

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره ده، دی ماه ۹۸

ارزیابی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله‌های کارخانه فرآوری

مجتمع سنگ آهن سنگان

علی بهنام‌فرد^{۱*}

behnamfard@birjand.ac.ir

اسماعیل خفاجه^۲

رسول علایی^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: زهاب اسیدی معدن مهم‌ترین مشکل محیط‌زیستی ایجاد شده در اثر فرآیندهای معدن‌کاری است. زهاب اسیدی به واسطه اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی موجود در باطله‌های معدنی در نتیجه تماس آن‌ها با آب و اکسیژن ایجاد می‌شود. کارخانه فرآوری سنگان سالیانه ۲/۶ میلیون تن کنسانتره با عیار آهن بیشتر از ۶۶٪ تولید می‌نماید. در طی این عمل‌آوری سالیانه در حدود ۱/۳ میلیون تن باطله با عیار گوگرد در حدود ۴٪ تولید می‌شود که به سد باطله ریخته می‌شود. حضور کانی‌های سولفیدی به همراه آب و اکسیژن در سد باطله می‌تواند زهاب اسیدی تولید نماید. هدف از انجام این تحقیق بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله کارخانه است.

روش بررسی: به منظور پیش‌بینی قابلیت تولید زهاب اسیدی، از باطله کلی (به عبارتی مخلوط جریان‌های مختلف باطله کارخانه) و همچنین به طور جداگانه از جریان‌های مختلف باطله کارخانه نمونه‌برداری شد. سپس پتانسیل تولید زهاب اسیدی نمونه‌ها به روش تست استاتیکی اسید باز اصلاحی تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نسبت پتانسیل خنثی‌سازی به پتانسیل تولید اسید باطله نهایی ورودی به سد باطله برابر با ۲/۰۴ است. **نتیجه‌گیری:** این تحقیق نشان داد که باطله کارخانه فرآوری سنگ آهن سنگان در محدوده نامشخص به لحاظ تولید اسید قرار دارد. بنابراین باید آزمایشات سینتیکی تکمیلی به منظور اطمینان یافتن از عدم تشکیل زهاب اسیدی به انجام رسد.

واژه‌های کلیدی: مجتمع سنگ آهن سنگان، باطله، زهاب اسیدی، آزمایش محاسبه اسید باز اصلاحی

۱- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران * (مسئول مکاتبات).

۲- کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

۳- کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

Assessment of the Acid Mine Drainage Potential of Processing Plant Tailings at the Sangan Iron Ore Complex

Ali Behnamfard^{1*}

behnamfard@birjand.ac.ir

Esmail Khaphaje²

Rasool Alaei³

Accepted: 2016.11.13

Received:2016.05.25

Abstract

Background and Objective: Acid mine drainage (AMD) is the most significant environmental pollution problem associated with the mining activities. AMD is caused by the oxidation of sulfide minerals in the mine tailings that occurs when these materials are exposed to atmospheric oxygen and water. Sangan processing plant annually produces 2.6 million tons of concentrate with iron content more than 66%. During this beneficiation approximately 1.3 Mt/a of tailing material containing 4% sulfur is produced and discarded to the tailings dam. The presence of sulfide minerals associated with water and oxygen in the tailing dam can generates AMD. The aim of this research is to evaluate the acid generation potential of the tailing material.

Method: In order to predict the acid generation potential of the tailing material, samples were taken from the final tailing (i.e., the mixture of various tailing streams of the plant) and also separately from various tailing streams of the plant. Afterwards, the acid generation potential of the samples was determined by modified acid base accounting static tests.

Results: The results indicated that the ratio of neutralization potential to acid potential for the final tailing is 2.04.

Conclusion: This research showed that the tailing of Sangan iron ore processing plant is in the zone of uncertainty. Hence, additional kinetic testing must be performed for obtaining certainty about acid generation potential.

Keywords: Sangan Iron Ore Complex, Tailing, Acid Mine Drainage, Modified Acid Base Accounting test

1- Assistant Prof., Faculty of Engineering, University of Birjand, South Khorasan, Iran. (Corresponding Author)

2- M.Sc. in Mineral Processing Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, South Khorasan, Iran.

3- M.Sc. in Mineral Processing Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, South Khorasan, Iran.

مقدمه

های کارخانه‌های فرآوری سنگ آهن نیز می‌توانند پتانسیل تولید زهاب اسیدی را داشته باشند. با توجه به این‌که بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله کارخانه فرآوری سنگ آهن تاکنون انجام نگرفته است در این تحقیق، پیش‌بینی قابلیت تولید زهاب اسیدی باطله‌های کارخانه فرآوری سنگ آهن سنگان انجام می‌گیرد.

