ۵۵
- شکل ۵-۴- نمودار پراش اشعه X باطله درشتدانه سطحی شماره ۱ ..... ۵۷
- شکل ۶-۴- نمودار پراش اشعه X باطله درشتدانه سطحی شماره ۲ ..... ۵۷
- شکل ۷-۴- نمودار پراش اشعه X باطله درشتدانه سطحی شماره ۳ ..... ۵۷
- شکل ۸-۴- نمودار پراش اشعه X باطله درشتدانه سطحی شماره ۴ ..... ۵۷

- شکل ۴-۱۰ - نمودار پراش اشعه X باطله ریزدانه قدیم شماره ۶ ..... ۵۸
- شکل ۴-۹ - نمودار پراش اشعه X باطله درشتدانه عمقی شماره ۵ ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۱ - نمودار پراش اشعه X باطله ریزدانه جدید. شماره ۷ ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۳ - نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NNP و NAG pH ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۴ - نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۵ - نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NAPP و NAG pH ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۶ - نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس نسبت NPR و NAG pH ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۷ - نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۸ - نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس درصد کل گوگرد و ANC ..... ۷۲

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱	۶
جدول ۱-۳- شماره، توصیف و موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده	۲۹
جدول ۲-۳- رده‌بندی مقادیر غنی‌شدگی	۳۵
جدول ۳-۳- حجم و نرمالیت‌ه اسید کلریدریک مورد استفاده بر اساس آزمایش فیز	۴۱
جدول ۱-۴- نتایج تجزیه شیمیایی باطله‌ها به روش XRF	۴۹
جدول ۲-۴- غلظت عناصر اصلی و جزئی در نمونه‌های باطله مورد مطالعه	۵۰
جدول ۳-۴- ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های باطله	۵۱
جدول ۴-۴- نتایج اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC)	۶۰
جدول ۵-۴- پارامترهای آزمون ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)	۶۱
جدول ۶-۴- نتایج ارزیابی تولید (MPA) یا مصرف اسید (ANC)	۶۲
جدول ۷-۴- نتایج آزمون پتانسیل خنثی‌سازی (NP)	۶۳
جدول ۸-۴- نتایج آزمایش‌های استاتیکی ABA	۶۳
جدول ۹-۴- نتایج آزمون تشکیل اسید خاص (NAG)	۶۵
جدول ۱۰-۴- نتایج آزمون تولید اسید خالص (NAP)	۶۵





# فصل اول

## کلیات

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

زغال سنگ از مهم ترین سوخت های فسیلی می باشد که دارای مصارف گوناگون صنعتی و خانگی بوده و به عنوان دومین سوخت فسیلی پس از نفت، از اهمیت بالایی برخوردار است. تاریخچه اکتشاف و استخراج زغال سنگ به بیش از ۲۰۰۰ سال پیش می رسد. بیش ترین مصرف زغال سنگ در تولید انرژی و صنایع فولاد می باشد. از قرن ۱۹ میلادی زغال سنگ به عنوان منبع انرژی ارزان قیمت مورد استفاده گسترده قرار گرفته است، اما امروزه با پیشرفت علم علاوه بر تولید انرژی، از آن در تولید گاز و الکتریسیته نیز استفاده می شود. در حال حاضر ۲۵ درصد از انرژی کل جهان از زغال سنگ تأمین می شود.

زغال سنگ استخراج شده از معادن به دلیل داشتن عناصر مزاحم، مخصوصاً گوگرد و ترکیبات معدنی نیاز به فرآوری دارد. حضور گوگرد موجب افزایش وزن و کاهش قیمت زغال سنگ شده و از انرژی حرارتی آن می کاهد. بنابراین در کارخانه های زغال شویی جهت خارج کردن ترکیبات زائد، زغال سنگ را تحت عملیات شستشو قرار می دهند. آب حاصل از این عملیات دارای مقدار زیادی مواد معلق، مواد شیمیایی، عناصر سمی و مشتقات نفتی می باشد. باطله های حاصل از فرآیند شستشوی زغال سنگ، در سدهای باطله انباشته می شوند. باطله های حاصل از شستشوی زغال سنگ از مهم ترین منابع تولید زهاب اسیدی معدن<sup>۱</sup> (AMD) می باشد. زهاب اسیدی معدن از مهم ترین مشکلات زیست محیطی مرتبط با معدن کاری و فرآوری مواد معدنی است که اثرات بسیار سوئی بر محیط زیست دارد. زهاب اسیدی از مهم ترین مهم ترین منابع آلاینده آب های زیرزمینی و سطحی می باشد و اثرات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و اکولوژیکی زیست محیطی طولانی مدت بر روی سیستم آبگون، زندگی جانداران و خاک دارد (Ravengai *et al.*, 2014). کنترل تولید زهاب اسیدی و متوقف کردن آن امری غیرممکن است، چرا که واکنش های تولید زهاب اسیدی، واکنش هایی خود-کاتالیزوری هستند و تا زمانی که مواد تولید کننده اسید در باطله ها حضور داشته باشند، تولید زهاب ادامه خواهد داشت (Lottermoser, 2010). از سوی

---

۱-Acid Mine Drainage

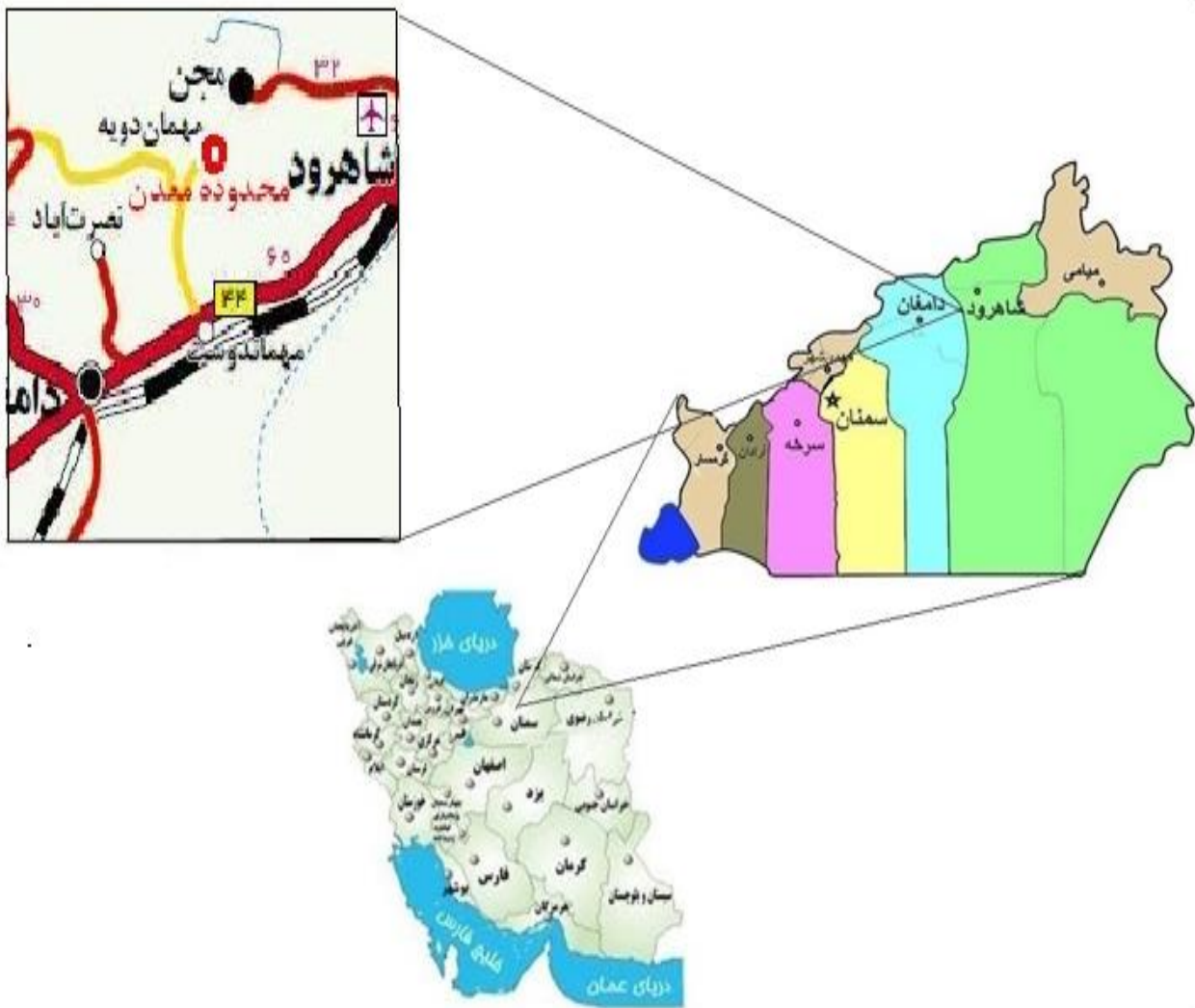
دیگر، خنثی کردن زهاب اسیدی نیز فرآیندی بسیار پرهزینه است. بنابراین پیش‌بینی امکان تولید زهاب اسیدی به عنوان اولین و مهم‌ترین گام در مدیریت تشکیل زهاب اسیدی، از اهمیت زیادی برخوردار است.

هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های کارخانه زغال-شویی البرز شرقی (مهماندوست) می‌باشد. کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی یکی از مهم‌ترین مناطق تولید کنسانتره زغال‌سنگ برای استفاده در صنایع فولاد می‌باشد و در اثر فرآوری این ماده معدنی، مقدار زیادی باطله تولید می‌شود که احتمالاً قادر به تولید زهاب اسیدی می‌باشند. با توجه به انباشت مقدار زیاد باطله در اطراف کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی و احتمال تولید زهاب اسیدی، از یک سو و اثرات سوء زهاب اسیدی بر محیط‌زیست، پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی از این باطله‌ها ضروری می‌باشد.

## ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

کارخانه زغال‌شویی مهماندوست در ۲۴ کیلومتری شمال شرقی شهر دامغان و در مسیر جاده دامغان - شاهرود واقع شده است (شکل ۱-۱). این کارخانه، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار دارد. مراکز مسکونی روستایی مجاور این کارخانه، شامل روستای شهرسازی طزره در ۲ کیلومتری غرب آن و روستای نعیم آباد در ۱۱ کیلومتری جنوب شرقی کارخانه است. نزدیک‌ترین مراکز شهری به کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی، شهر دامغان در فاصله ۲۴ کیلومتری جنوب غربی منطقه و شهر شاهرود در فاصله حدود ۳۵ کیلومتری شمال شرقی منطقه می‌باشند. دو منطقه شکار ممنوع طالو شیربند و تپال به ترتیب در فاصله ۱ کیلومتری غرب و ۱۲ کیلومتری شرق کارخانه قرار دارند. کارخانه زغال‌شویی مهماندوست از سال ۱۳۵۳ تحت نظارت شرکت البرز شرقی فعالیت دارد. ظرفیت سالانه این واحد صنعتی، ۵۰۰ هزار تن زغال‌سنگ خام می‌باشد و راندمان تبدیل زغال‌سنگ خام به کنسانتره واحد نیز

۵۵ درصد پیش‌بینی شده است، بنابراین ظرفیت سالیانه تولید کنسانتره این واحد صنعتی حدود ۲۷۵ هزار تن می‌باشد (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کارخانه زغال‌شویی مهماندوست

### ۱-۳- اقلیم

منطقه مهماندوست، از نظر اقلیمی تحت تأثیر جبهه‌های مدیترانه‌ای که از سمت غرب وارد می‌شوند و همچنین جبهه‌های سیبری که از سمت شمال نفوذ می‌نمایند، قرار دارد و به ندرت تحت پوشش دامنه

تغییرات جریانات عربستان و اقیانوس هند قرار می‌گیرد (گزارش شرکت معادن زغال سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵). باد غالب منطقه دارای جهت شمال شرقی بوده و سرعت متوسط آن ۴/۱ متر بر ثانیه است (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۳). در این قسمت از مطالعات بارندگی، تبخیر و دما، به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های بررسی اقلیم منطقه استفاده شده است.

### ۱-۳-۱- دما

دما یکی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که به همراه حجم آب حاصل از نزولات جوئی خصوصیات کلی یک منطقه را از لحاظ اقلیمی مشخص می‌کند. دمای یک منطقه تحت تأثیر توده‌های هوا، خصوصیات توپوگرافی و دوری یا نزدیکی به منابع آبی وسیع قرار دارد. بر اساس داده‌های موجود، مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دمای سالیانه ایستگاه دامغان ۸/۷، ۲۱/۸ و ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۳).

### ۱-۳-۲- بارندگی

رژیم بارندگی این منطقه از نوع مدیترانه‌ای بوده و از این رو بخش عمده ریزش‌های جوی در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهند و از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهرماه، به عنوان دوره خشک در نظر گرفته می‌شود. بر اساس داده‌های آماری هواشناسی، حداقل، حداکثر و میانگین بارندگی سالانه ایستگاه دامغان به ترتیب ۳۴، ۳۰۸ و ۱۱۶/۶ میلی‌متر می‌باشد (سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۳).

### 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، ۱۳۹۳). بر اساس داده‌های دما و بارش، مقدار I برای منطقه می‌باشد که برابر ۱۹/۱ می‌باشد و بر پایه سیستم طبقه‌بندی دمارتن (رابطه ۱) و (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

رابطه (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.

#### ۱-۴- پوشش گیاهی

اراضی این منطقه از واریزه‌های سنگریزه‌دار و خاک فرسایش یافته و در قسمت‌هایی از خاک‌های عمیق، سنگین و با شوری به نسبت زیاد تشکیل شده است. با توجه به شرایط خاص اقلیمی و آب و هوایی، بارش نامنظم نزولات جوی و نامساعد بودن خاک، پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه فقیر است (گزارش شرکت فنی مهندسی معدن کاوان بیستون، ۱۳۸۸). تراکم پوشش گیاهی در این منطقه عمدتاً

در ارتفاعات و در مواردی در حاشیه و بستر آبراهه‌ها مشاهده می‌شود. در محدوده مورد مطالعه، گونه‌های جنگلی وجود ندارد ولی مهم‌ترین گونه‌های جنگلی موجود در ارتفاعات درختان اورس و زرشک می‌باشد. پوشش گیاهی در منطقه به طور عمده شامل گندمیان و درختچه‌های سازگار با خاک‌های منطقه می‌باشد و در دشت‌های منطقه، علفزار و گراس‌های دائمی و در قسمت‌هایی نیز گیاهانی از خانواده گرامینه و گیاهان شورپسند مشاهده می‌شود. تراکم پوشش گیاهی محدوده مهماندوست، عمدتاً کم تا متوسط و شامل گیاهان مرتعی یکساله است و گونه غالب تیپ‌های مرتعی در منطقه از درمنه و گراس‌ها و گندمیان و بالاخره گیاهانی از خانواده نخودیان مانند گون بیش‌ترین پوشش مراتع را به خود اختصاص داده‌اند.

#### ۱-۵- منابع آب سطحی

منطقه مورد مطالعه از نظر منابع آب سطحی 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 جریان‌های سطحی موجود در منطقه، رودخانه‌های دامغانرود، آستانه، چشمه-علی و مار چشمه می‌باشد. نزدیک‌ترین آنها به منطقه رودخانه مار چشمه است.

#### ۱-۶- منابع آب زیرزمینی

منطقه مهماندوست در حاشیه شمالی حوضه آبخیز دشت کویر و در دشت دامغان واقع شده است. عمق سطح آب در نقاط مختلف این دشت، بین ۵ تا ۱۱۵ متر متغیر 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. دشت دامغان در شمال و شمال غرب از سفره آزاد تشکیل شده و بخشی از آن به سمت جنوب شامل منطقه راه آهن حاجی آباد - زرگرآباد، نشانه‌هایی از سفره آزاد تحت فشار نیز مشاهده می‌شود. به طور کلی آبخوان اصلی دشت از نوع آزاد بوده و تقریباً در سراسر آن آبرفت دانه درشت گسترش یافته است (گزارش شرکت معادن زغال سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵).

#### ۱-۷- زمین‌شناسی منطقه

ناحیه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در قسمت جنوب شرقی رشته کوه‌های البرز واقع شده و ساختمان‌های زمین‌شناسی و سایر ویژگی‌های آن از این رشته کوه‌ها تبعیت می‌نماید. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل ماسه‌سنگ و شیل‌های زغال‌دار سازند شمشک، رسوبات آبرفتی عهد حاضر و پادگان‌های آبرفتی قدیمی حاوی گراول مارنی و کوارتز می‌باشند. مهم‌ترین و فراوان‌ترین ماده معدنی در منطقه، زغال سنگ است که در تناوب‌های شیلی سازند شمشک در سرتاسر منطقه به صورت رگه‌ها و عدسی‌ها گسترش دارد. این زغال‌سنگ‌ها از انواع چرب و کک‌شو هستند و توسط شرکت زغال سنگ البرز شرقی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. رسوبات زغال‌دار منطقه مربوط به دوران تریاس بالایی و ژوراسیک پایینی تا میانی هستند. سازندهای شیلی حاوی زغال سنگ بین دو طبقه آهکی-دولومیتی (سازند الیکا) در قسمت تحتانی و آهک‌های ضخیم (سازند لار) در قسمت فوقانی قرار گرفته است. واحدهای موجود در این منطقه از قدیم به جدید بر اساس شکل ۱-۲ می‌باشد.

قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته در این منطقه شامل طبقات نازک تا متوسط لایه آهکی با میان لایه مارنی، سازند خوش بیلاق به سن دونین (D) است. نهشته‌های پرمین (P) که به طور عمده از ماسه‌سنگ، سنگ آهک، دولومیت و شیل تشکیل شده، بر روی سازند مبارک قرار گرفته و توسط



واحدهای سنگی سازند الیکا با سن تریاس (Tre2) پوشیده شده است. بخش پایینی سازند الیکا با سن تریاس زیرین (PTR) می‌باشد. این نهشته‌ها با رسوبات قاره‌ای سازند شمشک پوشیده شده‌اند که از بیش‌ترین برونزد برخوردار بوده و به طور عمده از ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا تشکیل شده است. سازند شمشک بر مبنای تغییرات رخساره سنگی به سه واحد زیرین (JS3) متشکل از ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل، واحد میانی (Jd) متشکل از شیل، سیلتستون و ماسه‌سنگ و واحد بالایی (J1) متشکل از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل قابل تفکیک است. واحد میانی از نظر وجود لایه‌های زغالی دارای اهمیت می‌باشد. ماسه‌سنگ‌های این منطقه متوسط تا درشت‌دانه بوده و دارای کوارتز فراوان می‌باشند که دارای سن کواترنری (Q) می‌باشند (گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرزشرقی، ۱۳۸۵).

#### ۱-۷-۱- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

به طور کلی این منطقه دارای چین‌خوردگی ملایم می‌باشد. شیب این چین‌خوردگی‌ها در قسمت‌های شمالی بیشتر به سوی شمال بوده و در قسمت‌های جنوبی نظم خاصی دیده نمی‌شود. گسل‌های بنیادی که عامل اصلی کنترل ریخت‌شناسی ناحیه هستند دارای روند عمومی شرقی-شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشند. مهم‌ترین گسل‌های محدوده مورد مطالعه، شامل راندگی شمال دامغان، گسل فشاری جنوب بسطام، گسل فشاری طرزه، گسل فشاری ارمیان، گسل سمنان، گسل دامغان، گسل چشمه علی و گسل قوشه می‌باشد. از نظر وضعیت لرزه‌خیزی، در این منطقه گسل‌های دامغان و گسل چشمه علی مهم‌ترین گسل‌های موجود می‌باشند (شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی، ۱۳۸۵).