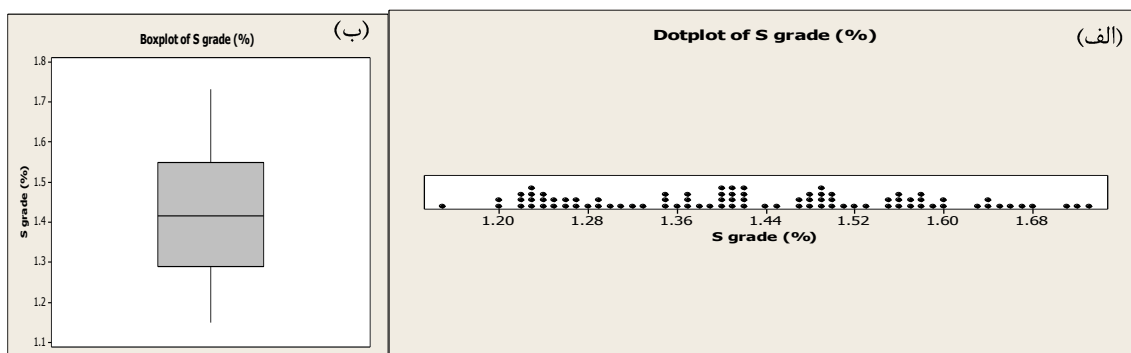
معرفی کارخانه فرآوری سنگ آهن سنگان

معادن سنگ آهن سنگان و کارخانه فرآوری آن در شمال شرقی ایران در فاصله ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و ۴۰ کیلومتری شهرستان خواف و ۱۶ کیلومتری شهر سنگان در استان خراسان رضوی واقع شده‌اند. شرایط آب و هوایی این منطقه گرم و خشک بیابانی و نیمه بیابانی بوده و مقدار متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۵۰ میلی‌متر است (۱۲). کارخانه فرآوری سنگ آهن سنگان سالیانه ۲/۶ میلیون تن کنسانتره با عیار آهن بیشتر از ۶۶٪ تولید می‌کند. در حال حاضر خوراک این کارخانه عمدتاً از معدن C شمالی واقع در ناحیه غربی معادن سنگ آهن سنگان که عیار گوگرد آن بالا است تامین می‌شود. بررسی روزانه عیار گوگرد کارخانه در بازه زمانی ۴ ماهه نخست سال ۹۵ نشان داد مقدار عیار گوگرد خوراک در گستره ۱/۱۵ تا ۱/۷۳٪ تغییر می‌کند و مقدار متوسط آن ۱/۴۳٪ است. شکل الف نمودار نقطه‌ای توزیع عیار گوگرد خوراک کارخانه را در یک بازه چهار ماهه از فروردین تا مرداد ۹۵ نشان می‌دهد. شکل ب نمودار جعبه‌ای توزیع عیار گوگرد خوراک کارخانه را در این بازه چهار ماهه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار چارک اول و سوم و میانه توزیع عیار گوگرد به ترتیب برابر با ۱/۲۹، ۱/۵۵ و ۱/۴۲٪ است.

کانی‌های سولفیدی از قبیل پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت و آرسنوپیریت هنگامی‌که در معرض هوا و آب قرار گیرند می‌توانند تولید زهاب اسیدی نمایند (۲۰۱). این پدیده به زهاب اسیدی معدن^۱ (AMD) مشهور است و به واسطه اسیدیته بالا، غلظت بالای یون سولفات و فلزات سنگین موجود در آن نگرانی‌های محیط‌زیستی و سلامت عمومی زیادی را ایجاد کرده است (۴،۳). براساس گزارش سازمان محیط زیست آمریکا، AMD اساسی‌ترین مشکل محیط زیستی ایجاد شده به واسطه فعالیت‌های معدن‌کاری است (۴،۳).

روش‌های کنترل و مدیریت زهاب اسیدی معدن عمدتاً به دو گروه روش‌های جلوگیری از تشکیل و روش‌های خنثی‌سازی تقسیم می‌شوند (۵-۷). پیش‌بینی و پیش‌گیری از تشکیل زهاب اسیدی بهترین طرح مدیریتی است که می‌تواند محیط‌زیست و سلامتی بشر را در برابر AMD حفظ نماید (۸-۱۱). در روش‌های جلوگیری از تشکیل زهاب اسیدی ابتدا باید قابلیت یک نمونه باطله معدنی برای تولید زهاب اسیدی و ظرفیت آن برای خنثی‌سازی زهاب اسیدی تعیین شود (۸).

سنگ‌های روبراه و باطله فرآوری معادن زغال‌سنگ و سولفید فلزی از جمله مس، مولیبدن، سرب و روی محتوی کانی‌های سولفید فلزی بوده و بنابراین قابلیت تولید زهاب اسیدی را دارند (۹-۱۱). پیریت و سایر سولفیدهای آهن معمولاً به عنوان کانی‌های فرعی در کانسنگ‌های آهن نیز حضور دارند. با توجه به این‌که گوگرد عنصر مزاحم در کنسانتره آهن محسوب می‌شود سعی می‌شود در طی مراحل فرآوری تمامی گوگرد موجود در سنگ معدن آهن به باطله انتقال یابد. با توجه به این موضوع، عیار گوگرد باطله نسبت به خوراک در کارخانه‌های فرآوری سنگ آهن افزایش قابل توجهی می‌یابد. بنابراین، باطله



شکل ۱- (الف) نمودار نقطه‌ای (ب) نمودار جعبه‌ای عیار گوگرد خوراک کارخانه فرآوری سنگان در یک بازه ۴ ماهه از فروردین تا مرداد ۱۳۹۵

Fig. 1- (a) Dot plot (b) Boxplot of S grade of Sangan processing plant feed within a four month period from Farvardin to Mordad 1395

کلینر و کف فلوتاسیون وارد تیکتر باطله شده و پس از آگیری به سد باطله انتقال می‌یابند. جدول ۱ داده‌های d80، دانسیته جامد و درصد جامد باطله‌های مراحل مختلف پرعیارسازی کارخانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود جریان‌های مختلف ورودی به سد باطله مجتمع سنگ آهن سنگان دارای مشخصات مختلفی هستند. بنابراین قابلیت تولید زهاب اسیدی آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به این موضوع در این تحقیق از جریان‌های ته‌ریز هیدروسیکلون کوبر، کف فلوتاسیون، ته‌ریز تیکتر باطله و پالپ ورودی به سد باطله نمونه‌گیری انجام شد و قابلیت تولید زهاب اسیدی آن‌ها جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. محل‌های انجام نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از انجام نمونه‌برداری، پالپ‌های برداشت شده ابتدا توسط فیلترپرس آگیری و سپس در اون در دمای 80°C خشک شدند. پس از همگن‌سازی، از آنها زیرنمونه جهت آزمایش‌ها گرفته شد.

شکل ۲ فلوشیت ساده شده کارخانه تولید کنسانتره آهن مجتمع سنگان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدار فرآوری این کارخانه شامل چند مرحله متوالی جدایش مغناطیسی تر شدت پایین است. مرحله اول جدایش مغناطیسی به جدایش کوبر^۱، مرحله دوم به جدایش رافر^۲ و مرحله سوم به جدایش فینیشر^۳ مشهور است. کنسانتره فینیشر در صورتی که خوراک از توده C شمالی تامین شده باشد به منظور گوگردزدایی وارد مرحله فلوتاسیون می‌شود. کنسانتره آهن گوگردزدایی شده خروجی از این مرحله، وارد مرحله جدایش مغناطیسی مرحله چهارم که به کلینر^۴ مشهور است شده و کنسانتره آن پس از فیلتراسیون به انبار محصول منتقل می‌شود.

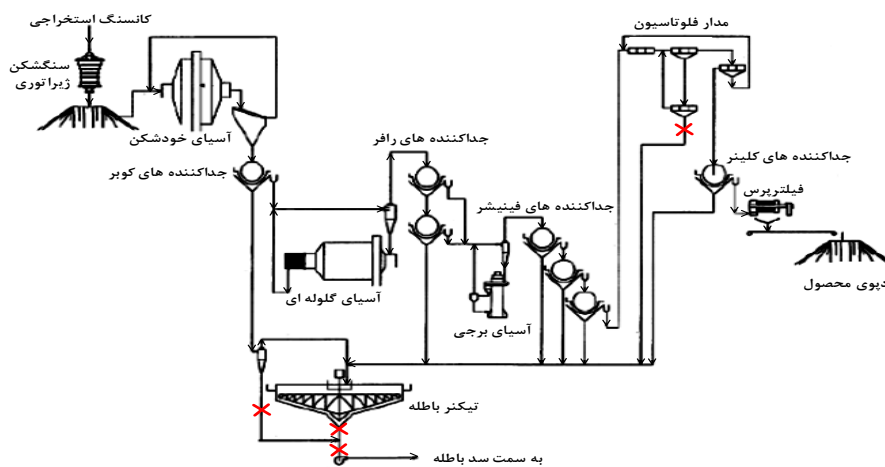
باطله مرحله کوبر ابتدا وارد هیدروسیکلون شده و بخش دانه-درشت آن مستقیماً به سد باطله انتقال می‌یابد و بخش دانه‌ریز آن به همراه سایر جریان‌های باطله شامل باطله رافر، فینیشر،