# Legend

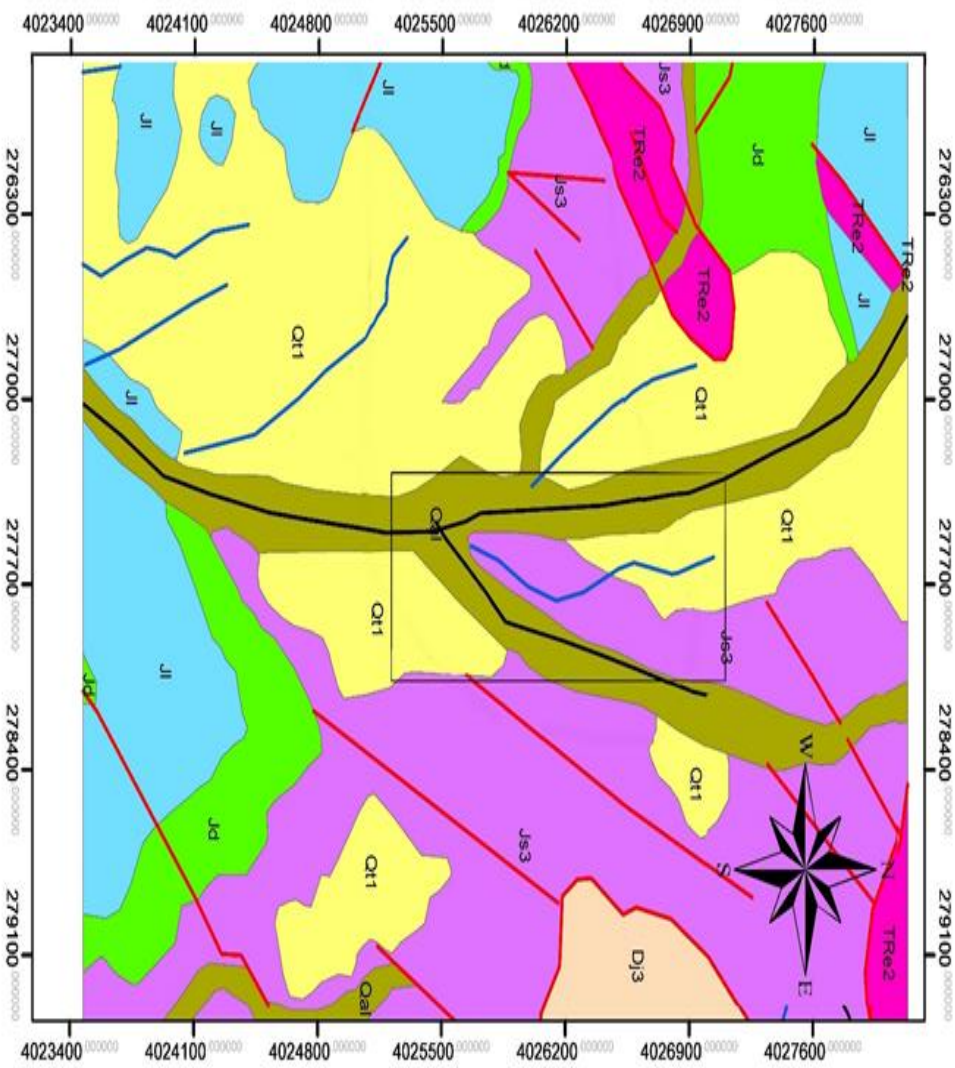
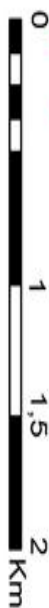
## Rock unit

- Qal Resent alluvial, gravel fans
- Qc2 Yong marl
- Qt1 Old marl
- Jl Tick bedded limestone
- Jd Marly limestone
- Js3 Sanstone and coaly shale
- TRe2 Marly shale
- PTR Dolomite and coaly shale
- Pr Tick bedded limestone
- Pd Sandstone and quartzite
- Deg Shale and sandstone
- Dj3 Limestone and shale

Roads

Rivers

Faults



شکل ۱-۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (بر گرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود).

## ۱-۸- شرح مختصر فعالیت کارخانه زغال شویی مهماندوست

شکل ۱-۳ نمایی از کارخانه زغال شویی مهماندوست را نشان می‌دهد. مواد اولیه این کارخانه از معادن واقع در طزره شامل کلاریز، تونل مادر، برناکی و رزمجا و از معادن اولنگ و تخت تأمین می‌شود. ظرفیت ورودی کارخانه ۱۰۰ تن بر ساعت و عیار زغال سنگ ورودی بین ۴۸ تا ۵۰ درصد می‌باشد. خط تولید کارخانه به گونه‌ای طراحی شده است که بار ورودی پس از ورود به کارخانه ابتدا توسط سنگ شکن خرد شده و بعد از آن بر روی سرنندی قرار می‌گیرد تا بر اساس ابعاد دانه‌های موجود به دو دسته اصلی ریزدانه و درشت دانه تفکیک شوند.

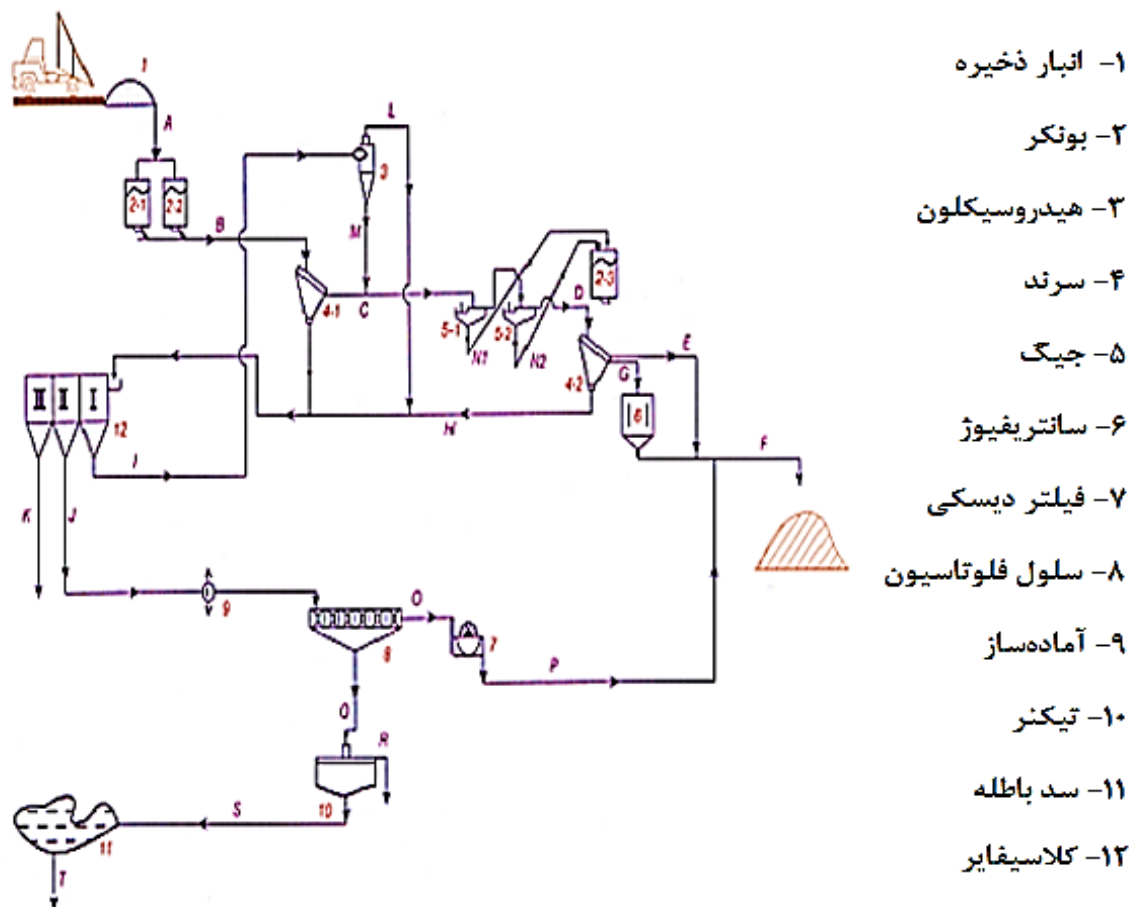


شکل ۱-۳- نمایی از کارخانه زغال شویی مهماندوست

در درشت‌دانه‌ها، زغال سنگ به به روش ثقلی از باطله تفکیک می‌شود. باطله‌های حاصل از این قسمت مستقیماً توسط ماشین‌های بارگیری برای انتقال به محوطه اطراف کارخانه حمل می‌گردد. زغال سنگ-های ریزدانه‌تر به سمت سلول‌های فلو تاسیون انتقال داده شده و در آنجا باطله‌ها، توسط روش فلو تاسیون

جدا شده و پس از آبیگری به سدهای باطله فلوتاسیون انتقال می‌یابند. مواد افزودنی در سلول‌های فلوتاسیون، شامل روغن کاج و گازوییل می‌باشد. کارخانه زغال‌شویی مهماندوست در طول ۳۵ سال فعالیت خود، حجم بسیار زیادی از باطله زغال را تولید نموده و انباشته کرده است. در طول سالیان فعالیت کارخانه هیچ‌گاه محدودیتی برای دیپوی باطله‌ها احساس نشده است و این سبب شده است که باطله‌ها به صورت بسیار پراکنده و نامنظم دیپو گردند.

در شکل ۴-۱ فلوچارت کلی کارخانه زغال‌شویی مهماندوست ارائه شده است. زغال سنگ خام ارسالی از معادن که در سکو (۱) دیپو شده است، به منظور ذخیره‌سازی از طریق مسیر A به درون بونکرها (۱-۲) و (۲-۲) حمل و از آنجا بر روی نوار نقاله در مسیر B بر روی سرند لرزان سه طبقه (۴) برای دانه بندی ارسال می‌شود.



شکل ۴-۱- فرآیند شستشوی زغال سنگ در کارخانه زغال‌شویی مهماندوست (گزارش شرکت معادن زغال سنگ البرز

شرقی، ۱۳۸۵).

در این سرند ابعاد بزرگتر از ۱۰ میلیمتر و ابعاد ۱ تا ۱۰ میلیمتر جدا شده و از طریق مسیر C به جیگ‌ماشین (۵-۱ و ۵-۲) ارسال می‌شود. در جیگ‌ماشین (۵-۱ و ۵-۲) که حاوی مخلوط آب و پودر مگنتیت با چگالی ۱/۴ است، زغال‌سنگ و باطله با استفاده از اختلاف چگالی از هم جدا می‌شوند و زغال‌سنگ بصورت معلق درآمده و باطله ته‌نشین می‌شود. باطله حاصله، از انتهای جیگ و از طریق مسیر های N1 و N2 به بونکر (۲-۳) وارد شده و برای تخلیه و دپو در محل دفن باطله‌ها ارسال می‌گردد. کنسانتره حاصل از طریق مسیر D بر روی سرند سه طبقه (۴-۲) هدایت می‌شود و در آنجا، که ذرات بزرگتر از ۱۰ میلیمتر از طریق مسیر E و F به عنوان محصول نهایی خارج و ابعاد بین ۱ تا ۱۰ میلیمتر از طریق مسیر G جهت آگیری به سانتریفیوژ (۶) وارد شده و آنگاه از طریق مسیر F به عنوان محصول نهایی خارج می‌گردد. ذرات کوچکتر از ۱ میلیمتر از طریق مسیر H به کلاسیفایرها (۱۲) ارسال می‌گردد. در کلاسیفایرها (۱۲)، مخلوط آب و زغال‌سنگ، با سرعت ابتدا وارد کلاسه I و سپس وارد کلاسه II و در نهایت وارد کلاسه III می‌شود. با توجه به سرعت مواد، مواد دانه درشت‌تر در کلاسه I، مواد دانه متوسط در کلاسه II و مواد دانه ریز در کلاسه III قرار خواهند گرفت. مواد دانه‌ریزتر از مسیر k به عنوان باطله خارج می‌شوند. مواد دانه درشت‌تر از طریق مسیر I به هیدروسیکلون (۳) فرستاده می‌شود و از آنجا از مسیر L و C وارد جیگ‌ماشین (۵-۱ و ۵-۲) می‌شود و همان مراحل قبلی را طی می‌کند، سپس از طریق مسیر L به مسیر H به کلاسیفایر (۱۳) برمی‌گردد و اما دانه متوسط‌ها (البته کوچکتر از ۱ میلیمتر) از طریق مسیر J به منبع (۹) وارد می‌شود و در این مرحله، روغن کاج جهت ایجاد کف و گازوئیل برای چرب کردن و پیشگیری از نفوذ آب به زغال اضافه شده و سپس به سلول فلوتاسیون (۸) ارسال می‌شود.

در سلول‌های فلوتاسیون، کنسانتره زغال‌سنگ به حباب‌های کف چسبیده و از مسیر O جهت آگیری به فیلتر دیسکی (۷) هدایت می‌شود. کنسانتره حاصل به عنوان محصول نهایی از طریق مسیر P و F خارج می‌شود. باطله حاصل از انتهای سلول‌ها و از طریق مسیر Q به تیکنر (۱۰) ارسال می‌شود. در

تیکتر آب از مسیر R در جریان بازیافت قرار می‌گیرد و لجن حاصل از طریق مسیر S به سد باطله (۱۱) فرستاده می‌شود.

## ۹-۱- روش انجام تحقیق

هدف اصلی این پژوهش، پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی باطله‌های تولید شده در کارخانه زغالشویی البرز شرقی، 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 سطح و عمق باطله‌های دپو شده در اطراف معدن به روش استاندارد (۷ نمونه معرف)

۳- تعیین غلظت عناصر بالقوه سمی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های<sup>۱</sup> ICP-OES و<sup>۲</sup> XRF

۴- بررسی ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌های<sup>۳</sup> XRD و مطالعه مقاطع میکروسکوپی

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

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

---

<sup>۱</sup>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy

<sup>۲</sup>X-Ray Fluorescence

<sup>۳</sup>X-Ray Diffraction

# فصل دوم

## مروری بر مطالعات

### پیشین

## ۲-۱- مقدمه

زغال سنگ در هوای آزاد خود به خود می‌سوزد و حاصل این فرآیند خاکستر می‌باشد. این خاکستر در معادن متروکه زغال سنگ و باطله‌ها، مانع ایجاد زهاب اسیدی می‌شود. از مزیت‌های خاکستر زغال سنگ، خنثی سازی، نابودسازی باکتری‌های تولید کننده اسید از جمله باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس، محصور کردن پیریت و منحرف کردن آب است. خاکسترها به دلیل ریز بودن می‌توانند تمامی سطوح تماس باطله‌ها با هوا یا آب را بپوشانند. در این صورت تخلخل و نفوذپذیری باطله‌ها کاهش می‌یابد و از اکسیداسیون پیریت و تولید اسید جلوگیری می‌شود (Teichmuller, 1988).

## ۲-۲- نحوه تشکیل زغال سنگ و اجزای اصلی آن

زغال سنگ منشأ رسوبی دارد و اغلب در میان سنگ‌های رسوبی مناطق مردابی و باتلاقی مشرف به دریا دیده می‌شود، مواد دربرگیرنده زغال عمدتاً شامل رس و لای (سیلتستون) در کمر پایین و ماسه سنگ در کمر بالاست. شرایط مهم و اساسی تشکیل زغال عبارتند از عمق زیاد، گرادیان حرارتی مناسب و طولانی بودن زمان زغالی شدن که با مرغوبیت زغال رابطه مستقیم دارد (Champan *et al.*, 1993). اولین شرط لازم برای تشکیل زغال سنگ وفور و فراوانی گیاهان است تا با قرارگیری طولانی مدت در حوضه‌های رسوبی پایدار که دارای آب و هوای گرم و معتدل با رطوبت زیاد و دارای آب شیرین تا لب شور هستند، رشد گیاه سریع می‌شود. در چنین شرایطی پس از تدفین گیاهان در محیط‌های احیایی با اکسیژن کم، موجودات ریز با تولید آنزیم و تغییر pH محیط، موجب تجزیه اندام‌های نرم گیاهی شده که با پوشیده شدن گیاهان توسط آب و

رسوبات، بخش‌های سخت گیاه محفوظ می‌ماند و به زغال سنگ تبدیل می‌شوند. هرچه محیط قلیایی‌تر باشد شرایط برای تشکیل زغال سنگ مهیاتر است (Chandler, 1998). ماسرال‌ها عناصری هستند که حاصل بخش‌های آلی حفظ شده گیاهان می‌باشند و با چشم قابل دیدن هستند. ماسرال‌ها برخلاف



کانی‌ها ماهیت بلورین و کریستالی ندارند و در طی عمل ماسرالی شدن تولید می‌شوند. از تجمع این مواد آلی، نوارهای زغال‌سنگ و در نهایت زغال‌سنگ تشکیل می‌شود (Teichmuller, 1988).

مواد معدنی زغال‌سنگ‌ها از نظر منشأ به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: (۱) کانی‌هایی که دارای منشأ گیاهی هستند. (۲) کانی‌هایی که در مرحله اول زغالی شدن تشکیل می‌شوند. (۳) کانی‌هایی که در مرحله دوم زغالی شدن، بر اثر دگرسانی کانی‌های اولیه، تشکیل می‌شوند (Christanis *et al.*, 1997).

مهم‌ترین کانی‌های موجود در زغال‌سنگ شامل موارد زیر می‌باشد (Moore and Esmaeili, 2012):

- رس‌ها: مهم‌ترین کانی‌های رسی، ایلیت  $(K_2Al_4(Si_6Al_2O_{20})(OH)_4)$  و مونت‌موریلونیت  $(Al_2Si_4O_{10}(OH)_2)$  است.

- کربنات‌ها: بیش‌تر کربنات کلسیم، منیزیم و آهن است. کلسیت  $(CaCO_3)$  و سیدریت  $(CaCO_3)$  مهم‌ترین کانی‌های کربناته هستند.

- سیلیس و سیلیکات: شامل کوارتز، کلسدون، چرت، زیرکن، بیوتیت، گارنت، اپیدوت، آمفیبول، کلریت، ارتوز، سانیدین، اوژیت و کیانیت است. کوارتز  $(SiO_2)$  فراوان‌ترین می‌باشد.

- سولفید: پیریت  $(FeS_2)$ ، کالکوپیریت  $(FeS_2)$  و گالن  $(PbS)$  از همه فراوان‌تر هستند.

- سولفات: ژپس  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  و انیدریت  $(CaSO_4)$  فراوان‌ترین سولفات‌ها هستند.

- سایر کانی‌ها: نمک، آپاتیت، فسفریت، اکسیدهای آهن

## ۲-۳- چشم انداز صنعت زغال در ایران

مصارف زغال‌سنگ در صنایع مختلف به عنوان منبع انرژی جایگزین نفت و گاز، در آینده‌ای نزدیک، این ماده معدنی را در دنیا به یک ماده استراتژیک تبدیل خواهد کرد. هرچند نرخ رشد میانگین مصرف جهانی زغال‌سنگ با رقمی معادل ۳ درصد نسبت به نرخ میانگین تولید رقم بیش‌تری را داراست، با این

حال مصرف جهانی زغال سنگ طی سال‌های مذکور روند نوسانی را متحمل بوده است. تغییرات محلی مصرف با توجه به شرایط مختلف زمانی، مکانی و سیاسی جهان متفاوت می‌باشد. در کشور ما همچنان متصور است که با توجه به استفاده از سوخت ارزان نفت، در سال‌های آینده نیز عمده مصرف زغال، به عنوان زغال کک‌شو محدود گردد، به طوری که طبق گزارش‌ها مشخص است که تولید زغال سنگ در کشور ما، روندی رو به رشد را نشان می‌دهد که در سال‌های دیگر این میزان افزایش خواهد یافت (گزارش شرکت فنی مهندسی معدن کاوان بیستون، ۱۳۸۸).

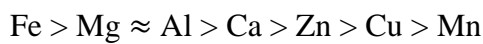
## ۲-۴- اهمیت مطالعات بافتی و کانی‌شناسی

مطالعه ترکیب و نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده زغال سنگ، برای آگاهی از اثرات زیست‌محیطی معدن کاری و بهره‌برداری از زغال و در انتخاب روش مناسب برای بهره‌برداری از زغال ضروری است (Lopez and ward, 2008). خواص فیزیکی و شیمیایی زغال سنگ به ترکیب شیمیایی و نحوه تشکیل زغال بستگی دارد. مقادیر و نوع عناصر معدنی موجود در زغال سنگ‌ها، بر روی کیفیت زغال‌ها مؤثر می‌باشد و از لحاظ زیست محیطی اهمیت دارد. به همین دلیل تشخیص ترکیب کانی‌شناسی و عنصری زغال و خاکستر آن نقش مهمی در شناسایی اثرات زیست‌محیطی زغال سنگ دارد (Goodarzi et al., 2006).

واکنش پذیری بسیار بالای زهاب اسیدی، باعث انحلال کانی‌های اولیه می‌شود. سپس به وسیله اکسیداسیون و هیدرولیز آهن، واکنش محلول‌های اسیدی با سولفیدها، مخلوط شدن آب‌های اسیدی با محلول‌های رقیق‌تر و یا تبخیر این آب‌ها، انواع کانی‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند. از مزیت‌های این کانی‌ها، جذب سطحی عناصر و فلزات سمی می‌باشد. علاوه بر این اطلاعات ارزشمندی درباره کانی اولیه و ترکیبات محلول حاصل از دیپوی باطله می‌دهند (Nordstrom and Alpers, 1999).

کانی‌های ثانویه به دلیل داشتن قابلیت جذب سطحی عناصر فرعی، نقش مهمی در کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از این فلزات دارند. عوامل کنترل‌کننده جذب سطحی این کانی‌ها، فراوانی نسبی Fe، Al

Mn و انحلال پذیری اکسیدها و هیدروکسی سولفات های Fe، Al و Mn، می باشند (Lee et al., 2002). عناصر محلول در زهاب اسیدی معدن، با افزایش pH باعث تشکیل کانی های ثانویه می شود و از نظر زیست محیطی اهمیت دارد. غلظت فلزات در محلول زهاب اسیدی به ترتیب این گونه می باشد (España, 2008):



فراوان ترین کانی های ثانویه، کانی های ثانویه آهن دار، آلومینیوم دار و منگنز دار هستند. با دور شدن از زهاب اسیدی، مقادیر Fe، Al، Mg، Si و SO<sub>4</sub> کاهش می یابد و مقدار pH افزایش می یابد و باعث تشکیل کانی های ثانویه متفاوت می شود (Kim and Kim, 2004).