-
- 1 - Cobber
 - 2 - Rougher LIMS
 - 3 - Finisher LIMS
 - 4 - Cleaner LIMS

جدول ۱ - مشخصات باطله‌های مراحل مختلف کارخانه فرآوری سنگان

Table 1- Tailing specifications of various stages of Sangan processing plant

فلوتاسیون	فینیش/کلینر		رافر/اسکاونجر		کوبر		مرحله جدایش مشخصات باطله
	آنومالی C	آنومالی B	آنومالی C	آنومالی B	آنومالی C	آنومالی B	
۳۸	۳۸	۳۸	۷۰	۷۰	۳۵۰	۵۰۰	ابعاد ذرات (μm) D80
۴/۶	۳/۳	۴	۳/۲	۴	۳/۱	۳/۸	وزن مخصوص g/cm ³
۲۶/۲	۰/۸	۴/۳	۲/۱	۷/۹	۴/۴	۶/۸	دانشیه پالپ Wt% Solid



شکل ۲- فلوشیت ساده شده کارخانه فرآوری کنسانتره سنگ آهن سنگان و محل‌های انجام نمونه‌برداری (X)

Fig.2- Flowsheet of Sangan processing plant and sampling locations (X)

تیتراسیون معکوس برای تعیین مقدار اسید مصرف شده تعیین می‌شود. پتانسیل خنثی‌سازی خالص (NNP) به وسیله کم کردن مقدار AP از مقدار NP محاسبه می‌شود (NNP=NP-AP). گاهی اوقات برای سنجش قابلیت تولید زهاب اسیدی از نسبت NP به AP استفاده می‌شود. مقدار NNP برابر با صفر معادل نسبت NP/AP برابر با یک است. معمولاً مقادیر AP، NP و NNP براساس کیلوگرم CaCO_3 بر تن باطله بیان می‌شوند (۸).

روش‌های مختلفی برای انجام تست استاتیکی قابلیت تولید زهاب اسیدی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های

بررسی و انتخاب روش پیش‌بینی زهاب اسیدی معدن آزمایشات ارزیابی پتانسیل تولید اسید مواد به طور کلی به دو دسته تست‌های استاتیکی و سینتیکی تقسیم می‌شوند (۱۲). در تست‌های استاتیکی، قابلیت تولید زهاب اسیدی یک نمونه بوسیله مقایسه بیشینه پتانسیل تولید اسید (AP) با بیشینه پتانسیل خنثی‌سازی (NP) آن تعیین می‌شود. مقدار AP با ضرب کردن درصد کل سولفور نمونه در یک ضریب تبدیل تعیین می‌شود (AP=31.25%S). مقدار NP مقیاسی برای سنجش مقدار مواد کربناتی موجود برای خنثی‌سازی اسید است و مقدار آن به وسیله اضافه کردن اسید به یک نمونه و

جدول ۲- حجم و نرمالیتته اسید مورد استفاده برای رتبه-بندی عدد فیز در آزمایش ABA اصلاح شده

Table 2- Volume and normality of acid used for Fizz rating in modified ABA test

خصوصیات اسید کلریدریک		آزمایش Fizz
نرمالیتته	حجم (ml)	
۰/۱	۲۰	بدون واکنش
۰/۱	۴۰	ضعیف
۰/۵	۴۰	متوسط
۰/۵	۸۰	قوی

۴. بطری بر روی دستگاه بطری غلطان قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت همزده شد. پس از گذشت ۶ ساعت از آزمایش، pH پالپ اندازه گیری گردید. در صورتی که عدد فیز به درستی انتخاب شده باشد باید مقدار pH در محدوده ۱/۴ تا ۲ باشد. در صورتی که مقدار pH بیشتر از ۲ باشد آزمایش مجدداً با عدد فیز بیشتر و اگر کمتر از ۱/۴ باشد با عدد فیز کمتر به انجام می‌رسد.

۵. پس از انجام آزمایش فوق، فیلتراسیون پالپ انجام شده و ۵°C از محلول اسیدی برداشت گردید و توسط محلول هیدروکسید سدیم با مولاریته مشابه با اسید استفاده شده در مرحله ۳ در حضور فنل فتالین به عنوان شناساگر تیترا شد. مقدار NP مطابق با فرمول زیر محاسبه گشت:

$$NP = [(N \cdot V)_{HCl} - (N \cdot V)_{NaOH}] \times 50 / W \quad (2)$$

که در آن N نرمالیتته، V: حجم بر حسب میلی لیتر، W: وزن نمونه بر حسب گرم و NP بر حسب کیلو گرم کربنات کلسیم بر تن کانسنگ است.

۷. مقدار NNP و نسبت NP/AP محاسبه شد. اگر اختلاف بین NP و AP منفی باشد باطله این پتانسیل را دارد تا اسید تولید نماید. اگر این مقدار مثبت باشد باطله دارای ریسک کمتری برای تولید اسید است. اگر از نسبت NP/AP استفاده شود

محاسبه اسید باز (ABA)، محاسبه اسید باز اصلاحی، تست اولیه تحقیق بر تیش کلمیا (BC)، نسبت پتانسیل تولید قلیانیت به گوگرد (APP:S) و تست تولید اسید خالص^۴ اشاره نمود (۸). در این مقاله انجام تست استاتیکی برای تعیین قابلیت تولید زهاب اسیدی باطله های کارخانه فرآوری کنسانتره سنگ آهن سنگان با استفاده از آزمایش ABA اصلاحی^۵ که یکی از معتبرترین آزمایش های استاتیکی است انجام گرفت. این روش به عنوان یک روش پایه برای ارزیابی قابلیت تولید زهاب اسیدی سنگ های روبراه و باطله های معادن در آمریکا، کانادا، استرالیا، روسیه، هند، چین و سایر کشورهای دنیا از زمان ارائه آن تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است (۱۳-۲۴).

نحوه انجام آزمایش های ABA اصلاح شده

۱. تعیین مقدار سولفور کلی نمونه های مورد آزمایش. لازم به توضیح است که آنالیز گوگرد نمونه ها توسط دستگاه لکو (LECO) مدل CS230 در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام گرفت و مقدار AP بر طبق رابطه زیر محاسبه شد.

$$AP = \%S \times 31.25 \quad (1)$$

که در آن %S درصد کل گوگرد نمونه و AP بر حسب کیلو گرم کربنات کلسیم بر تن کانسنگ است.

۲. چند قطره اسید کلریدریک ۲۵٪ به ۱ تا ۲ گرم نمونه پودر شده که در شیشه ساعت قرار دارد اضافه می شود. پس از مشاهده واکنش، نرخ فیز به صورت بدون واکنش، ضعیف، متوسط و قوی تعیین می گردد. برای نمونه های مورد بررسی در این تحقیق، نرخ فیز برای هر چهار نمونه متوسط تعیین شد.

۳. پنج گرم از نمونه آماده سازی شده را در یک بطری شیشه ای ۲/۵ لیتری ریخته و اسید کلریدریک با حجم و نرمالیتته مشخص که بر اساس آزمایش فیز (جدول ۲) انتخاب شد به آن اضافه - گردید.

- 1 - Acid-Base Accounting
- 2 - British Columbia Research Initial Test
- 3 - Alkaline Production Potential: Sulfur Ratio
- 4 - Net Acid Production Test
- 5 - Modified Acid-Base Accounting

نتایج

پس از انجام آزمایش‌های ABA اصلاحی، مقادیر AP، NP و در نهایت NNP و نسبت NP/AP برای چهار نمونه برداشت شده محاسبه گردید. جدول ۳ نتایج آزمایش‌های ABA اصلاح شده را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که آزمایشات دوبار تکرار گردید و نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد.

هنگامی که این نسبت بزرگ‌تر از ۳:۱ باشد بیان می‌شود که ریسک کم‌تری برای ایجاد زهاب اسیدی وجود دارد. در مواردی که این نسبت بین ۳:۱ و ۱:۱ است به این محدوده، ناحیه عدم اطمینان گفته می‌شود و تست‌های سینتیکی تکمیلی نیز باید به انجام رسد. نمونه‌هایی که مقدار این نسبت برای آن‌ها ۱:۱ و کم‌تر است به احتمال زیاد زهاب اسیدی تشکیل خواهند داد (۸).