در صورتی ظرفیت تولید اسید باطله ها بیش تر از ظرفیت خنثی شدن است که به طور شاخص دارای غلظت بالایی از سولفات، آهن، آلومینیوم، منگنز و سایر یون ها می باشد. حضور آهن در کانی های سولفیدی، عامل مهمی برای اکسایش سولفید است. باطله های سولفیدی که آهن جزء اصلی ترکیب شیمیایی به شمار می آید، پتانسیل تولید اسید در آن ها زیاد است. کانی هایی که دارای عنصر Fe<sup>+2</sup> دارای اهمیت می باشند، چون Fe<sup>+2</sup> می تواند به Fe<sup>+3</sup> اکسید شود و خاصیت اسیدی را افزایش دهد (Boon et al., 1998)

## ۲-۵- اثرات زیست محیطی باطله های زغال سنگ

باطله های معادن زغال سنگ، علاوه بر مشکلاتی زیست محیطی زیادی که دارند، مشکلات دیگری را برای معادن ایجاد می کنند. این امر باعث شده است که موضوع مطالعه بر روی باطله های زغال سنگ از اهمیت ویژه ای برخوردار شود. به مواد کم عیار یا کم ارزش مواد معدنی که در حین استخراج و فراوری ایجاد می شود، باطله اطلاق می گردد. محلول های حاصل از این باطله ها دارای ترکیبات شیمیایی متفاوتی می باشد که به عنوان منبع مهم آلودگی به شمار می آید (Currey et al., 1999). بخش اعظم باطله های معدن، که در سدهای باطله انباشته می شود، یکی از تاثیرات منفی که این باطله ها در دراز مدت ایجاد

می‌کنند، افزایش تمرکز فلزات سنگین در منطقه می‌باشد. محلول‌های نشتی از باطله‌ها که به دلیل عوامل مختلف از جمله ریزش‌های جوی ایجاد می‌شوند باعث آلودگی خاک و آب می‌شوند. به همین دلیل محل انباشت باطله‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند. عوامل موثر در انتخاب محل انباشت باطله‌ها، هیدرولوژی، آب و هوا و اطلاعات توپوگرافی می‌باشد (Ravengai *et al.*, 2014).

## ۲-۶- روش ارزیابی تولید زهاب اسیدی معدن (AMD)

زهاب اسیدی معادن یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی باطله‌های معدن و از مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده محیط زیست می‌باشد که بر اثر اکسایش کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت در معادن زغالسنگ، معادن متروکه یا در باطله‌های معدنی ایجاد می‌شود (Johnson and Hallberg, 2005). ویژگی‌های مهم زهاب اسیدی می‌توان به این موارد اشاره کرد (Banks and Banks, 2001): پایین بودن میزان pH در آن‌ها، بالا بودن غلظت یون فلزی مانند آهن، آلومینیوم، منگنز، کادمیوم، مس، سرب، روی و جیوه، افزایش میزان سولفات، اسیدیته بالا و رسوب‌گذاری هیدروکسید فلزی مخصوصاً هیدروکسید آهن و آلومینیوم. زهاب اسیدی بیش‌تر به وسیله اکسیداسیون اتمسفری (توسط آب، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن) کانی‌های سولفوری آهن در حضور باکتری‌های ویژه که به عنوان کاتالیزور عمل می‌کنند، ایجاد می‌شود (Banks and Banks, 2001) و می‌تواند باعث انباشت فلزات سنگین و شبه فلزات مانند آرسنیک و سولفات در باطله‌های هوازده شود و بیش‌تر به رنگ زرد، سبز یا نارنجی کم‌رنگ بوده که حاوی اسیدسولفوریک و در بسیاری از مواقع به همراه مقادیری فلزات سنگین می‌باشد و می‌تواند محیط زیست را به شدت تحت تاثیر قرار دهد و موجب نابودی گیاهی و حتی جانوری منطقه شود (Adriana Mendez-Qrtiz *et al.*, 2007).

ارزیابی زهاب اسیدی، یک فرآیند ژئوشیمیایی مهم است که کنترل کننده انتقال فلزات فرعی در آب می‌باشد (Lee *et al.*, 2002). زهاب‌های اسیدی معدن زمانی به وجود می‌آیند که سرعت تولید اسید

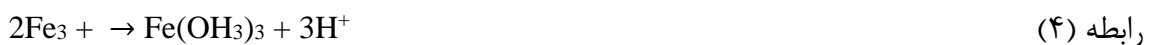
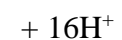
بیش‌تر از سرعت خنثی‌سازی آن باشد. سرعت واکنش و تولید زهاب اسیدی به سطح ذرات پیریت وابسته است. ذرات ریز پیریت نسبت به ذرات درشت پیریت سطح وسیع‌تری دارد و واکنش‌پذیری بیش‌تری دارد و اسید بیش‌تری تولید می‌کند (Whitehead and Prior, 2005).

پیریت موجود در زغال‌سنگ اگر در معرض آب و اکسیژن قرار گیرد، هوازده شده و باعث تولید اسید-سولفوریک می‌شود. در مراحل بعدی واکنش، آهن نیز از پیریت خارج می‌شود و اکسیدهای آهن را تشکیل می‌دهد. خرد شدن کانی‌ها باعث افزایش سطح مؤثر کانی‌ها و در نتیجه افزایش نرخ هوازدهگی می‌شود. به دلیل ترکیب متفاوت باطله‌ها، دسترسی زیاد هوا و وجود برونزدهای سطحی سولفیدها در مناطق معدنی، باطله‌ها و پسماندها، فرآیند هوازدهگی نسبت به هوازدهگی طبیعی سنگ‌ها در سطح با سرعت بیش‌تری صورت می‌گیرد (Chon and Hwang, 2000). گوگرد معمولاً به شکل آلی، پیریتی و یا سولفاتی می‌باشد و به عنوان یک عنصر مزاحم شناخته می‌شود. علاوه بر پیریت، حضور آب و اکسیژن برای اکسایش پیریت موجود در باطله‌ها و فرآیند تولید اسید ضروری است. محصول نهایی این فرآیندها اسیدسولفوریک و سولفات آهن سه ظرفیتی است. با تغییر شکل پیریت به اسیدسولفوریک، زهاب اسیدی سولفیدی ایجاد می‌شود (Ravengai *et al.*, 2014).

مهم‌ترین عامل در تولید زهاب اسیدی در باطله‌های زغالی، کانی‌های پیریت و مارکاسیت می‌باشند که موجب افزایش آهن و سولفات در زهاب‌های معدنی می‌شوند. این زهاب‌ها به دلیل خاصیت اسیدی قادر به انحلال فلزات موجود در سنگ‌ها می‌باشند. در بین کانی‌های سولفیدی فلزی، پیریت، مارکاسیت و پیروتیت دارای بالاترین نرخ اکسیداسیون می‌باشند، ولی سرعت اکسیداسیون اسفالریت بسیار کم‌تر است (Jambor *et al.*, 2005).

پیریت‌های فرامبوئیدی به دلیل داشتن ظاهری تمشک گونه از واکنش‌پذیری بیش‌تری برخوردارند. مورفولوژی خاصی که این پیریت‌ها دارند، باعث ایجاد سطح بیش‌تری می‌شود. در نتیجه سریع‌تر اکسید می‌شوند و اسید بیش‌تری تولید می‌کنند (Katupotha, 1989).

اکسیداسیون پیریت شامل سه مرحله اکسیداسیون سولفور، اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی و هیدرولیز کانی‌ها و کمپلکس‌های آهن سه ظرفیتی می‌باشد (Banerjee, 2014).



رابطه ۱ نشان‌دهنده اکسیداسیون سولفید به سولفات و انحلال‌پذیری یون‌های آهن‌دار و تولید  $\text{H}^+$  می‌باشد.

در رابطه ۲ یون‌های آهن فرس به یون آهن فریک اکسیده می‌شود.

یون  $\text{Fe}^{3+}$ ، پیریت‌های اضافی را اکسید می‌کند و آن‌ها را به یون‌های آهن‌دار تبدیل می‌کند (رابطه ۳). در رابطه ۴ انحلال  $\text{Fe}^{3+}$  در آب باعث رسوب  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  می‌شود که به صورت رسوب بی‌شکل زرد، نارنجی و یا قرمز قابل شناسایی است (Banerjee, 2014).

در معادله ۱ و ۲،  $\text{O}_2$  گازی یا محلول و باکتری‌های اکسیدکننده سولفور و آهن به ویژه تیوباسیلوس نقش دارند. این باکتری‌ها قابلیت کاتالیز  $\text{Fe}^{2+}$  را در شرایط اسیدی دارد و انرژی لازم را برای این واکنش‌ها تأمین می‌کند. در طی هوازدگی پیریت، نقش باکتری‌ها و عوامل زیستی مهم است. این باکتری‌ها به عنوان کاتالیزور عمل 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 (Rose and Cravotta, 1999).

باکتری تیوباسیلوس فرااکسیدانس یک باکتری میله‌ای شکل است. یک موجود اتوتروف و هوازی است که کربن را فقط از تثبیت  $\text{CO}_2$  به دست می‌آورد و انرژی مورد نیاز خود را از اکسیداسیون عناصر گوگرد

و اکسید ترکیبات سولفور به سولفات فراهم می‌کند. این میکروارگانیسم‌ها از دی‌اکسید کربن به عنوان منبع انرژی در شرایط اسیدی استفاده می‌کنند و همراه با باکتری‌های دیگر از همین خانواده، گوگرد موجود در باطله را به اسیدسولفوریک تبدیل می‌کنند و نقش اصلی را در ایجاد زهاب اسیدی ایفا می‌کنند (Rose and Cravotta, 1999).

هر یک از این واکنش‌ها می‌توانند خود به خود اتفاق بیفتند و یا به وسیله میکروارگانیسم‌هایی که از واکنش‌های اکسیداسیون انرژی می‌گیرند، کاتالیز می‌شوند. اثر شبکه‌ای این واکنش‌ها، یون‌های  $H^+$  آزاد می‌کنند که pH سیستم کم‌تر می‌شود و انحلال یون دارای ترکیب آهن و دیگر فلزات را راحت می‌کند (Banerjee, 2014).

## ۲-۷- مروری بر مطالعات پیشین

ویلیام و اسمیت (Williams and Smith, 2000) با مطالعه بر روی شیرابه‌های معدن زغال‌سنگ Iron Duke در زیمبابوه (جنوب آفریقا) به این نتیجه رسیدند که شیرابه‌ها غنی از آهن، روی، مس، کبالت، نیکل، وانادیم، کروم و کادمیم می‌باشد. در اثر بارش مقدار زیادی فلزات سنگین وارد محلول می‌شوند و محلول اشباع از آهن و سولفات می‌شود. این محلول خود به عنوان تولید زهاب اسیدی عمل می‌کند. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2000) مطالعاتی در مورد پتانسیل زهاب اسیدی باطله‌های معدن زغال‌سنگ در هند را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های استاتیک باطله‌ها نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند. با اینحال، آزمایش‌های کینتیک 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.

لی و همکاران (Lee *et al.*, 2002) سه نمونه آب سطحی به شدت آلوده با زهاب اسیدی از حوضه آبی در منطقه معدنی داکتون واقع در ایالت تنسی آمریکا را به منظور بررسی تولید اسید، میزان فراوانی Fe، Al و Mn در آب‌های آلوده به زهاب اسیدی، آزمایش کردند. بررسی آن‌ها نشان داد که نمونه آب با pH بسیار پایین (حدود ۲/۵)، غنی از Fe، نمونه آب با pH حدود ۵، غنی از Al و نمونه آب با pH حدود ۸

غنی از Mn می‌باشد. در نتیجه فراوانی نسبی Fe، Al و Mn در محلول، نرخ pH و نرخ تولید اسید را تعیین می‌کند.

راونگی و همکاران (Ravengai *et al.*, 2004) به ارزیابی و پتانسیل تولید اسید از حوضچه‌های تبخیر معدن زغال‌سنگ Iron Duke در دره مازو در شمال زیمبابوه (جنوب آفریقا)، پرداختند. از این رو، حوضچه‌ها مقدار زیادی زهاب اسیدی همراه با آهن و سولفات از طریق نشت یا تبخیر از دست می‌دهد. نتایج آنالیز آب از حوضچه‌ها نشان می‌دهد که تبخیر زهاب‌های اسیدی موجود در حوضچه، باعث تشکیل کانی‌های ثانویه ملانتریت و هگراهیدریت می‌شود. مقدار آهن و سولفات مواد جامد رسوب کرده، بیش‌تر از مقدار آن‌ها در آب حوضچه است، در نتیجه احتمال تولید اسید از این حوضچه‌ها کم می‌باشد. اگر اسیدی هم تولید شود به دلیل حضور پیریت در ذرات ریز معلق آب‌های معدن در لبه‌های حوضچه (که در معرض اکسیژن بیش‌تری قرار دارد)، می‌باشد.

زیلبرشیمیت و همکاران (Zilberchmidt *et al.*, 2004) به مطالعه باطله‌های معدن زغال‌سنگ مسکو (روسیه) و بررسی احتمال تشکیل زهاب اسیدی 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.

دواساهیم (Devasahayam, 2005) باطله‌های زغال‌شویی دو معدن زغال‌سنگ ریورساید و گرگوری را به منظور بررسی تولید اسید، مورد آزمایش قرار دادند. هر دو معدن در حوزه زغالی باون در استرالیا قرار گرفته‌اند. باطله‌های معدن گرگوری بسیار واکنش‌پذیرتر از باطله‌های زغال معدن ریورساید می‌باشد. باطله‌های معدنی ریورساید، به دلیل پخش محدود اکسیژن و نفوذپذیری پایین باطله‌ها، واکنش‌پذیری کم‌تری دارند. در نتیجه تولید اسید ممکن نیست و بالعکس هرچه انتشار اکسیژن در باطله‌ها افزایش



یابد و نفوذپذیری باطله‌ها زیاد باشد، واکنش‌پذیری زیاد می‌شود. در نتیجه مواد اکسید شده و اسید تولید می‌کنند.

پینتون و همکاران (Pinetown *et al.*, 2006) با استفاده از آنالیزهای XRD و XRF بر روی پیریت زغال‌سنگ معدن ویت‌بانک آفریقای جنوبی و به بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی این معدن پرداختند. در بخش غربی این معدن، غلظت پیریت زیاد می‌باشد و احتمال تولید اسید در این منطقه خیلی بالاست. مواد معدنی در بخش شمالی این معدن همراه با کربنات‌ها می‌باشد، بنابراین در بخش شمال شرقی ظرفیت خنثی‌سازی بیش‌تر از ظرفیت تولید کننده اسید می‌باشد.

ولنت و گومز (Valent and Gomes, 2009) به بررسی رسوبات حاصل از زهاب اسیدی معدن (کانی‌های ثانویه) در معدن والدراکاس واقع در شمال پرتغال و تأثیر آن‌ها بر محلول زهاب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش pH و کاهش مقادیر آهن در محلول باعث تشکیل سولفات‌های آلومینیوم‌دار می‌شود. بنابراین حضور این کانی‌های ثانویه نشان‌گر پایین بودن غلظت محلول‌ها نسبت به آهن در زهاب و یا بروز شرایط قلیایی باشد.

دولتی اردجانی و همکاران (Doulati Ardejani *et al.*, 2010) 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.

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



# فصل سوم

## روش انجام پژوهش

### ۳-۱- مقدمه

جهت دستیابی به اهداف این پژوهش، ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای شامل بررسی اطلاعات موجود درباره منطقه مورد مطالعه، مطالعه کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها، مقالات مرتبط و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی انجام شد. پس از بررسی‌های صحرایی مطالعات میدانی، از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی مهماندوست نمونه‌برداری شد. سپس مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های برداشت شده انجام شد. در نهایت با استفاده از داده‌های به دست آمده، پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های کارخانه زغال‌شویی مهماندوست مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۳-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه

پیش از نمونه‌برداری، انجام مطالعات میدانی و تهیه شبکه نمونه‌برداری ضرورت دارد تا نمونه‌های برداشت شده، جامعه آماری مناسب و دقیقی را به دست دهند. با توجه به حجم عظیم باطله‌های دپو شده در اطراف کارخانه زغال‌شویی مهماندوست، برداشت نمونه معرف (Representative sample) از توده‌های باطله اهمیت زیادی دارد.

با توجه به تفاوت ابعاد ذرات باطله‌های تولید شده در کارخانه زغال‌شویی مهماندوست، باطله‌ها به دو دسته درشت‌دانه (بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر) و ریزدانه (اندازه ۱ تا ۱۰ میلی‌متر) تقسیم شدند. نمونه‌های درشت‌دانه، مربوط به زغال‌سنگ‌های فرآوری شده توسط روش ثقلی و نمونه‌های ریزدانه، مربوط به زغال‌سنگ‌های فرآوری شده توسط روش فلوئوتاسیون است. نمونه‌های درشت‌دانه نیز به دو دسته نمونه‌های باطله سطحی (شکل ۳-۱) و عمقی و نمونه‌های ریزدانه به دو دسته نمونه‌های باطله قدیمی (شکل ۳-۲) و جدید (شکل ۳-۳) تقسیم شدند. چهارنمونه معرف از باطله‌های درشت‌دانه سطحی از چهار مکان متفاوت تهیه شد. در هر مکان ۱۰ جزء نمونه (sub-sample) از ایستگاه‌های متفاوت برداشته شد و جزء نمونه‌ها با یکدیگر ترکیب شدند و یک نمونه معرف تهیه شد. نمونه معرف باطله درشت‌دانه عمیق با استفاده از پنج گمانه حفر شده تا عمق چهار متری و مخلوط کردن پنج جزء نمونه تهیه شد

بنابراین برای تهیه نمونه‌های معرف از باطله‌های ریزدانه قدیمی، ۴۰ جزء نمونه از سد باطله قدیمی برداشته شد و با هم ترکیب شدند و یک نمونه معرف تهیه شد. نمونه معرف ریزدانه جدید نیز با ترکیب ۳۰ جزء نمونه تهیه شد. در مجموع هفت نمونه معرف از باطله‌های دیو شده در اطراف کارخانه، تهیه شد (شکل ۳-۴). به جز نمونه‌های عمقی، بقیه نمونه‌ها از عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری برداشته شدند. وزن نمونه‌های معرف برداشت شده از باطله‌های درشت‌دانه حدوداً دو کیلوگرم و وزن نمونه‌های باطله ریزدانه یک کیلوگرم بوده است. در جدول ۳-۱ و شکل ۳-۴، نوع و موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی مهماندوست ارائه شده است.

جدول ۳-۱- شماره، توصیف و موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی مهماندوس

شماره نمونه	نوع نمونه	محل قرارگیری نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	نمونه درشت‌دانه سطحی	جنوب‌غربی کارخانه	۵۵° ۳۰' ۵۴"	۴۰° ۲۰' ۳۶"
۲	نمونه درشت‌دانه سطحی	شمال‌غربی کارخانه	۱۳° ۳۱' ۵۴"	۲۸° ۲۱' ۳۶"
۳	نمونه درشت‌دانه سطحی	شمال کارخانه	۲۰° ۳۱' ۵۴"	۳۰° ۲۱' ۳۶"
۴	نمونه درشت‌دانه سطحی	شرق کارخانه	۴۳° ۳۱' ۵۴"	۲۰° ۲۱' ۳۶"
۵	نمونه درشت‌دانه عمقی	شمال‌شرقی کارخانه	۳۲° ۳۱' ۵۴"	۲۸° ۲۱' ۳۶"
۶	نمونه ریزدانه قدیمی	جنوب و جنوب‌شرقی کارخانه	۲۴° ۳۱' ۵۴"	۲۷° ۲۱' ۳۶"
۷	نمونه ریزدانه جدید	غرب کارخانه	۵۳° ۳۰' ۵۴"	۵۷° ۲۰' ۳۶"



شکل ۳-۱- نمایی از باطله‌های درشت‌دانه سطحی دپو شده در اطراف کارخانه



شکل ۳-۲- نمایی از باطله‌های ریزدانه قدیمی دپو شده در اطراف کارخانه



شکل ۳-۳- نمایی از باطله‌های ریزدانه جدید دپو شده در اطراف کارخانه

فرآیند آماده‌سازی نمونه شامل خشک کردن، کاهش اندازه و همگن‌سازی نمونه می‌باشد. ابتدا در آون قرار داده شدند و در دمای ۱۰۵ درجه به مدت دوساعت خشک شدند. بعد از خشک شدن، باطله‌های درشت‌دانه که نیاز به خردایش داشتند با استفاده از هاون خرد و پودر شدند، به طوری که ۸۵ درصد نمونه‌ها از الک ۲۰۰ مش (۷۵ میکرون) عبور نمایند.