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های ABA اصلاحی

Table 3- Results of modified ABA tests

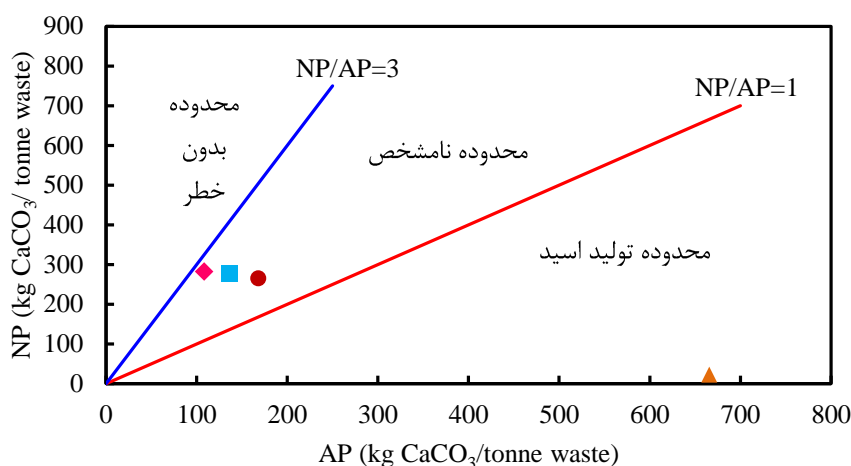
شماره نمونه	نوع باطله	درصد گوگرد	مقدار AP	مقدار NP	مقدار NNP	نسبت NP/AP
۱	باطله نهایی	۴/۳۶	۱۳۶/۲۵	۲۷۸	۱۴۱/۷۵	۲/۰۴
۲	کف فلوتاسیون	۲۱/۳	۶۶۵/۶۲	۲۲	-۶۴۳/۶۳	۰/۰۳
۳	ته ریز سیکلون کوبر	۵/۳۸	۱۶۸/۱۲	۲۶۵	۹۶/۸۷	۱/۵۸
۴	ته ریز تیکنر	۳/۴۶	۱۰۸/۱۲	۲۸۲	۱۷۳/۸۷	۲/۶۱

تایید کننده این موضوع است. با توجه به این موارد حتماً باید اقدامات کنترلی برای جلوگیری از تشکیل زهاب اسیدی بر روی آن به انجام رسد.

نمونه باطله نهایی در محدوده نامشخص به لحاظ تولید زهاب اسیدی قرار دارد و برای اطمینان یافتن از این‌که باطله کارخانه فرآوری سنگ آهن سنگان در آینده مشکل تولید زهاب اسیدی را نخواهد داشت باید آزمایشات تکمیلی از جمله تست‌های سینتیکی به انجام رسد.

نمونه ته‌ریز هیدروسیکلون کوبر در محدوده نامشخص ولی نزدیک به ناحیه بدون خطر قرار دارد. این‌درحالی است که نمونه ته‌ریز تیکنر در محدوده نامشخص ولی نزدیک به ناحیه تولید اسید قرار گرفته است و نمونه باطله نهایی نیز در محدوده نامشخص و بین دو نمونه ته‌ریز تیکنر و ته‌ریز هیدروسیکلون کوبر جای دارد. این موارد نشان می‌دهند که جریان‌های مختلف ورودی به سد باطله مجتمع سنگ آهن سنگان قابلیت تولید زهاب اسیدی آن‌ها متفاوت است. دلیل این موضوع به واسطه متفاوت بودن ترکیب شیمیایی این نمونه‌ها و همچنین تفاوت در دانه‌بندی آن‌ها باشد.

شکل ۳ نمودار مقدار AP در برابر مقدار NP را برای چهار نمونه برداشت شده نشان می‌دهد. همچنین در این شکل محدوده‌های تولید اسید (NP/AP کم‌تر از ۱)، نامشخص (NP/AP بین ۱ و ۳) و بدون خطر (NP/AP بیش‌تر از ۳) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کف فلوتاسیون در محدوده تولید اسید قرار گرفته است. همچنین مقدار NNP به دست آمده برای این نمونه عددی بزرگ و منفی است. دلیل این موضوع را می‌توان با مرور شرایط حاکم بر فلوتاسیون پیدا کرد. همان‌طور که قبلاً بیان شد هدف از مدار فلوتاسیون مجتمع سنگ آهن سنگان گوگردزایی از کنسانتره سنگ آهن تولیدی از آنومالی C که عیار گوگرد در آن بالا است می‌باشد. آماده‌سازی پالپ در این مدار فلوتاسیون به نحوی انجام می‌شود که با اضافه نمودن گزنتات به عنوان کلکتور به پالپ، سطح کانی‌های سولفیدی هیدروفوب گشته و با دمیدن هوا در سلول فلوتاسیون شناورسازی این کانی‌ها انجام پذیرد. بنابراین، کف فلوتاسیون عمدتاً از کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است و مقدار کانی‌های خنثی‌کننده اسید در آن بسیار کم است. عیار گوگرد به دست آمده برای نمونه کف فلوتاسیون نیز



شکل ۳ - نتایج آزمایش ABA اصلاحی برای نمونه باطله نهایی (■)، کف فلوتاسیون (▲)، ته ریز تیکنر باطله (●) و ته ریز هیدروسیکلون کوبر (◆)

Fig.3- Results of modified ABA test for samples of final tailing (■), flotation froth (▲), underflow of tailing thickener (●), underflow of Cobber hydrocyclone (◆)

بحث و نتیجه گیری

های ورودی به سد باطله، اقدامات کنترلی لازم را به طور جداگانه بر روی آن انجام داد. این امر می‌تواند در کاهش هزینه‌های پیش‌گیری از تولید زهاب اسیدی در مجتمع سنگان موثر باشد زیرا تناژ آن نسبت به تناژ سایر جریان‌های ورودی به سد باطله بسیار کمتر بوده و از طرفی با جدا کردن این جریان از باطله ورودی به سد باطله، پتانسیل تولید زهاب اسیدی سایر باطله‌های مجتمع سنگ آهن کاهش چشم‌گیری خواهد یافت.

با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان راهکارهای زیر را جهت پیشگیری از تولید زهاب اسیدی بیان نمود:

- با توجه به این‌که باطله کارخانه فرآوری در محدوده نامشخص به لحاظ تولید زهاب اسیدی قرار دارد باید آزمایشات سینتیکی تعیین قابلیت زهاب اسیدی حتماً به انجام برسد.
- با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان استراتژی افزودن آهک به سد باطله و یا بالابردن pH جریان پالپ ورودی به سد باطله را در دستور کار قرار داد.
- بخش‌هایی از سد باطله که به ظرفیت کامل رسیده است

در این تحقیق، پتانسیل تولید زهاب اسیدی باطله کارخانه تولید کنسانتره سنگ آهن سنگان به روش ABA اصلاحی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که باطله این کارخانه به لحاظ تولید اسید در محدوده نامشخص قرار دارد. با توجه به این موضوع باید آزمایشات پیش‌تر به منظور رفتارسنجی قابلیت تولید زهاب اسیدی این باطله‌ها توسط آزمایشات سینتیکی به انجام رسد تا بتوان براساس آن‌ها اقدامات کنترلی لازم به منظور پیش‌گیری از تولید زهاب اسیدی را انجام داد.

با توجه به این موضوع که چند جریان از بخش‌های مختلف کارخانه تولید کنسانتره سنگ آهن سنگان به سد باطله وارد می‌شوند نمونه‌برداری از جریان‌های مختلف باطله انجام پذیرفت و قابلیت تولید زهاب اسیدی آن‌ها به طور جداگانه تعیین گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که پتانسیل تولید زهاب اسیدی جریان‌های ورودی به سد باطله متفاوت است. نمونه کف فلوتاسیون بیش‌ترین قابلیت تولید زهاب اسیدی را نشان داد و در محدوده تولید زهاب اسیدی جای گرفت. با توجه به این موارد می‌توان با جدا کردن این جریان از سایر جریان-

5. Lukovic, A., Stankovic, M., 2012. Passive systems for treating acid mine drainage: a general review. *Safety Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp. 227-232.
6. Costello, C., 2003. *Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Washington.
7. Akcil, A., Koldas, S., 2006. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, pp.1139-1145.
8. US-EPA, 1994. *Acid mine drainage prediction*. Office of Solid Waste, Special Waste Branch, Washington.
9. Qureshi, A., Maurice, C., Öhlander, B., 2016. Potential of coal mine waste rock for generating acid mine drainage. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 160, pp. 44-54.
10. Abrosimova, N., Gaskova, O., Loshkareva, A., Edelev, A., Bortnikova, S., 2015. Assessment of the acid mine drainage potential of waste rocks at the Ak-Sug porphyry Cu-Mo deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 157, pp. 1-14.
11. Shu, W.S., Ye, Z.H., Lan, C.Y., Zhang, Z.Q., Wong, M.H., 2001. Acidification of lead/zinc mine tailings and its effect on heavy metal mobility. *Environment International*, Vol. 26, Issues 5-6, pp. 389-394.
12. Kretschmann, J., Amiri, R., 2013. Socially responsible mining in east Iran: The Sangan iron ore mines. *23rd World Mining Congress and Expo*

در صورتیکه بازیابی مجدد باطله‌ها در دستور کار نباشد را می-توان توسط یک لایه نفوذناپذیر طبیعی مانند رس پوشاند که به این طریق از تماس هوا با مواد باطله جلوگیری به عمل آورد.