شکل ۳-۴- محل نمونه‌های معرف برداشت شده از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی البرزشرقی

### ۳-۳- مطالعات بافتی و کانی‌شناسی

ترکیب و ویژگی‌های کانی‌شناسی باطله‌ها و روابط بافتی کانی‌ها بر نرخ واکنش‌های تولیدکننده یا خنثی-کننده اسید مؤثر است. به منظور بررسی ترکیب کانی‌شناسی و نحوه ارتباط کانی‌ها با یکدیگر، از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و نیز مطالعه مقاطع صیقلی استفاده شد.



### ۳-۳-۱- آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)

طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، اطلاعات جامعی درباره ترکیب شیمیایی و ساختار بلورین مواد طبیعی 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 مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام گردید.

### ۳-۳-۲- تهیه مقاطع صیقلی

به منظور بررسی ویژگی‌های پتروگرافی و کانی‌شناسی نمونه‌های باطله کارخانه زغال‌شویی مهماندوست، از نمونه‌های معرف، مقطع صیقلی تهیه شد. به این منظور، نمونه باطله بر روی لام شیشه‌ای چسبانده شد و سپس توسط پودر کروندم تا ضخامت ۱۲۰۰ مش سایش داده شد. مقاطع در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تهیه شدند.

### ۳-۴- 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 مدل PW1480 مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران استفاده گردید.

توسط دستگاه طیف‌سنجی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES)، امکان اندازه‌گیری همزمان عناصر با دقت و سرعت بالا امکان‌پذیر است. به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر بالقوه سمی موجود در

هفت نمونه معرف، از دستگاه اسپکترومتری نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES)، ساخت شرکت فیلیپس مدل PW1480 متعلق به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران استفاده گردید.

### ۳-۴-۱- محاسبه ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمی در نمونه‌های باطله

جهت بررسی میزان تجمع یک عنصر در رسوب، سنگ یا باطله می‌توان از ضریب غنی‌شدگی (EF) استفاده نمود. این ضریب (رابطه ۵) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = (C_1Me^{+n} / C_{1n}) / (C_2Me^{+n} / C_{2n}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه،  $C_1Me^{+n}$  و  $C_{1n}$  به ترتیب عبارتند از غلظت عنصر مورد بررسی و غلظت عنصر مبنا در نمونه مورد مطالعه و  $C_2Me^{+n}$  و  $C_{2n}$  به ترتیب عبارتند از غلظت عنصر مورد بررسی و غلظت عنصر مرجع در نمونه مرجع. معمولاً از عناصری مانند آلومینیوم که غلظت آن‌ها تغییرات کمی دارد و تمرکزشان ناشی از فعالیت‌های انسانی نباشد، به عنوان عنصر مرجع استفاده می‌شود. همچنین از ترکیب پوسته زمین به عنوان نمونه مرجع استفاده می‌شود. با استفاده از محاسبه ضریب غنی‌شدگی می‌توان شدت غنی‌شدگی باطله، خاک یا رسوب را در ۶ دسته جای داد (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲- رده‌بندی مقادیر غنی‌شدگی (Chen et al., 2007)

مقدار ضریب غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی
<۱	بدون غنی‌شدگی
۱-۳	غنی‌شدگی اندک
۳-۵	غنی‌شدگی متوسط
۵-۱۰	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
۱۰-۲۵	غنی‌شدگی شدید
۲۵-۵۰	غنی‌شدگی خیلی شدید
>۵۰	غنی‌شدگی بینهایت شدید

### ۳-۵- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی

باطله‌های حاصل از معدنکاری و فرآوری زغال‌سنگ، مهم‌ترین منابع تولید زهاب اسیدی می‌باشند. به همین دلیل، بیش‌تر مطالعات مرتبط با ارزیابی تولید زهاب اسیدی و همچنین روش‌های کنترل و خنثی‌سازی این زهاب‌ها در ارتباط با زغال‌سنگ انجام شده است (Zilberchmidt et al., 2004). برای پیش‌بینی اولیه تولید اسید در معادن و باطله‌های معدنی اغلب از آزمایش‌های استاتیک استفاده می‌شود. توسط این آزمایش‌ها، توازن بین فرآیندهای تولید اسید (اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی) و فرآیندهای خنثی‌سازی اسید (انحلال کربنات‌ها و هوازگی سیلیکات‌ها) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Banerjee, 2014). آزمایش‌های استاتیک روش‌های تجربی متنوعی هستند. از مهم‌ترین روش‌های استاتیکی شامل موارد زیر است (لوترموزر، ۱۳۹۴):

(۱) اندازه‌گیری pH<sup>۱</sup> و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع

(۲) ارزیابی تولید یا مصرف اسید (بر اساس روش آمریکای شمالی)

۱ Power Hydrogene

۲ Electrical Conductivity

۲-۱) محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA)

۲-۲) آزمایش ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)

۲-۳) محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP)

۳) آزمایش‌های استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز (بر اساس روش استرالیا و اقیانوسیه)

۳-۱) آزمایش پتانسیل اسید (AP)

۳-۲) آزمایش پتانسیل خنثی‌سازی (NP)

۳-۳) تعیین آزمایش پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)

۴) آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG)

۵) آزمایش پتانسیل اسید خالص (NAP)

در مطالعه، آزمایش‌های استاتیکی مذکور بر روی هفت نمونه باطله معرف انجام شده است. در ادامه به شرح هر یک از این آزمایش‌ها پرداخته می‌شود.

### ۳-۵-۱- اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع

با استفاده از pH و هدایت الکتریکی (EC) گل اشباع می‌توان ماهیت اسیدی نمونه سنگ و باطله را تعیین نمود. این روش یک آزمون ساده برای ارزیابی حضور نمک‌های اسیدی در باطله‌های معدنی می‌باشد. مقدار pH کمتر از ۴، نشان می‌دهد که نمونه دارای پتانسیل تولید اسید است. یکی از راه‌های ساده تعیین غلظت جامدات حل شده کل در شیرابه باطله، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) است. با

---

۱-Maximum Potential Acidity

۲ Acid Neutralizing Capacity

۳-Net Acid Producing Potential

۴-Acid Potential

۵-Neutralization Potential

۶-Net Neutralization Potential

۷-Net Acid Generation

۸-Net Acid Potential

هدایت الکتریکی، می‌توان به طور غیرمستقیم مقدار نمک موجود در نمونه را اندازه‌گیری کرد. مقدار هدایت الکتریکی بالاتر از  $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ، بیانگر مقدار بالای جامدات حل شده کل در شیرابه باطله و پتانسیل بالای تولید اسید توسط باطله است (Sanliyuksel Yucel and Baba, 2026).

به منظور انجام این آزمایش، ابتدا نمونه‌ها به اندازه کم‌تر از یک میلی‌متر (۱۸ مش) خرد شدند. 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 به نمونه 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 الکتروود pH و EC داخل گل اشباع بعد از ده دقیقه تعیین گردید (Sanliyuksel Yucel and Baba, 2026).

### ۳-۵-۲- ارزیابی تولید یا مصرف اسید (روش آمریکای شمالی)

در این آزمایش‌ها، حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA) و ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC) اندازه‌گیری شده و پس از مقایسه این دو مقدار، پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP) به دست می‌آید و وضعیت نمونه مشخص می‌شود. مقادیر MPA, ANC و NAPP برحسب  $\text{KgH}_2\text{SO}_4/\text{Ton}$  بیان می‌شود. در محاسبه MPA فرض می‌شود که کل گوگرد موجود به صورت پیریت حضور دارد و پیریت تحت شرایط اکسیداسیون و طی رخداد واکنش‌های اکسیداسیون، در تولید اسید نقش اساسی دارد (Raisanen, 2010).

با توجه به این که گوگرد به اشکال مختلف در باطله‌ها وجود دارد، معمولاً ملاک‌های مختلفی برای اندازه‌گیری گوگرد موجود در نمونه وجود دارد. در بسیاری از موارد، شکل‌های مختلف گوگرد اندازه‌گیری شده و در نهایت با تعیین گوگرد سولفیدی، مقدار گوگرد نمونه محاسبه می‌شود و در برخی از موارد نیز، مقدار گوگرد خنثی که در کانی‌هایی مانند ژپس و باریت تجمع یافته، از مقدار گوگرد کلی نمونه کم می‌شود و مقدار باقی مانده به عنوان گوگرد نمونه تعیین می‌شود. امروزه استفاده از گوگرد کلی به عنوان ملاکی برای تعیین گوگرد نمونه، گسترش بیشتری یافته است (Keleinmam, 2001).

در تخمین MPA، محتوای کل گوگرد نمونه را در نظر می‌گیرند، زیرا مقداری از گوگرد نمونه ممکن است به صورت اشکال دیگری از پیریت رخ دهد. برخی از گوگردها به صورت اشکال غیر اسیدی (مانند سولفات گوگرد) هستند یا گاهی به صورت سولفیدهای فلزی دیگر (مانند کولیت، کالکوسیت، اسفالریت و گالن) رخ می‌دهند که در مقایسه با پیریت پتانسیل تولید اسید کمتری دارند (Raisanen, 2010).

### ۳-۵-۲-۱- محاسبه حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA)

حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA) به وسیله ضرب کردن مقدار گوگرد موجود در نمونه (که از آزمایش XRF به دست آمده) در عدد  $30/6$  محاسبه می‌شود (رابطه ۶) و واحد آن برابر با کیلوگرم اسیدسولفوریک به ازای یک تن باطله است. در این تخمین، حداکثر مقدار اسیدی که در یک تن باطله می‌تواند ایجاد شود، به دست می‌آید (Raisanen, 2010).

$$\text{MPA (Kg H}_2\text{SO}_4\text{t}^{-1}) = \%S \times 30.6 \quad \text{رابطه (۶)}$$

### ۳-۵-۲-۲- آزمون ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)

بخشی از اسید حاصل از اکسیداسیون پیریت، با کانی‌های خنثی‌کننده اسید موجود در نمونه واکنش نشان می‌دهند. توسط آزمایش تعیین ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC) می‌توان ظرفیت خنثی‌کنندگی نمونه را به دست آورد. به این منظور، نمونه‌ها از الک  $400$  مش عبور داده شدند. سپس  $10$  گرم از نمونه داخل بشر  $250$  میلی‌لیتری ریخته شد و به آن  $100$  میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. نمونه به مدت  $15$  دقیقه روی شیکر قرار داده شد و پس از آن pH ثبت گردید. سپس نمونه با اسیدسولفوریک  $1$  نرمال تیتر شد تا اینکه به pH  $3/5$  برسد. واحد ظرفیت خنثی‌سازی نمونه (ANC) از رابطه (۷) به دست می‌آید و واحد آن کیلوگرم اسید سولفوریک به ازای یک تن باطله است و از رابطه (۷) محاسبه می‌شود. در این تخمین، مقدار اسیدی که توسط نمونه می‌تواند خنثی یا مصرف می‌شود، به دست می‌آید (Bruynesteyn and Hackl, 1984).

$$\text{ANC}(\text{Kg H}_2\text{SO}_4\text{t}^{-1}) = \frac{V(\text{ml}) \times 0.049 \times 1000}{W(\text{g})} \quad \text{رابطه (۷)}$$

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 تولید نمی‌کند (Bruynesteyn and Hackl, 1984).

### ۳-۵-۲-۳- محاسبه پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP)

پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP) نشان‌دهنده تعادل بین حداکثر پتانسیل تولید اسید (MPA) نمونه و ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC) توسط نمونه است. پتانسیل تولید اسید خالص (NAPP) از طریق رابطه (۸)، به دست می‌آید (Sayoga Gautama and Jalu Kusuma, 2008) و واحد آن کیلوگرم اسیدسولفوریک به ازای یک تن باطله است.

$$\text{NAPP} (\text{Kg H}_2\text{SO}_4\text{t}^{-1}) = \text{MPA} (\text{Kg H}_2\text{SO}_4\text{t}^{-1}) - \text{ANC} (\text{Kg H}_2\text{SO}_4\text{t}^{-1}) \quad \text{رابطه (۸)}$$

به عبارت دیگر در این تخمین، حجم اسیدی که توسط کربنات کلسیم موجود در باطله خنثی می‌شود از حجم اسیدی که توسط کانی‌های تولیدکننده اسید تولید می‌شود، کم می‌شود. اگر NAPP مثبت باشد، نمونه دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشد، ولی اگر NAPP منفی باشد، نمونه دارای عدم پتانسیل تولید اسید است (Sanliyuksel Yusel and Baba, 2016).

### ۳-۵-۳- آزمون‌های استاتیکی ABA یا محاسبه اسید-باز (روش استرالیا-اقیانوسیه)

آزمایش‌های استاتیکی ABA، از معتبرترین آزمایش‌هایی هستند که برای ارزیابی پتانسیل تولید اسید نمونه‌های معدنی استفاده می‌شود. از میان این آزمایش‌ها، روش ABA اصلاح شده مورد توجه بیش‌تری قرار دارد (Adriana Mendez-Ortiz., 2017).

در این آزمایش‌ها، پتانسیل تولید اسید (AP) و پتانسیل خنثی سازی نمونه (NP) اندازه‌گیری شده و پس از مقایسه این دو مقدار، پتانسیل خنثی سازی خالص نمونه (NNP) به دست می‌آید و از این طریق، پتانسیل تولید زهاب اسیدی توسط نمونه مشخص می‌شود. AP، NP و NNP برحسب  $\text{KgCaCO}_3 \text{ t}^{-1}$  بیان می‌شوند.

### ۳-۵-۳-۱- محاسبه پتانسیل تولید اسید (AP)

برای محاسبه پتانسیل تولید اسید (AP)، از درصد گوگرد نمونه که توسط آنالیز XRF تعیین شده و با استفاده از ضرب کردن گوگرد کلی نمونه در عدد  $31/25$ ، طبق رابطه (۹)، استفاده می‌شود. واحد AP برابر با کیلوگرم کربنات کلسیم به ازای یک تن باطله است (Adriana Mendez-Ortiz *et al.*, 2017). در این تخمین، مقدار کربنات کلسیمی که به تولید اسید منجر می‌شود، به دست می‌آید.

$$\text{AP (Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}) = \%S \times 31.25 \quad \text{رابطه (۹)}$$

### ۳-۵-۳-۲- آزمون پتانسیل خنثی‌سازی نمونه (NP)

قبل از انجام این آزمایش باید آزمایش فیز (جدول ۳-۳) انجام گیرد تا حجم (V) و نرمالیتته (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 در آزمایش ABA بر اساس آزمایش فیز (Banerjee,

2014)

نرمالیته	حجم (ml)	نتیجه آزمایش فیز (صدای ناشی از اضافه کردن اسید)
۰/۱	۲۰	هیچ
۰/۱	۴۰	ضعیف
۰/۵	۴۰	متوسط
۰/۵	۸۰	قوی

برای انجام این آزمایش ابتدا نمونه از الک ۱۸ مش عبور داده شد. سپس ۰/۵ گرم نمونه عبور کرده از الک ۱۸ مش در بشر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد و چند قطره اسید کلریدریک ۲۵ درصد به آن اضافه گردید. بر اساس صدایی که شنیده می شود نتیجه آزمایش فیز به هیچ، ضعیف، متوسط و قوی (جدول ۳-۳) تقسیم می شود (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016) و بر این اساس حجم و نرمالیته اسید و نرمالیته باز مورد استفاده در آزمایش تعیین می شود.

برای تعیین پتانسیل خنثی سازی نمونه (NP)، ابتدا نمونه ها خرد و از الک ۶۰ مش عبور داده شدند. سپس ۲ گرم از نمونه عبور کرده از الک ۶۰ مش در یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد و ۹۰ میلی لیتر آب مقطر به آن افزوده گردید و سپس اسید کلریدریک ۲۵ درصد، با حجم و نرمالیته مشخص که بر اساس آزمایش فیز انتخاب شده، به آن افزوده شد. محتویات نمونه روی شیکر و در دمای اتاق قرار داده شد. پس از گذشت دو ساعت دوباره به نمونه اسید کلریدریک ۲۵ درصد، با حجم و نرمالیته مشخص که بر اساس آزمایش فیز انتخاب شده، افزوده شد. ۲۴ ساعت بعد، ۱۲۵ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. اگر pH در این مرحله در محدوده ۲ تا ۲/۵ باشد، حجم کل اسید مناسب است. اگر pH بیشتر از ۲/۵ باشد، نشان می دهد که مقدار اسید اضافه شده برای انجام واکنش ناکافی بوده است و اگر pH کمتر از ۲ است یعنی اسید اضافه شده بیشتر از مقدار مورد نیاز انجام واکنش بوده است. در هر یک

از این موارد، آزمایش با حجم بیشتر یا کمتر اسیدکلریدریک، دوباره تکرار می‌شود. در ادامه، محتویات ارلن مایر با کاغذ صافی، فیلتر شد و با استفاده از هیدروکسید سدیم که نرمالیتته مطابق آن با نرمالیتته اسیدکلریدریک مورد استفاده در مرحله قبلی است، تیترومی می‌شود تا pH به ۸/۳ برسد (Adriana Mendez-Ortiz., 2017). پتانسیل خنثی‌سازی (NP) از رابطه (۱۰) به دست می‌آید و واحد آن کیلوگرم کربنات کلسیم به ازای یک تن باطله است.

رابطه (۱۰)

$$NP \text{ (Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}\text{)} = [(N \times V \text{ (ml) of HCl)} - (N \times V \text{ (ml) of NaOH})] \times 50 / W \text{ (g)}$$

در این رابطه N برابر با نرمالیتته، 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.

### ۳-۳-۵-۳- پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)

پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)، از اختلاف بین پتانسیل خنثی‌سازی (NP) و پتانسیل تولید (AP)، توسط رابطه (۱۱)، محاسبه می‌گردد (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016) و واحد آن برابر با کیلوگرم کربنات کلسیم به ازای یک تن باطله است.

$$NNP \text{ (Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}\text{)} = NP \text{ (Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}\text{)} - AP \text{ (Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}\text{)} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

اگر NNP بیش‌تر از +۲۰ باشد، نمونه هیچ‌گونه پتانسیلی برای تولید اسید ندارد و اسیدی تولید نمی‌شود، ولی اگر NNP کم‌تر از -۲۰ باشد، در این صورت نمونه به طور بالقوه دارای پتانسیل تولید اسید خواهد بود. اگر مقدار NNP بین +۲۰ و -۲۰ باشد  $(-20 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1} < NNP < +20 \text{ kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1})$ ، در این صورت نمونه از نظر تولید اسید نامشخص می‌باشد (Plante et al., 2012). NPR (رابطه ۱۲) نیز به عنوان معیاری برای ارزیابی پتانسیل تولید اسید، استفاده قرار می‌شود (Raisanen et al., 2010).

$$\text{NPR} = \text{NP}(\text{Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}) / \text{AP}(\text{Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}) \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

این مقدار معمولاً طیف وسیعی از کمتر از ۱ تا ۲ را در بر می گیرد. اگر  $\text{NPR} < 1$  باشد، نشان می دهد که نمونه اسید تولید می کند. نمونه هایی که  $\text{NPR} > 4$  دارند، هیچگونه اسیدی تولید نمی کنند (Raisanen *et al.*, 2010).

### ۳-۵-۴- آزمون تشکیل اسید خاص (NAG)

از آزمون تشکیل اسید خاص (NAG) برای بررسی مستقیم پتانسیل تولید اسید یک نمونه استفاده می شود. این آزمون شامل واکنش نمونه با پراکسید هیدروژن است. در طول آزمون NAG، واکنش تولید اسید و خنثی سازی اسید می تواند به طور همزمان رخ دهد. بنابراین، نتیجه نهایی نشان دهنده مقدار اسید خالص تولید شده توسط نمونه است. بررسی ها نشان می دهد که در نمونه های با سولفید کم (کمتر از یک درصد گوگرد)، مواد سولفیدی کاملاً در شرایط آزمایش NAG اکسیده می شوند ولی در نمونه های با سولفید بالا (بیشتر از یک درصد گوگرد) اکسیداسیون به شکل کامل رخ نمی دهد. بنابراین آزمون NAG ممکن است پتانسیل تولید نمونه های با سولفید بالا (بیشتر از یک درصد گوگرد) را به درستی نشان ندهد، چون در نمونه های با گوگرد بالا، قبل از اینکه همه سولفیدها در نمونه اکسید شوند، تمام پراکسید هیدروژن مصرف می شود. همچنین دارای محتوی بالایی از مواد معدنی خنثی هستند که قابل دسترس می باشند و هر اسید تولید شده به سرعت با ظرفیت خنثی سازی قابل دسترس واکنش می دهد و pH خنثی را تولید می کند. چون اکسیداسیون سولفید ممکن است در این نمونه ها به صورت جزئی باشد. در نمونه های با سولفید کم (کمتر از یک درصد گوگرد) و مقدار ماده آلی بالا (بیشتر از ۵/۷ درصد) به دلیل واکنش پراکسید هیدروژن با مواد آلی برای تولید اسید، نیز ممکن است در آزمون NAG دخالت داشته باشد و اسیدیته مواد ارگانیکی ممکن است نتیجه غلطی از پتانسیل تولید اسید به دست آید (لوترموزر، ۱۳۹۴).