- با توجه به این‌که بخش قابل توجهی از گوگرد موجود در باطله در فاز کف مدار فلوتاسیون قرار دارد و این بخش از باطله پتانسیل شدید تولید زهاب اسیدی دارد می‌توان با جداسازی این جریان از سایر جریان‌های ورودی به سد باطله، اقدامات پیشگیرانه را بر روی آن به طور جداگانه انجام داد. با جداکردن این جریان باطله، باقیمانده باطله به احتمال زیاد پتانسیل تولید زهاب اسیدی را نخواهد داشت.
- قرار دادن لایه نفوذناپذیر طبیعی و یا مصنوعی در کف سد باطله می‌تواند در صورت تشکیل زهاب اسیدی از آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه جلوگیری به عمل آورد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از آقای مهندس رضا ارجمند مدیر محترم کارخانه کنسانتره سنگ آهن سنگان بابت حمایت از این تحقیق نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارند.

منابع

1. Younger, P., Banwart, S. A., Hedin, R. S., 2002. *Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation*. Kluwer Academic Press, Netherlands.
2. Akcil, A., Koldas, S., 2006. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, pp. 1139-1145.
3. US-EPA, 2000. *Abandoned mine site characterization and cleanup handbook*. U.S. Environmental Protection Agency, Seattle.
4. Kalin, M., Fyson, A., Wheeler, N.W., 2006. The chemistry of conventional and alternative treatment systems for the neutralization of acid mine drainage. *Science of the Total Environment*, Vol. 366, pp. 395-408.

19. Changul, C., Sutthirat, C., Padmanahban, G., Tongcumpou, C., 2009. Assessing the acidic potential of waste rock in the Akara gold mine, Thailand. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 60, pp. 1065-1071.
20. Nugraha, C., Shimada, H., Sasaoka, T., Ichinose, M., Matsui, K., 2009. Waste rock characteristics at tropical coal mine area: A case study of PT. Kaltim Prima Coal, Indonesia. *International Journal of the JCRM*, Vol. 5, pp. 77-82.
21. Yeheyis, M.B., Shang, J.Q., Yanful, E.K., 2009. Long-term evaluation of coal fly ash and mine tailings co-placement: A site-specific study. *Journal of Environmental Management*, Vol. 91, pp. 237-244.
22. Hesketh, A.H., Broadhurst, J.L., Harrison, S.T.L., 2010. Mitigating the generation of acid mine drainage from copper sulfide tailings impoundments in perpetuity: A case study for an integrated management strategy. *Minerals Engineering*, Vol. 23, pp. 225-229.
23. Pope, J., Weber, P., Mackenzie, A., Newman, N., Rait, R., 2010. Correlation of acid base accounting characteristics with the Geology of commonly mined coal measures, West Coast and Southland, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 53, pp. 153-166.
24. Yucel, D.S., 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*, Vol. 188, pp. 473.
2013. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.
13. Campbell, R.N., Lindsay, P., Clemens, A.H., 2001. Acid generating potential of waste rock and coal ash in New Zealand coal mines. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 45, pp. 163-179.
14. Weber, P.A., Stewart, W.A., Skinner, W.M., Weisener, C.G., Thomas, J.E., 2004. Geochemical effects of oxidation products and framboidal pyrite oxidation in acid mine drainage prediction techniques. *Applied Geochemistry*, Vol. 19, pp. 1953-1974.
15. Saria, L., Shimaoka, T., Miyawaki, K., 2006. Leaching of heavy metals in acid mine drainage. *Waste Management & Research*, Vol. 24, pp. 134-140.
16. Samuel, T.M., 2006. Characterization of the acidproducing potential and investigation of its effect on weathering of the goathill north rock pile at the Questa molybdenum mine, New Mexico. *Master Thesis*, New Mexico Institute of Mining and Technology, Department of Mineral Engineering, Socorro, New Mexico.
17. Akabzaa, T.M., Armah, T.E.K., Baneong-Yakubo, B.K., 2007. Prediction of acid mine drainage generation potential in selected mines in the ashanti metallogenic belt using static geochemical methods. *Environmental Geology*, Vol. 52, pp. 957-964.
18. Ehinola, O.A., Adene, T.A., 2008. Preliminary investigation on acid generating potential of coals from Benue trough, Nigeria. *Petroleum Coal*, Vol. 50, pp. 19-26.