---

<sup>۱</sup>Net acid generation

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 هیدروژن ۱۵ درصد به نمونه اضافه شد. یک شیشه روی بشر قرار داده شد و ۲۴ ساعت فرصت داده شد تا نمونه با پراکسید هیدروژن واکنش دهد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، به منظور تسریع واکنش اکسیداسیون تمامی سولفیدهای نمونه و مصرف تمام پراکسید هیدروژن مورد استفاده، از گرمایش استفاده شد، به این ترتیب که نمونه داخل حمام آب (شکل ۳-۵) در دمای ۷۰ درجه، حداقل به مدت ۲ ساعت، قرار داده شد. پس از آن اجازه داده شد تا نمونه خنک شود و به دمای اتاق برسد. سپس ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به محتوای نمونه اضافه شده و pH اندازه‌گیری شد. اگر pH بیشتر از ۲/۵ بود، از سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار و در غیر این صورت از سدیم هیدروکسید ۰/۵ مولار استفاده می‌شود، به این صورت که پس از فیلتر کردن (شکل ۳-۶)، نمونه توسط سدیم هیدروکسید ۰/۱ یا ۰/۵ مولار تیترو می‌شود تا pH به ۷ برسد. مقدار NAG از رابطه (۱۳) به دست می‌آید و واحد آن بر حسب کیلوگرم اسید سولفوریک به ازای یک تن باطله است (Sanliyuksel (Yusel and Baba, 2016).

رابطه (۱۳)  $\text{NAG (Kg H}_2\text{SO}_4\text{t}^{-1}) =$

$$\frac{49 \times V_B \times b_M}{S_W}$$

در این رابطه،  $V_B$  برابر حجم

سدیم هیدروکسید بر حسب میلی‌لیتر،  $b_M$  برابر مولاریته و  $S_W$  برابر وزن نمونه بر حسب گرم می‌باشد.



شکل ۳-۵- نمایی از قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب



شکل ۳-۶- فیلتر کردن نمونه

بر اساس نتایج آزمون NAG، می‌توان باطله‌ها را به دسته‌های زیر رده‌بندی کرد (لوترموزر، ۱۳۹۴):  
عدم تشکیل اسید توسط نمونه<sup>۱</sup>(NAF): یک نمونه زمانی در رده NAF قرار می‌گیرد که NAPP آن منفی و  $\text{pH NAG} \geq 4.5$  باشد.  
دارای پتانسیل تشکیل اسید<sup>۲</sup>(PAF): نمونه‌ای در رده PAF قرار می‌گیرد که همیشه دارای مقدار قابل توجهی گوگرد باشد و پتانسیل تولید اسید در آن، بیش‌تر از خنثی‌سازی اسید باشد. چنین موادی دارای خطر بالایی از نظر تولید زهاب اسیدی هستند.  
دارای پتانسیل تشکیل اسید-ظرفیت بالا<sup>۳</sup>(PAF-HC): یک نمونه زمانی در رده PAF-HC قرار می‌گیرد که دارای NAPP مثبت،  $\text{pH NAG} < 4.5$  و  $\text{NAG} > 5$  باشد.  
دارای پتانسیل تشکیل اسید-ظرفیت پایین<sup>۴</sup>(PAF-LC): همچنین زمانی یک نمونه در رده PAF-LC قرار می‌گیرد که دارای NAPP مثبت،  $\text{pH NAG} < 4.5$  و  $\text{NAG} < 5$  باشد.

---

۱- Non-acid forming

۲- Potentially acid forming

۳- Potentially acid forming-high capacity

۴- Potentially acid forming-low capacity

نامشخص<sup>۱</sup>(UC): هنگامی که NAPP مثبت و  $\text{NAG pH} \geq 4.5$  و یا وقتی که NAPP منفی و 4.5 < NAG pH باشد، نمونه در رده نامشخص قرار می‌گیرد.

در صورتی که 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.

### ۳-۵-۵- آزمون تولید اسید خاص<sup>۲</sup> (NAP)

این آزمون همانند آزمون NAG می‌باشد، با این تفاوت که در این آزمون، از پراکسید هیدروژن غلیظ استفاده می‌شود. به منظور 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. یک ساعت بعد، 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). در آخر محتوای نمونه فیلتر می‌شود، pH اندازه‌گیری می‌شود و آنقدر سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال اضافه می‌شود تا pH به ۷ برسد. سپس NAP از رابطه (۱۴) به دست می‌آید. واحد NAP بر حسب کیلوگرم اسید سولفوریک به ازای یک تن باطله است (Lapakko and Lawrence, 1993).

$$\text{NAP (Kg CaCO}_3 \text{ t}^{-1}) = \frac{50ab}{c} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

در این رابطه a برابر با نرمالیه سدیم هیدروکسید، b برابر با حجم سدیم هیدروکسید بر حسب میلی‌لیتر و c هم برابر وزن نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

<sup>۱</sup>-Uncertain

<sup>۲</sup>-Net acid potential

فصل چہارم

نتایج و بحث

#### ۴-۱- مقدمه

فرآیند شستشوی زغال سنگ در کارخانه زغال شویی مهماندوست باعث تولید حجم عظیمی از باطله شده که در اطراف این کارخانه دورریزی شده‌اند. باطله‌های حاصل از زغال شویی، از مهم‌ترین منابع تولید زهاب اسیدی معدن می‌باشند. هدف از این پژوهش، ارزیابی تولید زهاب اسیدی معدن (AMD) توسط باطله‌های زغال شویی کارخانه مهماندوست می‌باشد. در این فصل پس از بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی باطله‌های کارخانه مهماندوست به بررسی احتمال تشکیل زهاب اسیدی توسط این باطله‌ها پرداخته می‌شود.

#### ۴-۲- ترکیب ژئوشیمیایی باطله‌ها

به طور کلی مواد تشکیل‌دهنده زغال سنگ عبارتند از:

- ۱- مواد آلی (شامل ترکیبات کربن، اکسیژن، هیدروژن، گوگرد، نیتروژن و فسفر)
- ۲- مواد معدنی (شامل کلسیم، آلومینیم، آهن، کلسیم، منگنز، پتاسیم، سدیم و مقدار کمی عناصر جزئی) (Widodo *et al.*, 2010).

بخش عمده اثرات زیست‌محیطی زغال سنگ، ناشی از مواد معدنی موجود در این سوخت فسیلی است. بنابراین بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی زغال سنگ (بررسی غلظت عناصر اصلی و جزئی در آن) اهمیت بسیار زیادی دارد. بر اساس نتایج آنالیز XRF بر روی نمونه‌های معرف (جدول ۴-۱)، اکسیدهای  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  به ترتیب با میانگین ۳۸ و ۱۶/۸ درصد، از بیش‌ترین مقدار برخوردار بوده و قسمت عمده باطله‌ها را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که اکسیدهای  $\text{CaO}$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{TiO}_2$  به ترتیب با میانگین ۰/۱، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۱، دارای کم‌ترین غلظت می‌باشد. با توجه به نتایج کانی‌شناسی باطله‌های مورد مطالعه، حضور این اکسیدها را می‌توان با حضور کانی‌های سیلیکاتی مانند کوارتز ( $\text{SiO}_2$ )، موسکویت ( $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2\text{-AlSi}_3\text{O}_{10}]$ ) و ایلیت ( $\text{KAl}_4(\text{Si}_6,\text{Al}_2)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ) توضیح داد.



بر اساس نتایج آنالیز XRF، بالاترین درصد گوگرد در نمونه شماره ۵ و کمترین آن در نمونه شماره ۳ مشاهده می‌شود. میانگین مقدار گوگرد در نمونه‌های مورد مطالعه، ۰/۴ می‌باشد.

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

نمونه	L.O.I	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl
۱	۱۲/۲	۳۷/۷	۱۶/۹	۰/۹	۱	۶/۱	۰/۱	۰/۵	۱/۱	۳/۲	<۰/۱
۲	۱۰/۸	۴۳/۵	۱۸/۱	۰/۳	۰/۹	۴/۸	۰/۱	۰/۴	۱/۱	۳/۲	<۰/۱
۳	۹/۴	۳۸/۷	۱۸/۱	۰/۴	۰/۹	۴/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۹	۲/۷	<۰/۱
۴	۱۱/۲	۴۲/۶	۱۹/۸	۰/۴	۱/۴	۶/۶	۰/۰۸	۰/۴	۱/۱	۲/۴	<۰/۱
۵	۱۲/۴	۳۶	۱۴/۴	۰/۶	۰/۹۰	۷	۰/۱	۰/۵	۱/۱	۴	<۰/۱
۶	۱۰/۶	۲۵/۸	۱۳/۲	۰/۷	۰/۵۱	۳/۳	۰/۱	۰/۳	۱/۰۴	۱/۷	<۰/۱
۷	۱۱/۸	۴۱/۹	۱۷/۲	۱/۲	۱	۵/۲	۰/۰۹	۰/۴	۱/۲	۳/۶	<۰/۱
میانگین	۱۱/۲	۳۸	۱۶/۸	۰/۶	۰/۹	۵/۳	۰/۰۹	۰/۴	۱	۲/۹	<۰/۱

در جدول ۴-۲ غلظت عناصر در باطله‌های زغال‌شویی البرزشرقی، در مقایسه با مقدار کلارک (فراوانی پوسته‌ای) این عناصر ارائه شده است. عناصر جزئی Cu، Mo، As، Cd، Cr، Pb، Sb و Zn نسبت به مقادیر کلارک غنی‌شدگی نشان می‌دهند. این احتمالاً مربوط به حضور کانی‌های سولفیدی، سولفاتی، کربناتی و سیلیکاتی در نمونه‌ها است. برای مثال غلظت بسیار بالای آنتیموان و آرسنیک در نمونه‌ها، احتمالاً با حضور این عناصر در کانی پیریت در ارتباط است. لازم به ذکر است که در مورد اکثر عناصر مورد مطالعه، حداکثر غلظت عناصر در نمونه شماره ۴ (درشت‌دانه سطحی)، مشاهده می‌شود.

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	میانگین	کلارک
Cu	۱۲۸	۷۴	۹۰	۶۹	۷۹	۸۹	۵۶	۸۳	۵۵
Mn	۲۲۹	۱۶۴	۱۳۹	۲۷۳	۱۷۶	۱۴۶	۸۵	۱۷۳	۹۵۰
Mo	۱۷	۲۱	۱۰	۸	۷	۷	۱۳	۱۱	۱
Ni	۵۳	۶۲	۶۰	۶۹	۵۸	۵۷	۶۴	۶	۷۵
As	۹	۹	۸	۱۹	۹	۹	۸	۱۰	۱
Cd	۰/۹	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۲
Co	۹	۷	۹	۸	۷	۸	۹	۸	۲۵
Cr	۱۱۵	۱۲۸	۱۳۰	۱۳۷	۱۲۴	۱۳۴	۱۳۷	۱۲۹	۱۰۰
Pb	۳۶	۶۴	۴۱	۶۷	۷۱	۷۵	۴۳	۵۶	۱۳
Sb	۱۸	۲۰	۱۷	۲۰	۱۸	۱۹	۱۸	۱۸	۰/۲
Zn	۸۲	۱۲۶	۹۹	۱۲۹	۱۱۵	۱۱۷	۸۹	۱۰۸	۷۰
Ca	۴۰۰۰	۱۴۰۰	۳۴۰۰	۲۲۰۰	۴۵۰۰	۴۷۰۰	۲۶۰۰	۳۲۵۷	۳۶۳۰۰
Fe	۲۲۲۰۰	۱۹۵۰۰	۱۷۹۰۰	۳۴۱۰۰	۱۷۴۰۰	۱۷۴۰۰	۸۵۰۰	۱۹۵۷۱	۵۰۰۰۰

همان‌طور که گفته شد، زهاب اسیدی از هوازدگی و اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت به وجود می‌آید. زهاب‌ها، از طریق اسیدی کردن و بالا بردن غلظت فلزات سمی، شرایط را برای انحلال و مهاجرت فلزات سنگین فراهم می‌کند. زهاب اسیدی قادر به تجزیه فلزات سنگینی است که در باطله‌های معدن وجود دارد. فلزاتی نظیر سرب، روی، مس، منگنز، کروم و کادمیم پس از تجزیه به آب‌های سطحی و زیرزمینی سرازیر می‌شوند. آلودگی زهاب اسیدی معادن و فلزات سنگین، توانایی سمی نمودن آب‌های زیرزمینی و به خصوص آب آشامیدنی را دارند. این زهاب اسیدی همچنین حیات آبریان را به طور کلی نابود می‌کند (Swain and Gooda, 1995).

در جدول ۳-۴، مقادیر ضریب غنی‌شدگی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های باطله زغال‌شویی کارخانه مهماندوست ارائه شده است.

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

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	میانگین
Cu	۰/۶	۱	۰/۶	۰/۳	۰/۰۶	۰/۰۴	۱/۶	۰/۷
Mn	۰/۴	۱/۲	۰/۶	۰/۶	۱/۳۱	۰/۶۷	۰/۱	۰/۶
Mo	۵۰	۱۷۰	۴۰	۵۰	۶۰	۳۰	۲۳	۵۶/۱
Ni	۱/۸	۵/۷	۳	۲/۲	۵/۵	۳/۳	۶/۶	۴
As	۱۶/۱	۴۲/۷	۲۲/۶	۲۷/۷	۴۳/۱	۲۶/۷	۸۹/۲	۳۸/۳
Cd	۱۳/۳	۱۹/۷	۳۲/۲	۱۸/۶	۳۳/۷	۲۳/۵	۱۵/۴	۲۲/۲
Co	۱	۲/۸۴	۱/۵۰	۱/۰	۲/۸	۱/۷	۳/۹	۲/۱
Cr	۳/۱	۹/۱	۴/۹	۳/۳	۸/۱	۵/۹	۲/۳	۵/۲
Pb	۱۱/۶	۵۴/۷	۱۸/۵	۱۹/۴	۶۱/۲	۴۰/۱	۷۶/۷	۴۰/۳
Zn	۳/۳	۱۳/۴	۵/۵	۴/۶	۱۲/۳	۷/۸	۱۰/۸	۸/۲
Sb	۳/۲	۸/۵	۴/۵	۲/۹	۸/۶	۵/۳	۱۰/۸	۶/۲

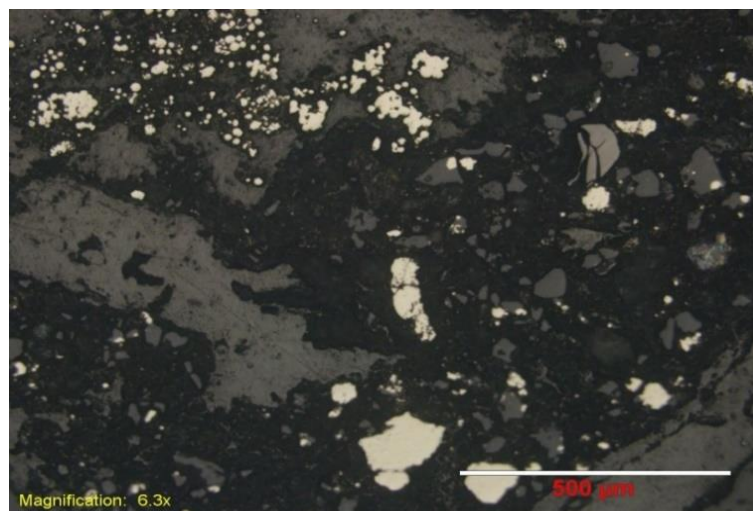
بر اساس داده‌های جدول و نیز جدول ۲-۳، باطله‌های زغال‌شویی نسبت به عناصر Cu و Mn بدون غنی‌شدگی، نسبت به Co دارای غنی‌شدگی اندک، نسبت به Ni دارای غنی‌شدگی متوسط، نسبت به Cr، Sb و Zn دارای غنی‌شدگی نسبتاً شدید، نسبت به As، Cd و Pb دارای غنی‌شدگی خیلی شدید و نسبت به Mo دارای غنی‌شدگی بینهایت هستند. بنابراین در صورت تولید زهاب اسیدی توسط باطله‌های حاصل از زغال‌شویی، احتمال آلودگی منابع آب سطحی، زیرزمینی و خاک به عناصر بالقوه سمّی، به ویژه آرسنیک، کادمیم، سرب و مولیبدن بالاست. به دلیل غنی بودن باطله‌ها از عناصر Mo، As، Cd و Pb، احتمال حضور کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و اسفالریت، غنی‌بودن از عناصر As و Pb، احتمال

حضور کانی مارکازیت و همچنین غنی بودن عنصر Cd در باطله‌ها، احتمال حضور کانی گالن در باطله‌ها زیاد است.

### ۳-۴- مطالعات بافتی و کانی‌شناسی

#### ۳-۴-۱- مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی

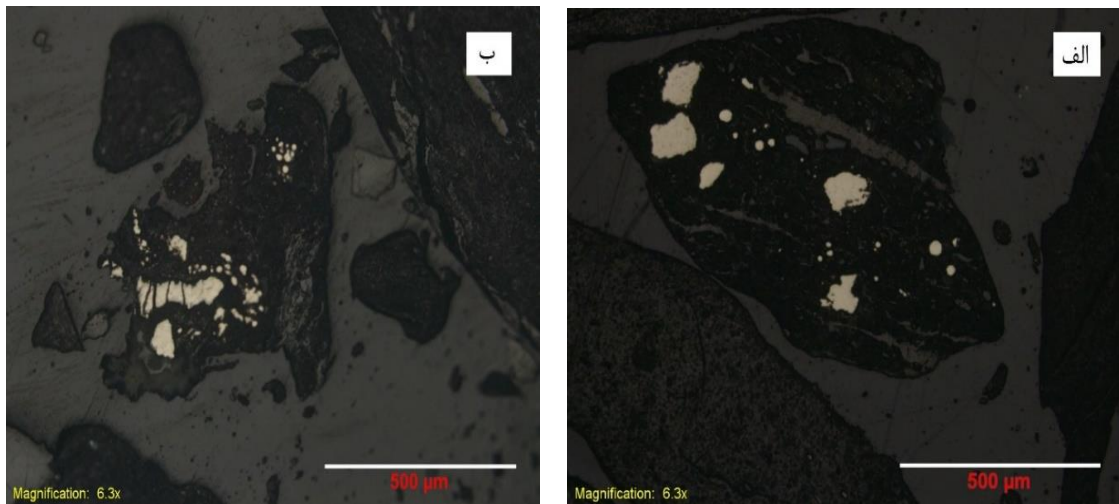
با وجود اینکه قسمت عمده زغال‌سنگ را ترکیبات آلی تشکیل می‌دهد، اما با این وجود زغال‌سنگ دارای مقادیر کمی مواد معدنی است که در درز و شکاف‌های آن قرار می‌گیرد. کوارتز، کانی‌های رسی، کربنات‌ها و سولفیدها از مهم‌ترین مواد معدنی موجود در زغال‌سنگ می‌باشند. کوارتز و کانی‌های رسی اغلب دارای منشأ آواری و کربنات‌ها دارای منشأ ثانویه‌اند (Widodo *et al.*, 2010).



شکل ۳-۴-۱- تصویر میکروسکوپی تجمعات پیریت در نمونه درشت‌دانه سطحی شماره ۴

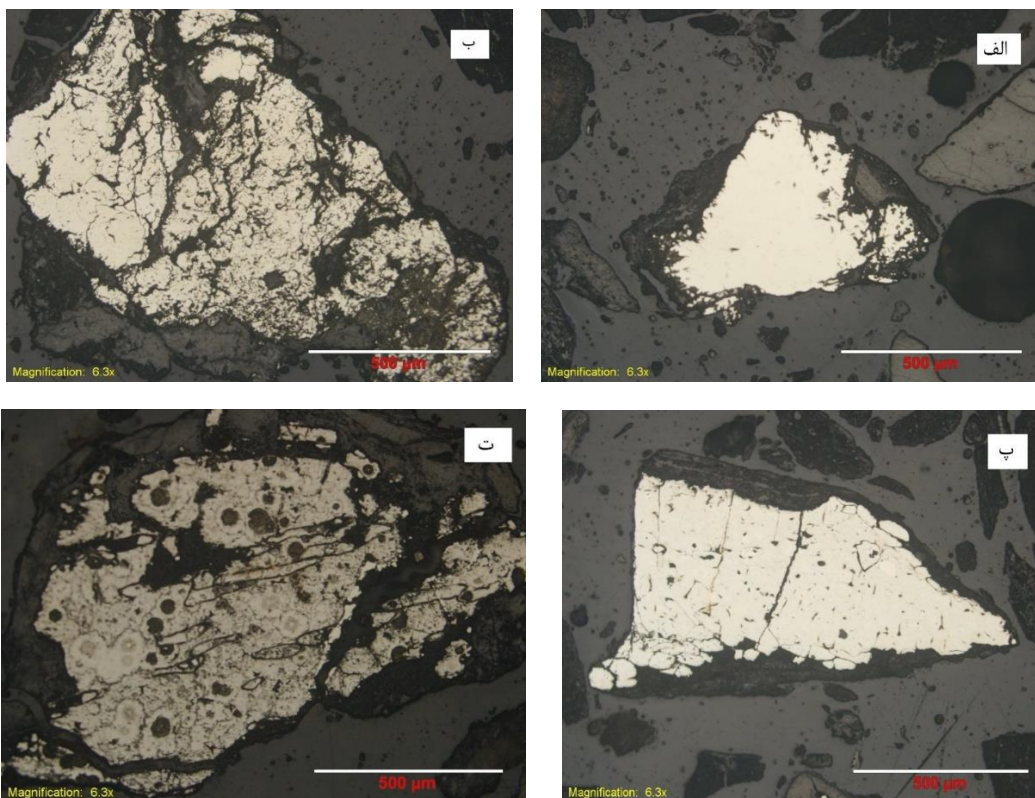
با توجه به بررسی‌های کانه‌نگاری توسط میکروسکوپ نوری انعکاسی (شکل ۳-۴-۱)، تنها کانی سولفیدی مشاهده شده در مقاطع صیقلی مورد مطالعه، کانی پیریت می‌باشد. همچنین این کانی به صورت ذرات ریز زرد رنگی و براق در برخی در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است. حضور مقادیر فراوان پیریت در باطله‌های فرآوری (به ویژه در نمونه ۴ نشانگر احتمال تولید زهاب اسیدی در این باطله‌ها است. این امر، بالا بودن غلظت عناصر در نمونه ۴ را در مقایسه با سایر نمونه‌ها (جدول ۳-۴) توجیه می‌کند. نمونه

درشت‌دانه سطحی شماره ۳ و نمونه ریزدانه جدید شماره ۷، فاقد پیریت بوده یا مقدار این کانی در آن‌ها بسیار کم است.



شکل ۴-۲- تصاویر میکروسکوپی حضور پیریت در نمونه ریزدانه قدیمی شماره ۷ (الف)، نمونه درشت‌دانه سطحی شماره ۳ (ب)

بر اساس مطالعات صورت گرفته، پیریت‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه به دو شکل متفاوت شامل بلورهای بی‌شکل و نیمه‌شکلدار و تجمعات فرامبوئیدی مشاهده می‌شود. پیریت‌های بی‌شکل و نیمه‌شکلدار دارای اندازه ریز هستند که به صورت پراکنده در همه نمونه‌ها حضور دارند (شکل ۴-۳). به طور کلی پیریت‌های بی‌شکل از فراوانی کم‌تری برخوردار هستند. به طور کلی، هر چه کانی پیریت بی‌شکلتر باشد، احتمال اکسیداسیون آن و تشکیل زهاب اسیدی بیش‌تر است (Lottermoser, 2010).



شکل ۴-۳- تصاویر میکروسکوپی از پیریت‌های بی‌شکل و نیمه‌شکلدار، (الف) نمونه درشت‌دانه سطحی شماره ۱، (ب) نمونه درشت‌دانه سطحی شماره ۲، (پ) نمونه درشت‌دانه سطحی شماره ۳، (ت) نمونه درشت‌دانه قدیمی شماره ۴

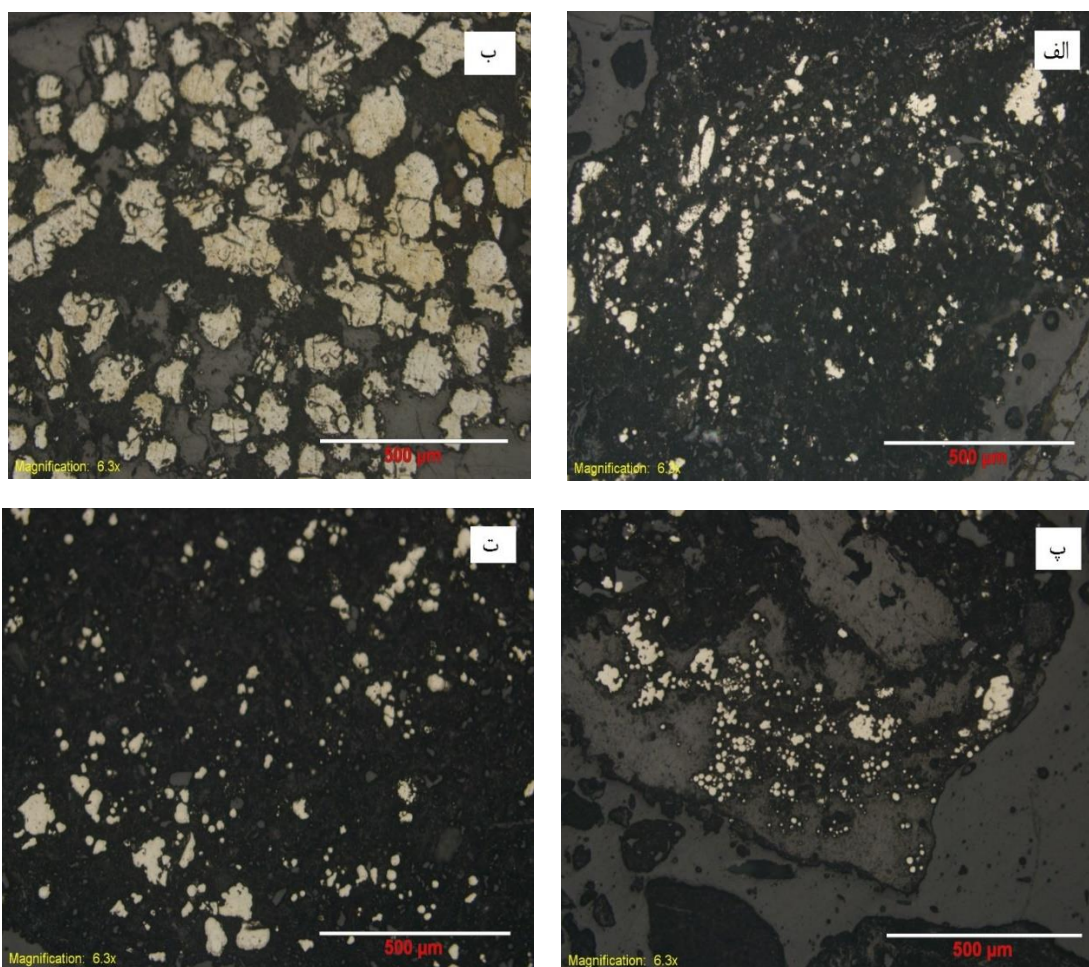
پیریت بی‌شکل و نیمه‌شکلدار، در نمونه‌های درشت‌دانه سطحی شماره ۱، ۲ و ۳ و نیز در نمونه ریزدانه قدیمی شماره ۴ مشاهده می‌شود. در نمونه ۲ (شکل ۴-۳، ب)، پیریت دارای شکستگی‌های زیادی است بنابراین احتمال هوازدگی آن بالاست. چرا که حداکثر اکسایش پیریت، در امتداد ترک‌ها و حفره‌ها رخ می‌دهد (Lottermoser, 2010).

پیریت‌های فرامبوئیدی به صورت تجمعات کروی (شکل ۴-۴) می‌باشند. این پیریت‌ها جزء پیریت‌های همزاد می‌باشند (Casagrande *et al.*, 1977). هر چقدر اندازه ذرات کوچک باشد، مساحت سطحی ذرات پیریت زیادتر می‌باشد، در نتیجه واکنش‌پذیری آن افزایش می‌یابد. پیریت‌های فرامبوئیدی به دلیل داشتن ظاهری تمشک‌گونه و مساحت سطحی و تخلخل زیاد از واکنش‌پذیری بیش‌تری برخوردارند. مورفولوژی خاصی که این پیریت‌ها دارند، باعث ایجاد سطح بیش‌تری می‌شود. در نتیجه سریع‌تر اکسید



می‌شوند و اسید بیش‌تری تولید می‌کنند (Widodo *et al.*, 2010). مساحت سطحی ذرات، اصلی‌ترین عامل تعیین‌نرخ واکنش و انحلال پیریت است.

این نوع پیریت (شکل ۴-۴)، در نمونه‌های درشت‌دانه سطحی شماره ۲، ۴ و نمونه ریزدانه جدید شماره ۷ مشاهده می‌شود. حضور پیریت فرامبوئیدی، احتمال تولید زهاب اسیدی را افزایش می‌دهد.



شکل ۴-۴- تصاویر میکروسکوپی تجمعات پیریت فرامبوئیدی، (الف) نمونه شماره ۱، (ب) نمونه شماره ۲،

(پ) نمونه شماره ۴، (ت) نمونه شماره ۷

## ۴-۳-۲- بررسی ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های زغال‌شویی با استفاده از روش

### پراش پرتو ایکس (XRD)

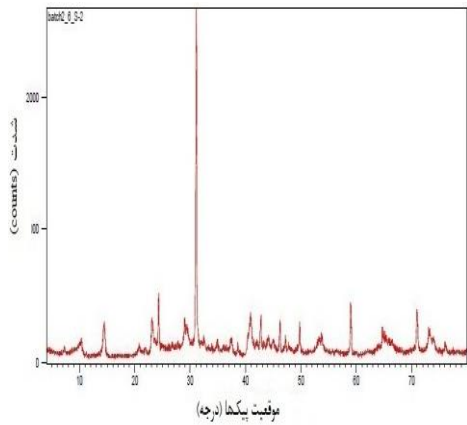
بر اساس نتایج آنالیز XRD (شکل‌های ۴-۵ تا ۴-۱۱)، کانی‌های موجود در باطله‌های کارخانه زغال‌شویی البرزشرقی، کانی‌های رسی سیلیکاتی شامل کوارتز ( $\text{SiO}_2$ )، موسکویت ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ )، کلینوکلر ( $(\text{MgFe}_2+\text{Al})_6 [(\text{OH})_8 (\text{AlSi})_4 \text{O}_{10}]$ )، کائولینیت ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ )، ایلیت ( $\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH})_4$ )، مونت‌موریلونیت ( $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ )، کانی‌های کربناته شامل کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ )، کانی سولفاتی شامل ژپس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) و کانی سولفیدی شامل پیریت ( $\text{FeS}_2$ ) می‌باشد. کانی‌های کوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) و کائولینیت ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) کانی‌های اصلی هستند که در همه نمونه‌ها حضور دارند.

کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس (XRD)، کانی‌های با فراوانی کم‌تر از ۵ درصد را نمی‌تواند تشخیص دهد (Lopez et al., 2008). به همین دلیل علیرغم مشاهده پیریت در باطله‌های زغال‌شویی مهماندوست، این کانی در بررسی‌های کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس (XRD)، فقط در باطله درشت دانه عمقی شماره ۵ (شکل ۴-۹)، مشاهده شد و در باطله‌های دیگر شناسایی نگردید.

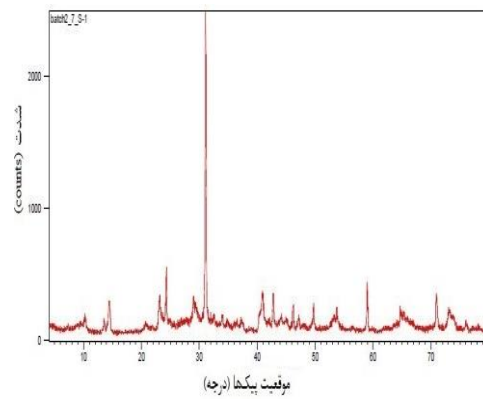
مخزن اصلی ظرفیت خنثی کردن موجود در محیط‌زیست، کانی‌های سیلیکاته هستند. حضور کانی‌های ایلیت، کائولینیت و مونت‌موریلونیت می‌تواند ناشی از هوازدگی فلدسپارپتاسیم باشد. در اثر هوازدگی این کانی‌ها، یون‌های هیدروژن موجود در محلول مصرف می‌شوند و یون‌های بی‌کربنات تولید می‌شوند و باعث خنثی شدن اسید می‌شوند (لوترموزر، ۱۳۹۴). سیلیکات‌های صفحه‌ای مانند کلریت و ایلیت به طور خاص قادر به جذب سطحی یون‌های فلزی از محلول‌های منفذی هستند.

کانی‌های کربناتی، نقش بسیار مهمی در تولید اسید دارند. فراوانی کانی‌های کربناته از جمله کلسیت که در هنگام هوازدگی و شستشو سبب آزادی عناصری مثل  $\text{Ca}$  و  $\text{Mg}$  در آب شده و اسید حاصل از اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی را خنثی می‌نماید (لوترموزر، ۱۳۹۴).

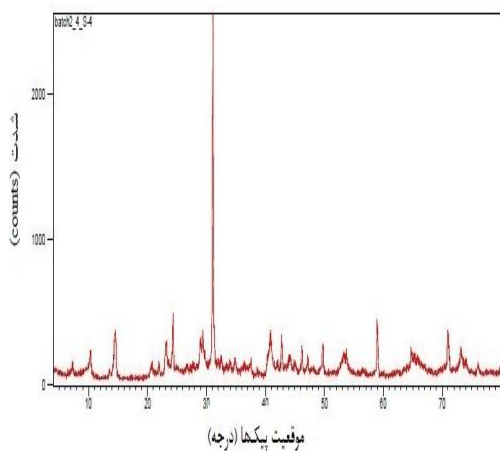




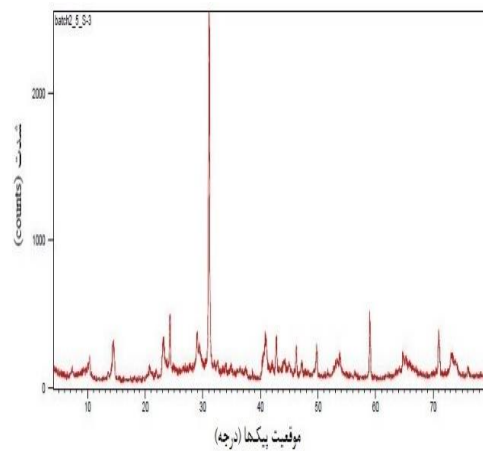
شکل ۴-۶- نمودار پراش اشعه X باطله درشت‌دانه سطحی شماره ۲. شامل کانی‌های کوارتز، کائولینیت، ایلیت، کلینوکلر و کلینوکلر آهن‌دار می‌باشد.



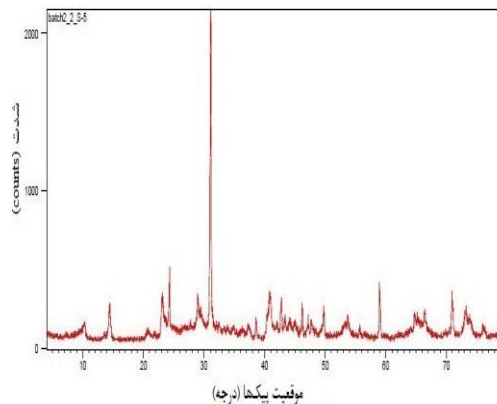
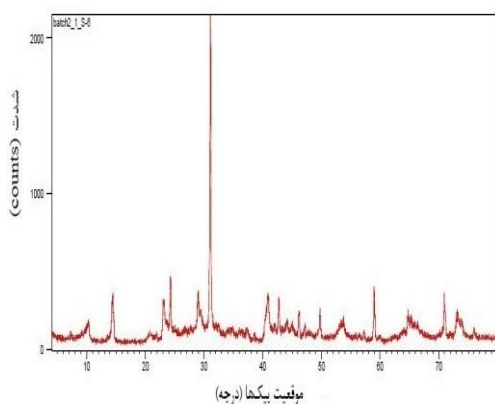
شکل ۴-۵- نمودار پراش اشعه X باطله درشت‌دانه سطحی شماره ۱. شامل کانی‌های کوارتز، کائولینیت، کلسیت، ژپس، کلینوکلر، موسکویت و ایلیت می‌باشد.



شکل ۴-۸- نمودار پراش اشعه X باطله درشت‌دانه سطحی شماره ۴. شامل کانی‌های کوارتز، موسکویت، کلینوکلر (آهن‌دار)، کلسیت، کائولینیت، ژپس و ایلیت (سدیم دار) می‌باشد.

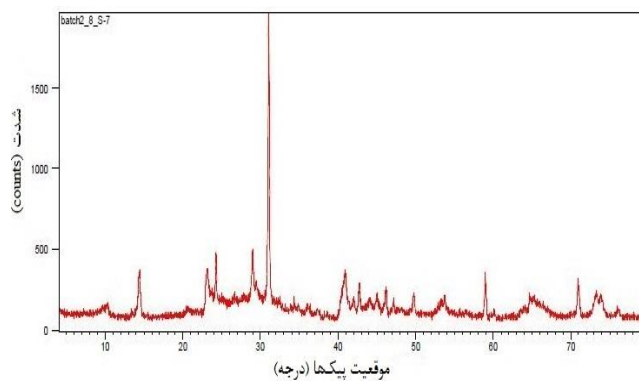


شکل ۴-۷- نمودار پراش اشعه X باطله درشت‌دانه سطحی شماره ۳. شامل کانی‌های کوارتز، موسکویت، کائولینیت، کلینوکلر و ژپس می‌باشد.



شکل ۴-۱۰- نمودار پراش اشعه X باطله ریزدانه قدیم شماره ۶. شامل کانی‌های کوارتز، کائولینیت، ایلیت، کلینوکلر (آهن‌دار)، موسکویت و مونت‌موریلونیت می‌باشد.

شکل ۴-۹- نمودار پراش اشعه X باطله درشت‌دانه عمقی شماره ۵، شامل کانی‌های کوارتز، پیریت، کائولینیت، ایلیت، کائولینیت-مونت‌موریلونیت و موسکویت می‌باشد.



شکل ۴-۱۱- نمودار پراش اشعه X باطله ریزدانه جدید. شماره ۷، شامل کانی‌های کوارتز، کائولینیت، موسکویت، کلسیت و مونت-موریلونیت می‌باشد.

در انحلال کانی‌های کربناته علاوه بر کاهش دادن خاصیت اسیدی زهاب اسیدی به سمت خنثی، باعث خارج شدن فلزات محلول مانند آهن و آلومینیوم از فاز محلول می‌شود. به همین دلیل کانی‌های کربناته، نقش مهمی را در خنثی کردن اسید بر عهده دارند. کانی کلسیت به دلیل انحلال‌پذیری بالا نسبت به

سایر کانی‌های کربناته، از مهم‌ترین عامل خنثی‌کننده اسید می‌باشد (Plumlee, 1999). کانی کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ ) در باطله‌های شماره ۱، ۴ و ۶، (شکل ۴-۵، ۴-۸ و ۴-۱۱) مشاهده شد. ژیپس از کانی‌های رایجی است که به صورت بلورهای سوزنی‌شکل بر روی باطله‌های زغال‌سنگ و در مناطقی که تحت تأثیر زهاب اسیدی قرار گرفته‌اند، دیده می‌شود. کانی ژیپس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (شکل ۴-۵، ۴-۷ و ۴-۸)، در نمونه‌های درشت‌دانه سطحی شماره ۱، ۳ و ۴ مشاهده شد. خنثی شدن زهاب اسیدی معمولاً باعث کاهش غلظت سولفات محلول در زهاب نمی‌شود و در زهاب‌های خنثی نیز همچنان غلظت سولفات بالاست. یون سولفات حل شده با عناصری مانند Ca واکنش می‌دهد و در نتیجه کانی ژیپس تشکیل می‌شود. همراه با ته‌نشینی این کانی، عناصر موجود در آب‌های اسیدی را جذب سطحی و ته‌نشین می‌کند. نامتحرک شدن عناصر به این روش موقتی است، چون این کانی انحلال‌پذیر است و انحلال دوباره ژیپس می‌تواند باعث ورود فلزات به آب شود و اسید تولید نماید (لوترموزر، ۱۳۹۴).

#### ۴-۴-۴ ارزیابی پتانسیل تولید اسید توسط روش‌های استاتیک

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

#### گل اشباع

pH با تحرک و انحلال‌پذیری فلزات سنگین رابطه مستقیم دارد، به عبارت دیگر تغییرات pH دسترس‌پذیری عناصر را تغییر می‌دهد (Doulati Ardejani, 2010). در pHهای پایین میزان تحرک فلزات افزایش می‌یابد. اکسیداسیون پیریت باعث کاهش pH می‌شود (Banks and Banks, 2001)، اما این فرآیند یک فرآیند وابسته به زمان است، یعنی pH نمونه‌ها اطلاعاتی قطعی از تمایل و قابلیت تولید زهاب اسیدی نمونه‌ها در آینده فراهم نمی‌کند.

با اینحال، در صورتی که pH گل اشباع از ۴ کمتر باشد، نشانگر 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 (۴-۴) ارائه شده است. باطله‌های درشت دانه سطحی شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای pH کمتر از ۴ و هدایت الکتریکی بالاتر از ۲۰۰۰ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) می‌باشند، بنابراین این نمونه‌ها دارای پتانسیل تولید زهاب هستند. نمونه‌های شماره ۳ و ۷ دارای pH بیش‌تر از ۴ و هدایت الکتریکی پایین‌تر از ۲۰۰۰ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) می‌باشند و احتمالاً فاقد پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند. نمونه درشت‌دانه شماره ۴، دارای کم‌ترین pH و نمونه ریزدانه قدیمی شماره ۷، دارای بیش‌ترین pH در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌باشد.

جدول ۴-۴- نتایج اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی (EC)

شماره نمونه	نمونه	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	ارزیابی تولید اسید
۱	درشت دانه سطحی	۲/۸	۲۳۸۴	احتمال تولید اسید
۲	درشت دانه سطحی	۳/۳	۲۲۴۱	احتمال تولید اسید
۳	درشت دانه سطحی	۵/۶	۱۵۱۵	عدم احتمال تولید اسید
۴	درشت دانه سطحی	۲/۴	۲۱۲۰	احتمال تولید اسید
۵	درشت دانه عمقی	۲/۷	۲۰۴۰	احتمال تولید اسید
۶	ریزدانه جدید	۳/۸	۲۰۸۵	احتمال تولید اسید
۷	ریزدانه قدیم	۵/۸	۱۸۴۲	عدم احتمال تولید اسید

#### ۴-۴-۲- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای روش آمریکای شمالی

بر اساس نتایج (جدول‌های ۴-۵ و ۴-۶)، نمونه‌های ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای NAPP مثبت می‌باشند، به عبارتی  $MPA > ANC$  می‌باشد و این باطله‌ها دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند. در نمونه‌های شماره ۳ و ۷، NAPP منفی و  $MPA < ANC$  می‌باشد، بنابراین این باطله‌ها فاقد پتانسیل تولید اسید هستند.

جدول ۴-۵- پارامترهای آزمون ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC) در نمونه مورد مطالعه

شماره نمونه	نمونه	pH قبل از تیتراژ کردن	حجم اسید (ml)	نرمالیت اسید
۱	درشت دانه سطحی	۵/۴	۱/۸	۱
۲	درشت دانه سطحی	۵/۵	۰/۹	۱
۳	درشت دانه سطحی	۴/۲	۳	۱
۴	درشت دانه سطحی	۳/۹	۲	۱
۵	درشت دانه عمقی	۵/۵	۰/۶	۱
۶	ریزدانه جدید	۵/۵	۱	۱
۷	ریزدانه قدیم	۷/۳	۳/۷	۱

جدول ۴-۶- نتایج ارزیابی تولید (MPA) یا مصرف اسید (ANC)

شماره نمونه	نمونه	MPA (KgH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> t <sup>-1</sup> )	ANC (KgH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> t <sup>-1</sup> )	NAPP (KgH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> t <sup>-1</sup> )
۱	درشت دانه سطحی	۱۶	۸/۸	+۷/۲
۲	درشت دانه سطحی	۱۲/۳	۱/۴	+۱۰/۹
۳	درشت دانه سطحی	۱۳	۱۸/۱	-۵/۱
۴	درشت دانه سطحی	۱۲/۲	۹/۸	+۲/۴
۵	درشت دانه عمقی	۱۶/۹	۲/۹	+۱۴
۶	ریزدانه جدید	۱۱/۳	۴/۹	+۶/۴
۷	ریزدانه قدیم	۱۰/۶	۱۴/۷	-۴/۱

#### ۴-۴-۳- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای روش استرالیا-

#### اکیانوسیه

طبق نتایج آزمون ABA (جدول ۴-۷ و ۴-۸)، مقدار NNP نمونه‌های ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، کم‌تر از ۲۰- بوده و بنابراین این باطله‌ها دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند. NNP باطله‌های شماره ۳ و ۷، بیش‌تر از ۲۰+ بوده و بنابراین فاقد پتانسیل تولید اسید می‌باشند.

نسبت NPR و ANC/MPA باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، کم‌تر از یک می‌باشد، در نتیجه این باطله‌ها دارای پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند، ولی در باطله‌های شماره ۳ و ۷، این دو نسبت بیش‌تر از یک می‌باشد، در نتیجه این باطله‌ها دارای عدم پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند (جدول

۴-۸).

جدول ۴-۷- نتایج آزمون پتانسیل خنثی‌سازی (NP)

شماره نمونه	نمونه	آزمایش فیز	حجم اسید (ml)	نرمالیتته اسید	حجم باز (ml)	نرمالیتته باز
۱	درشت دانه سطحی	قوی	۸۰	۰/۵	۹۳/۵	۰/۵
۲	درشت دانه سطحی	ضعیف	۴۰	۰/۱	۴۴/۵	۰/۱
۳	درشت دانه سطحی	متوسط	۴۰	۰/۵	۳۰	۰/۵
۴	درشت دانه سطحی	قوی	۸۰	۰/۵	۸۳/۴	۰/۵
۵	درشت دانه عمقی	متوسط	۴۰	۰/۵	۷۳/۶	۰/۵
۶	ریزدانه جدید	ضعیف	۴۰	۰/۱	۵۴/۹	۰/۱
۷	ریزدانه قدیم	ضعیف	۴۰	۰/۱	۳۶/۴	۰/۱

بر اساس نتایج آزمون NP (جدول ۴-۸)، نمونه‌های شماره ۷ و ۳، به ترتیب دارای NP بیش‌تر و AP کم‌تر از بقیه باطله‌ها هستند یعنی اینکه پتانسیل خنثی‌سازی این باطله‌ها از پتانسیل تولید اسید آن‌ها در مقایسه با سایر نمونه‌ها بیش‌تر است.

جدول ۴-۸- نتایج آزمایش‌های استاتیکی ABA

شماره نمونه	نمونه	NP (KgCaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )	AP (KgCaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )	NNP (KgCaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )	NPR= NP/AP	ANC/MPA
۱	درشت دانه سطحی	-۱۶۸/۷	۱۶/۴	-۱۸۵/۱	-۱۰/۲	۰/۵
۲	درشت دانه سطحی	-۱۱/۲۵	۱۲/۶	-۲۳/۹	-۰/۸	۰/۱
۳	درشت دانه سطحی	۱۲۵	۱۰/۸	۱۱۴/۱	۱۱/۵	۱/۳
۴	درشت دانه سطحی	-۴۲/۵	۱۲/۵	-۵۵	-۳/۴	۰/۸
۵	درشت دانه عمقی	-۴۲۰	۱۷/۳	-۴۳۷/۳	-۲۴/۲	۰/۱
۶	ریزدانه جدید	-۳۷/۲	۱۱/۶	-۴۸/۸۹	-۳/۲	۰/۴
۷	ریزدانه قدیم	۹۶/۵	۱۰/۲	۸۳/۲۱	۷/۲	۱/۳

## ۴-۴-۴- بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی بر مبنای آزمون تشکیل اسید

### خالص (NAG) و تولید اسید خالص (NAP)

نتایج آزمایش NAG (جدول ۴-۹)، نشان می‌دهد که باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای NAPP مثبت،  $\text{NAG pH} < 4.5$  و  $\text{NAG} > 5$  می‌باشند و به همین دلیل این باطله‌ها در رده PAF-HC (تولیدکننده بالقوه اسید و ظرفیت بالا) قرار می‌گیرند. ظرفیت تولید اسید این باطله‌ها بیش‌تر از خنثی-سازی اسید می‌باشد و دارای پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند. باطله‌های درشت‌دانه سطحی شماره ۳ و ریزدانه جدید شماره ۷، دارای NAPP منفی و  $\text{NAG pH} \geq 4.5$  می‌باشند و به همین دلیل این باطله‌ها در رده NAF قرار می‌گیرند. به عبارتی در این باطله‌ها، ظرفیت خنثی‌سازی اسید بیش‌تر از ظرفیت تولید اسید می‌باشد و در نتیجه، دارای عدم پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند (Lottermoser, 2010).

بر اساس داده‌های جدول ۴-۹، در باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، نسبت NAG/NAPP بیش‌تر از ۰/۵ است، بنابراین احتمال تولید زهاب اسیدی در آن‌ها وجود دارد. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی وجود کانی ژیپس در باطله‌های شماره ۱ و ۴ و کانی پیریت در باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، این باطله‌ها دارای احتمال پتانسیل تولید زهاب اسیدی می‌باشند. ولی در باطله‌های شماره ۳ و ۷، نسبت NAG/NAPP کم‌تر از ۰/۵ می‌باشد و نشان می‌دهد که در این باطله‌ها احتمال تولید زهاب اسیدی کم است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی وجود کانی کلسیت در باطله شماره ۷ و کانی‌های کائولینیت، مونت‌موریلونیت و موسکویت در باطله‌های شماره ۳ و ۷، می‌توانند مانع تولید زهاب اسیدی در این باطله‌ها شوند.



جدول ۴-۹- نتایج آزمون تشکیل اسید خاص (NAG)

شماره نمونه	نمونه	NAG pH	حجم باز (ml)	مولاریته باز	NAG (KgH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> t <sup>-1</sup> )	$\frac{NAG}{NAPP}$
۱	جیگ ماشین سطحی	۳/۱	۵/۸	۰/۵	۵۶/۸	۷/۸
۲	جیگ ماشین سطحی	۳/۸	۳۵/۴	۰/۱	۶۹/۳	۶/۳
۳	جیگ ماشین سطحی	۵	۶/۷	۰/۵	۶۵/۶	-۱۶/۴
۴	جیگ ماشین سطحی	۲/۹	۳۲/۳	۰/۱	۶۳/۳	۲۶/۳
۵	جیگ ماشین عمقی	۳/۲	۴۱	۰/۱	۸۰/۳	۵۷/۳
۶	ریزدانه جدید	۲/۷	۶/۴	۰/۵	۶۲/۷	۹/۷
۷	ریزدانه قدیم	۴/۷	۵/۲	۰/۵	۵۰/۹	-۹/۹

بر اساس، جدول ۴-۱۰ باطله‌های شماره ۳ و ۷، دارای بیشترین NAP می‌باشند. بنابراین این نمونه‌ها دارای پتانسیل تولید (AP) کم و پتانسیل خنثی‌سازی (NP) زیاد در آزمایش استاتیک می‌باشند و احتمال تولید زهاب اسیدی در این باطله‌ها کم است.

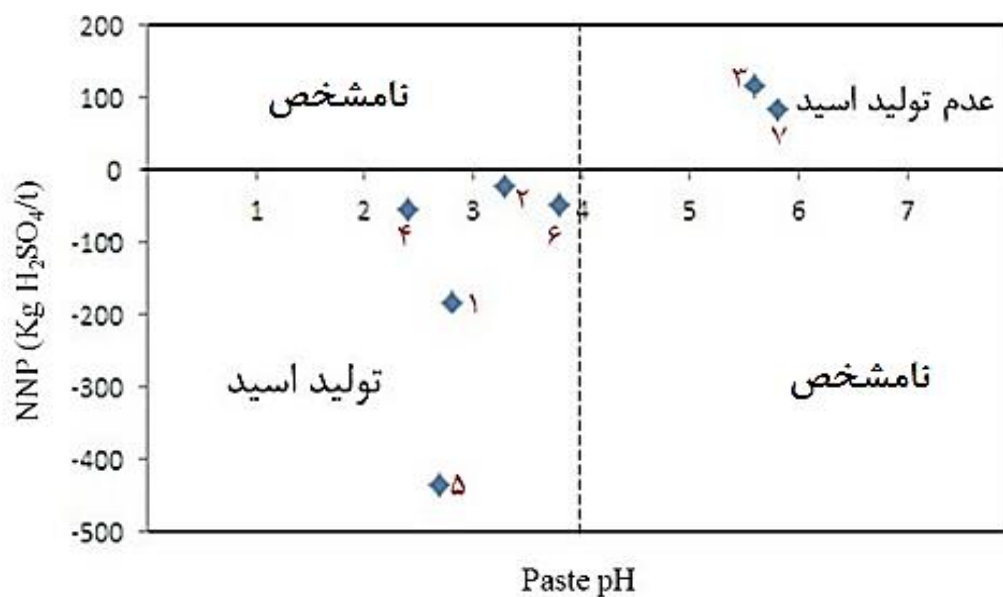
جدول ۴-۱۰- نتایج آزمون تولید اسید خالص (NAP)

شماره نمونه	نمونه	pH قبل از تیتر کردن	حجم باز (ml)	نرمالیه باز	NAP (KgCaCO <sub>3</sub> t <sup>-1</sup> )
۱	درشت دانه سطحی	۱/۱	۵/۸	۰/۱	۲۷/۸
۲	درشت دانه سطحی	۱/۲	۳۵/۴	۰/۱	۲۶/۵
۳	درشت دانه سطحی	۲/۴	۶/۷	۰/۱	۶۴/۹
۴	درشت دانه سطحی	۱/۴	۳۲/۳	۰/۱	۲۹/۶
۵	درشت دانه عمقی	۱/۵	۴۱	۰/۱	۲۹/۲
۶	ریزدانه جدید	۱/۸	۶/۴	۰/۱	۲۵/۵
۷	ریزدانه قدیم	۳/۹	۵/۲	۰/۱	۵۶/۲

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

۴-۵-۱- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع

و پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP)

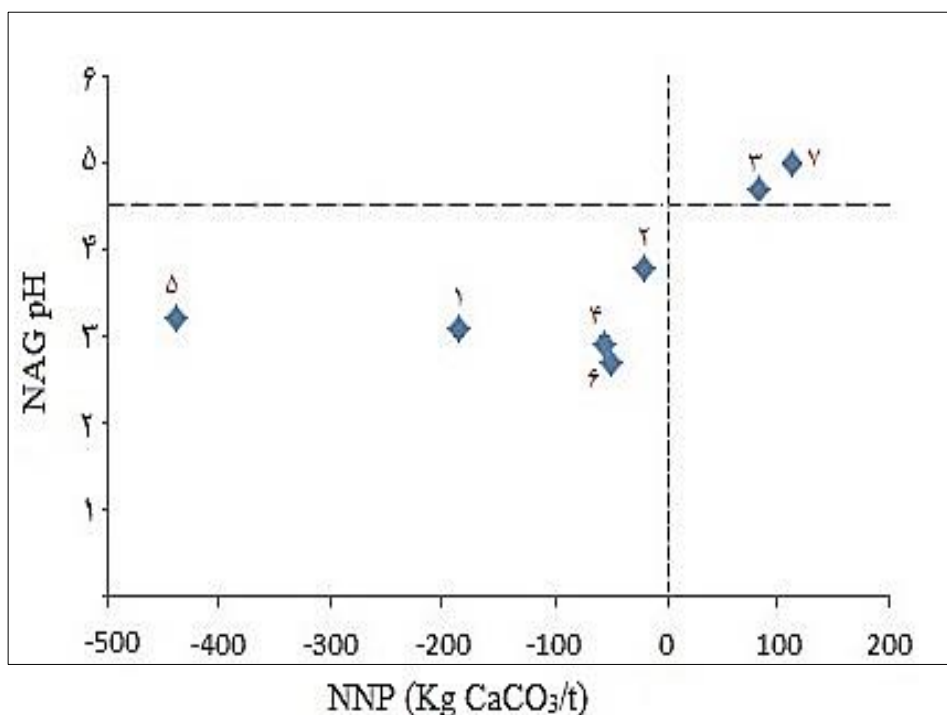


شکل ۴-۱۲- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NNP باطله (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016)

۴-۵-۲- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس پتانسیل

خنثی‌سازی خالص (NNP) و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG pH)

نمونه‌هایی با NNP بزرگتر از ۳۰، معمولاً دارای pH بزرگتر از ۴/۵ خواهد بود و احتمال تولید توسط آن‌ها پایین است. اگر  $\text{pH NAG} > 4/5$  باشد، در صورتی که  $\text{pH NAG} \leq 4/5$  باشد، خطر تولید زهاب اسیدی وجود دارد (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016).



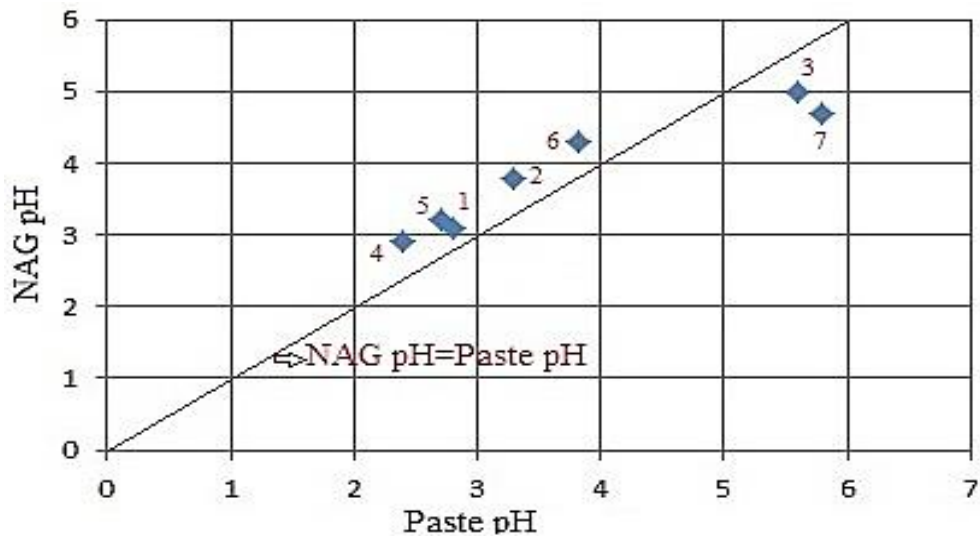
شکل ۴-۱۳- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NNP و NAG pH (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016)

نمودار شکل ۴-۱۳، نشان می‌دهد که نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای  $NAG\ pH \leq 4/5$  و بنابراین دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند، در صورتی که نمونه‌های شماره ۳ و ۷ دارای  $NAG\ 4/5$   $pH >$  بوده و در این باطله‌ها احتمال تولید زهاب اسیدی وجود ندارد.

#### ۴-۵-۳- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس $pH$ گل اشباع

##### و مقدار $pH$ در آزمایش تشکیل اسید خالص ( $NAG\ pH$ )

به طور کلی، نمونه‌هایی که  $pH > NAG\ pH$  گل اشباع باشد، کمتر هوازده شده و احتمال تولید زهاب اسیدی در آن‌ها کم است (Li et al., 2012) همچنین در نمونه‌هایی که  $pH > 5/5$  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 هوازده‌گی در مراحل اولیه است (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016). هرچه نمونه‌ها به خط تعادل نزدیکتر باشند، بیشتر هوازده شده و احتمال تولید زهاب اسیدی توسط نمونه بیشتر است.



شکل ۴-۱۴- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016)

Li, 2016

با توجه به شکل ۴-۱۴، باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای  $\text{pH} < \text{NAG pH}$  گل اشباع می‌باشد که نشان می‌دهد گوگرد موجود در نمونه هوازده شده و اسید تولید می‌کند. نمونه‌های شماره ۳ و ۷ از خط تعادل دورتر هستند و دارای  $\text{pH} > \text{NAG pH}$  گل اشباع آن‌ها می‌باشد، بنابراین احتمال تولید اسید مخصوصاً در باطله شماره ۷ خیلی کم می‌باشد.

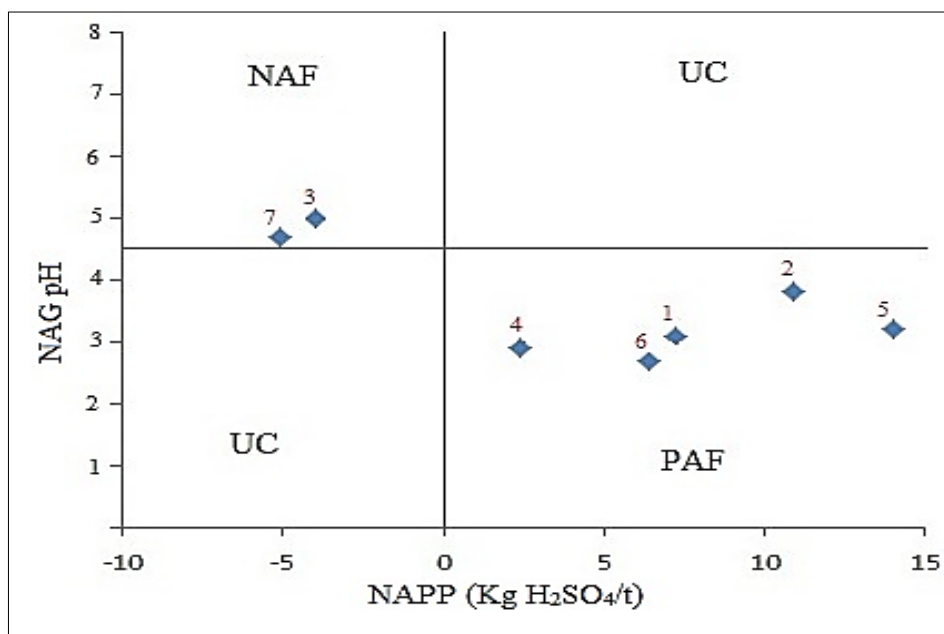
#### ۴-۵-۴- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس پتانسیل تولید

اسید خالص (NAPP) و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG-pH)

بر اساس نمودار NAPP در مقابل NAG pH (شکل ۴-۱۵)، باطله‌ها در یکی از چند گروه، عدم تولید

اسید (NAF)، تولید اسید (PAF) و نامشخص (UC) قرار می‌گیرند (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016).

2016)



شکل ۴-۱۵- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس NAPP و NAG pH. NAF (غیر تولیدکننده اسید)، PAF (احتمال تشکیل اسید) و UC (نامشخص یا مشکوک) (Hajizadeh Namaghi and Li, 2016)

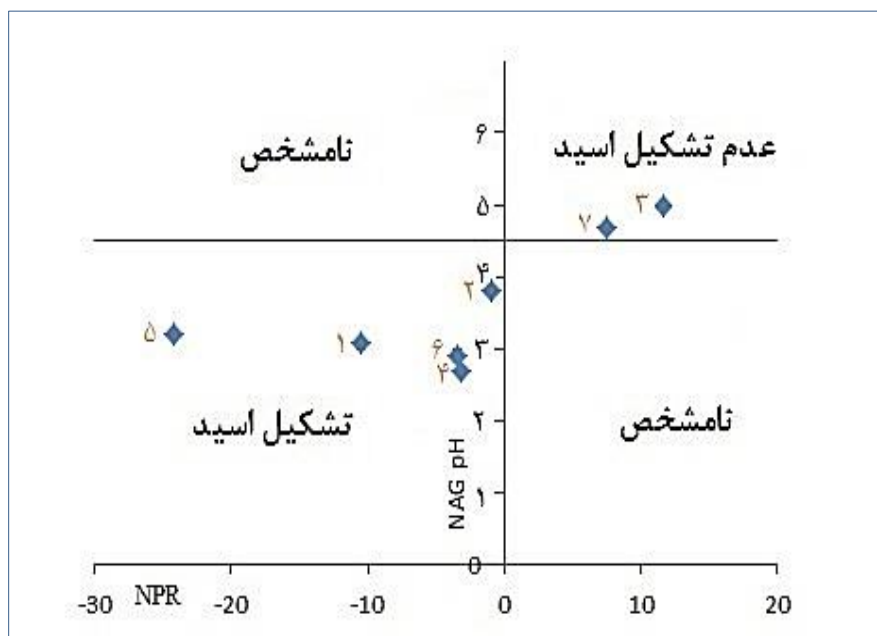
بر اساس شکل ۴-۱۵، باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، در رده PAF (احتمال تشکیل اسید) و باطله‌های شماره ۳ و ۷ در رده NAF (عدم تولید اسید)، قرار می‌گیرند.

#### ۴-۵-۵- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس نسبت NPR

(NPR=NP/MPA) و NAG pH

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 (Sanliyuksel Yusel and Baba, 2016).

در شکل ۴-۱۶، موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در رده‌بندی ژئوشیمیایی NAG pH در مقابل نسبت NPR نشان داده شده است.

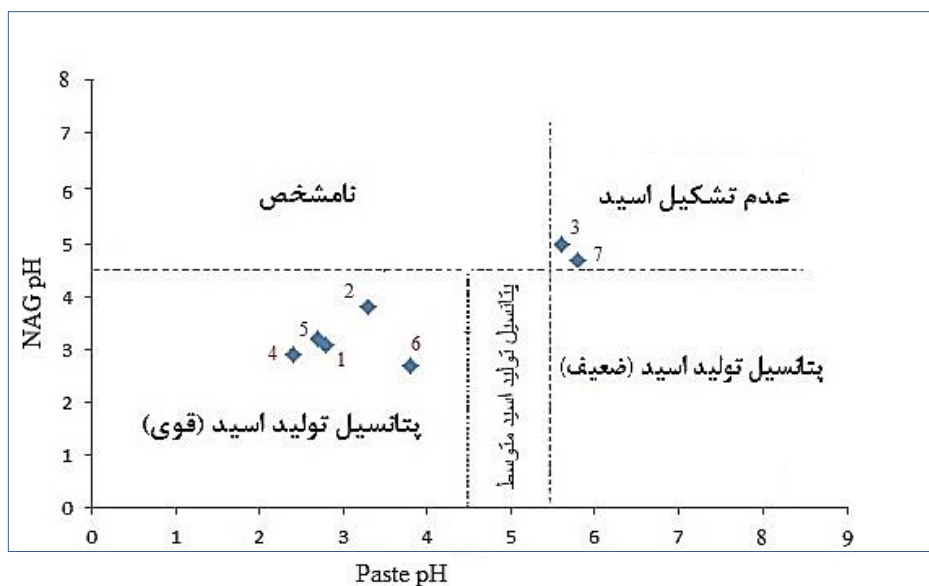


شکل ۴-۱۶- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس نسبت NPR و NAG pH (Sanliyüksel Yusel and Baba, 2016)

با توجه به شکل ۴-۱۶، باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای پتانسیل تولید اسید و باطله‌های شماره ۳ و ۷، فاقد پتانسیل تولید اسید می‌باشند.

#### ۴-۵-۶- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس pH گل اشباع و مقدار pH در آزمایش تشکیل اسید خالص (NAG pH)

بر اساس شکل ۴-۱۷، باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، دارای پتانسیل تولید اسید (قوی) می‌باشند ولی باطله‌های شماره ۳ و ۷، فاقد پتانسیل تشکیل اسید می‌باشند.



شکل ۴-۱۷- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس pH گل اشباع و NAG pH (Sanliyuksel Yusel and Baba, 2016)

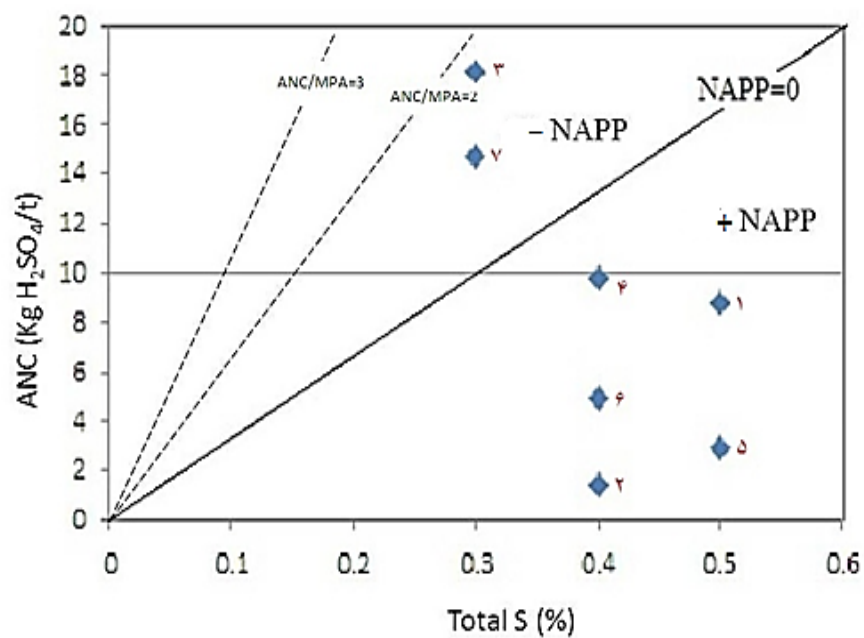
#### ۴-۵-۷- نمودار رده‌بندی ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی، بر اساس درصد کل

#### گوگرد و ظرفیت خنثی‌سازی اسید (ANC)

در این نمودار (شکل ۴-۱۸)، 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 مواد در pHهای خنثی باقی خواهند ماند.

بر اساس شکل ۴-۱۸، باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶ دارای NAPP مثبت و نسبت ANC/MPA آن‌ها کم‌تر از یک می‌باشند، بنابراین این نمونه‌ها دارای پتانسیل تولید اسید می‌باشند. باطله‌های شماره

۳ و ۷ دارای NAPP منفی و نسبت ANC/MPA آن‌ها بزرگتر از یک می‌باشند و احتمالاً اسیدی تولید نمی‌کنند.



شکل ۴-۱۸- نمودار رده‌بندی باطله‌های معدنی بر اساس درصد کل گوگرد و ANC (Currey et al., 1999)



## فصل پنجم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

## ۵-۱- نتیجه‌گیری

کاربرد گسترده زغال‌سنگ در زندگی انسان و نقش آن در تأمین سوخت مورد نیاز بشر از یک سو و حجم عظیم باطله‌های حاصل از استخراج و فرآوری این ماده ارزشمند معدنی از سوی دیگر، مطالعه باطله‌های زغال‌سنگ از جنبه زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت کرده است. باطله‌های حاصل از زغال-شویی حاوی کانی‌های سولفیدی مانند پیریت می‌باشند. بنابراین قرار گرفتن این باطله‌ها در مجاورت اکسیژن جوّ و ریزش‌های جوّی، باعث تشکیل زهاب‌های اسیدی می‌شود. آب باران با ورود به درون باطله‌ها، انجام واکنش‌های شیمیایی را آسان می‌کند و با هیدرولیز آهن و تبدیل  $Fe^{2+}$  به  $Fe^{3+}$  در تولید اسید نقش دارند.

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله‌های کارخانه زغال‌شویی البرزشرقی می‌باشد. به این منظور پس از برداشت نمونه‌های معرف، غلظت عناصر اصلی و جزئی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و کانی‌شناسی باطله‌ها با مطالعات میکروسکوپی و آنالیز XRD 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.

۱- باطله‌های شماره ۳ و ۷ زهاب اسیدی تولید نمی‌کنند، زیرا pH گل اشباع آن‌ها بیشتر از ۴ و EC و گل اشباع آن‌ها بیشتر از ۲۰۰۰ است. همچنین در این باطله‌ها  $NNP > +20$ ، NAPP منفی،  $NPR > 3$ ،  $NAG\ pH > 4.5$  و نسبت  $ANC/MPA > 1$  می‌باشد. بر اساس آنالیزهای XRF و ICP، این باطله‌ها دارای کم‌ترین درصد گوگرد نسبت به بقیه باطله‌ها می‌باشند و در مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که مقدار پیریت این باطله‌ها بسیار کم می‌باشد. ظرفیت خنثی‌سازی این باطله به ویژه باطله شماره ۷، از سایر نمونه‌ها بیشتر می‌باشد. غلظت عناصر بالقوه سمی منگنز و آرسنیک در این دو نمونه باطله (به ویژه نمونه شماره ۷) بسیار کم می‌باشد.

۲- در باطله‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، به دلیل اینکه pH گل اشباع کم‌تر از ۴ و EC گل اشباع بیش‌تر از ۲۰۰۰،  $NNP > +20$ ، NAPP منفی، نسبت  $NPR < 1$ ،  $NAG\ pH < 4.5$  و نسبت  $< 1$

ANC/MPA است، احتمال تولید زهاب اسیدی بالاست. بر اساس نتایج XRF و ICP، این باطله‌ها دارای درصد گوگرد بالاتری می‌باشند و در مطالعات میکروسکوپی مشخص شد که مقدار پیریت این باطله‌ها زیاد است. از بین همه باطله‌ها، باطله شماره ۵، نسبت NPR از بقیه کمتر و MPA، AP، NAG و NAPP بیش‌تری را دارا می‌باشد و به همین دلیل پتانسیل تولید زهاب اسیدی آن از بقیه بیش‌تر است. در باطله‌های عمقی نسبت به باطله‌های سطحی، غلظت فلزات سنگین بالاتر می‌باشد و کانی‌های پیریت بیش‌تری حضور دارند که اگر اکسیده شود، زهاب اسیدی تولید می‌کند.

۳- کانی‌های کربناته نقش مهمی در خنثی‌سازی اسید دارند، اما زمانی که فراوانی آن‌ها در نمونه زیاد باشد، می‌توانند مانع تولید اسید شوند. در باطله‌های شماره ۱ و ۴ کانی کلسیت در مطالعات XRD در این باطله‌ها تشخیص داده شد، ولی این باطله‌ها پتانسیل تولید اسید را دارند، یعنی ظرفیت تولید اسید آن‌ها بیشتر از خنثی‌سازی اسید می‌باشد ولی در باطله شماره ۳ کانی کلسیت در مطالعات XRD مشاهده نشد که به احتمال زیاد مقدار آن ناچیز بوده است ولی ظرفیت خنثی‌سازی آن‌ها بیش‌تر از تولید اسید است و اسید تولید نمی‌کنند.

۴- تفاوت معناداری بین پتانسیل تولید اسید باطله‌ها، بر اساس ریز یا درشت‌دانه بودن آن‌ها مشاهده نمی‌شود. بنابراین سایر عوامل مانند میزان تبلور و کاستی‌های بلوری کانی پیریت، تأثیر بیش‌تری در تولید یا عدم تولید زهاب اسیدی دارد. برای مثال پیریت‌های فرامبوئیدی به دلیل ظاهر تمشک‌گونه اسید بیش‌تری تولید می‌کنند.

پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی باطله‌های کارخانه زغال‌شویی مهماندوست، اقدامات زیر انجام شود:

- ۱- جداکردن پیریت از باطله‌های فرآوری به منظور کاهش حجم مواد واکنش‌پذیر سولفیدی
- ۲- پوشاندن باطله‌های قدیمی و خشک توسط پوشش‌های خشک، باعث کاهش میزان هوازدگی آن‌ها می‌شود.

۳- افزودن مواد قلیایی مانند آهک، می‌تواند میزان تولید زهاب اسیدی را کنترل کند.

۴- همچنین می‌توان از باطله‌ها در مصارف گوناگون (مانند تولید آجر سبک) استفاده کرد و حجم باطله‌ها را کاهش داد. تولید آجر سبک است که با توجه به میزان زیاد ترکیباتی از نظیر سیلیس و اکسید آلومینیم در داخل این باطله‌ها از نظر فنی توجیه‌پذیر می‌باشد.

## ۵-۲- پیشنهادها

۱- انجام آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> (SEM)، به منظور بررسی کانی‌های موجود در باطله‌ها

۲- انجام آزمایش‌های کینتیک به منظور تکمیل و تأیید داده‌های تست‌های استاتیک و ارزیابی نرخ

هوازدهی سولفیدها

۳- انجام آزمایش استخراج ترتیبی بر روی باطله‌ها

---

<sup>۱</sup> Scanning electron micrograph

## منابع:

- سالنامه آماری هواشناسی، ۱۳۹۳. مرکز آماری ایران.
- 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.
- گزارش شرکت معادن زغال‌سنگ البرزشرقی، ۱۳۸۵. "بررسی زیست‌محیطی تجویز و نوسازی کارخانه زغال‌شویی مهماندوست". مهندسین مشاور ارزیاب محیط نوین.
- علیزاده ا. (۱۳۸۰). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ ۱۳.
- لوترموزر، ب. (۱۳۹۵). باطله‌های معدنی، مشخصات، تصفیه و اثرات زیست‌محیطی، فرقانی تهرانی، گیتی و قشلاقی، افشین. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- Adriana Mendez-Ortiz B., Carrillo-Chávez A., Monroy-Fernández M.G., 2007. "Acid rock drainage and metal leaching from mine waste material (tailings) of a Pb-Zn-Ag skarn deposit: environmental assessment through static and kinetic laboratory test". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24, núm. 2, 2007, p. 161-169 .
- 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". *International Journal of Environmental Science and Technology* 11.5, 1365-1378.
- Banks S.B., Banks D., 2001. "Abandoned mines drainage: Impact assessment and mitigation of discharges from coal mines in the UK". *Engineering Geology* 60, 31-37.
- Barrie Johnson D., Hallberg K.B., 2005. "Acid mine drainage remediation options: a review". *Science of the Total Environment* 338 3- 14.
- Boon M., Snijder M., Hanfrod GS., Heijnen jj., 1998. "The oxidation kinetics of zinc sulfid with thiobacillus ferrooxidans. *Hydrometallurgy* 48:171-186.
- Bruynasteyn A., Hackl R.P., 1984. "Evaluation of acid production potential of mining materials". *Environmental geochemistry and health* 4.1: 5-8.
- Casagrande Dj., Finkelman RB., Caruccio FT., 1977. "The nonparticipation of organic sulfur in acid mine drainage". *Environmental geochemistry and health* 11.3, 187-192.

- Champan B. M., Jones D. R., Jung R. F., 1993. "Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47.11, 1957-1973.
- Chen C.W., Kao C.M., Chen C.F., Dong C.D., 2007. "Distribution and accumulation of heavy metal in the sediments of kaohsiung". *Chemosphere* 66.8, 1431-1440.
- 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.
- Christanis K., Georgakopoulos A., Fernáandez-Turiel J. L., Bouzinos A., 1997. "Geological factors influencing the concentration of trace elements in the Philippi peatland, eastern Macedonia, Greece". *International Journal of Coal Geology* 36, 295–313.
- Currey N.A., Ritchie P.J., Durham A.J.P., Wilson G.W., 1999. "Field performance and optimisation of two low flux soil cover systems for the prevention of acid mine drainage in a semi arid environment. In: Proceeding of the 24<sup>th</sup> annual minerals council of australia environmental workshop. Minerals council of australia, dickson, pp 458-465.
- Devasahayam S.H., 2006. "Chemistry of acid production in black coal mine washery wastes". *International Journal of Mineral Processing* 79.1, 1– 8.
- 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.
- 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.
- Hajizadeh Namaghi H., Li Sh., 2016. "Acid-Generating and Leaching Potential of Soils in a Coal Waste Rock Pile in Northeastern China". Vol. 25, NO. 7, 776–791.
- Jambor, J. L., Dutrizac J.E., Chen T.T., 2000. "Contribution of specific minerals to the neutralization potential in static tests." *Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage*.
- 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 Research*, Vol 3, No 1., 47-54.

Keleinmann R.L.P., 2012. "Prediction of Water Quality at Surface Coal Mines". National Mine Land Reclamation Center, West Virginia University, 2000.

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.

Kwong Y.T.J., 1993. "Minie sit acid rock drainage assesment and prevention; a new challenge for a mining geologist. In:Proceedings of the international mining geology conference, kalgoorlite, pp 213-217.

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.*

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.

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.

Mendez-Qrtiz A. B., Carrillo-Chavez A., Monroy-Fernandez M.G., 2007. "Acid rock drainage and metal leachin from mine wastes ma terial (tailing) of a Pb-Zn-Ag skarn deposit: environmetal assessment through static and kinetic laboratory tests". *Revista Mexicama de Cincias*, v. 24, p.161-169.

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.*

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.

Plumlee G.S., Logsdon M.J., Filipek L.F., 1999. "The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits: Part A: Processes, Techniques, and Health Issues Part B: Case Studies and Research Topics". Society of Economic Geologists, Environmental Geochemistry- 583 pages Environmental Geochemistry.

Raisanen M.L., KAUPPILA P. M., Myohanen T., 2010. "Suitability of static tests for acid rock drainage assessment of mine waste rock". Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol. 82, 2010, pp 101–111.

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.

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., Baretino 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.

Sanliyüksel Yucel D., Baba A., 2016. "Prediction of acid mine drainage generation potential of various lithologies using static tests: Etili coal mine (NW Turkey) as a case study". Environmental monitoring and assessment 188.8, 1-16.

Sayoga Gautama R., Jalu Kusuma G., 2008. "Evaluation of Geochemical Tests in Predicting Acid Mine Drainage Potential in Coal Surface Mine". Mine Water and the Environment. 271-274.

Swaine D.J., Gooda F., 1995. "Environmental aspects of trace elements in coal". Kluwer academic publishers, 1-4.

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

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 Environment 407, 1135- 1152.



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.

Yazdi

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 Mehmandoost coal washery factory is located about 24 Km northeast of Damghan city. This coal washery of unit has been operating under the supervision of the Eastern Alborz Company since 1353. One of the most important environmental problems of waste dumps and is one of the most important environmental pollutants that is caused by the oxidation of sulfide minerals in coal mine waste. Pyrite and Marcasite minerals are the most important minerals in acid drainage production.

In this study, the potential of acid production by these tailings has been studied based on mineralogical studies and static experiments (pH and EC saturation mud, acid production or consumption, acid and basic counting, and determination of pure acid production and consumption). The results of the studies show that the coal bed waste has a moderate enrichment than Cu and Mn without enrichment, with moderate enrichment as compared to Zn and Sb with relatively high enrichment, ratio Cd has a strong enrichment and has infinite enrichment relative to As and Pb. The minerals in the waste products include quartz, muscovite, clinocolor, kaolinite, ilite, montmorillonite and calcite and pyrite. Waste numbers 3 and 7 do not produce acid drainage. Because their pH saturation is more than 4, EC has a saturated saturation of more than 2000. Also, in this waste,  $NNP > +20$ ,  $NAPP$  negative,  $NPR > 3$ ,  $AG\ pH > 4.5$  N and  $ANC / MPA\ ratio > 1$ . In waste glands No. 1, 2, 4, 5 and 6, because the pH of the saturated water was less than 3 and the EC had a saturation of more than 2000,  $NNP > +20$ ,  $NAPP$  negative,  $NPR\ ratio < 1$ ,  $NAG\ pH < 4.5$  and  $ratio < 1\ ANC / MPA$ , the probability of acid drainage is high.

**Key Words:** Acid Drainage of Mine, tailing, Mhammadost, Northeast Damghan.



Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

**Evaluating the potential of acid drainage production by  
coal washery wastes of Mehmandust plant, North West  
Damghan**

By: Najmeh Mohammadi

Supervisor

Dr. Giti Forghani Tehrani

Advisor

Dr. Afshin Qishlaghi

September 2017