

بررسی آب‌های اسیدی ناشی از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی

البرز مرکزی - زیرآب به منظور کاهش اثرات زیست محیطی

سهیل مشرفی^۱، محمد باقر اسلامی^۲

۱ و ۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه

چکیده

باطله‌های معدنکاری و فرآوری زغال سنگ از جمله مهم‌ترین منابع تولید زهاب اسیدی در اکثر دنیا می‌باشد. به همین منظور بیشترین فعالیت‌ها در ارتباط با شناسایی منابع تولید زهاب اسیدی و همچنین روش‌های کنترل و خنثی‌سازی این زهاب‌ها در ارتباط با زغال‌سنگ انجام می‌گیرد. منطقه زغالی البرز مرکزی مقدار زیادی باطله تولید می‌کند، که قادر به تولید پساب اسیدی می‌باشد. به همین منظور مطالعات مذکور جهت بررسی قابلیت تولید پساب اسیدی از این باطله‌ها و تاثیر آن بر آب‌های سطحی اطراف انجام شد. در مطالعات آزمایشگاهی اولیه که بر روی باطله‌ها با استفاده از آزمایش استاتیکی ABA اصلاح شده انجام شد، مشخص گردید که باطله‌های فلوئاسیون و جیگ در محدوده نامشخص قرار گرفته‌اند. لذا به منظور بررسی تولید احتمالی پساب اسیدی ناشی از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه، از روش آزمایش پویا نمونه‌های آب استفاده شده است. در این روش کیفیت آب در دو شرایط آب و هوایی آنالیز و بررسی گردید. نمونه‌ها از آب‌های جاری اطراف کارخانه بر اساس روش نمونه‌گیری استاندارد شماره ۲۳۴۷ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد که اختلاف آماری معنی‌داری بین مقادیر این پارامترها با مقادیر استاندارد ملی وجود ندارد. عواملی چون بالا بودن سختی آب منطقه به علت وجود لایه‌های آهکی، پایین بودن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، کانی‌های رسی تشکیل‌دهنده خاکستر زغال‌سنگ مانند مونتوریلونیت که مانع نفوذ آب‌های ناشی از بارش‌های جوی به درون سد باطله شده و پایین بودن درصد پیریت به عنوان منشأ تولید پساب اسیدی موجب گردیده است که آلودگی اسیدی از جانب کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی، محیط زیست منطقه را تهدید نکند.

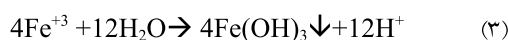
واژگان کلیدی: زغال‌سنگ، کارخانه زغال‌شویی، تست استاتیکی.

مقدمه

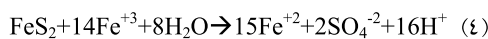
زغال‌سنگ که به صورت باقیمانده یا کپه باطله ناشی از عملیات استخراج یا فرآوری معدن موجود می‌باشد، اتفاق می‌افتد. پیریت موجود در زغال‌سنگ هنگامی که در معرض آب و هوا قرار می‌گیرد، تولید یون‌های آهن فرو و اسیدسولفوریک می‌کند. اکسیداسیون و

شکل‌گیری فاضلاب اسیدی اساساً، به تکنولوژی معدنکاری، آب‌شناسی و زمین‌شناسی یک معدن بستگی دارد. فاضلاب اسیدی توسط یک سری واکنش‌های میکروبی و ژئوشیمیایی حاصل می‌شود. این واکنش‌ها بیشتر در هنگام برخورد آب با پیریت موجود در

جامد شکل می‌گیرد اما اگر pH کمتر از ۳/۵ باشد هیچ رسوبی شکل نمی‌گیرد و یا به مقدار کمی شکل می‌گیرد. هیدروکسید آهن III که در این فرآیند به وجود آمده است، در واقع رسوب نارنجی رنگ و یا متمایل به زرد است که با ورود جریان اسیدی به آب‌های جاری، آنها را به رنگ قرمز یا نارنجی تبدیل کرده و دیواره و کف آبراهه‌ها را با پوشش لزجی می‌پوشاند. حیات آبزیانی که در ته آبراهه‌ها زندگی می‌کنند در اثر این ماده به زودی از بین می‌رود:

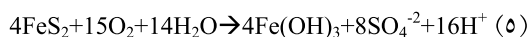


چهارمین واکنش اکسیداسیون پیریت اضافی با آهن سه ظرفیتی است. این واکنش تا اتمام همه یون‌های آهن سه ظرفیتی با پیریت ادامه می‌یابد:



مجموع واکنش‌های فوق نشان می‌دهد که اکسیداسیون پیریت، باعث آزادسازی یون‌های هیدروژن اسیدی در آب و کاهش pH می‌شود.

واکنش‌ها در معادله ذیل به خوبی نشان می‌دهد که به ازای هر مول پیریت، ۴ مول عامل اسیدی در آب آزاد می‌شود:



در حالت کلی معادله فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:



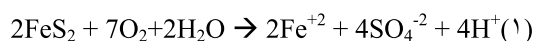
سولفیدهایی از مس، روی، کادمیوم، سرب و آرسنیک نیز واکنش‌های شیمیایی مشابه را طی کرده و نتایج آنها به صورت یون‌های فلزی سمی در پساب‌های معدنی قابل مشاهده است. [۶ و ۱۱]

جهت مطالعه آب‌های اسیدی معادن تحقیقات زیادی انجام شده است. سجاد (۱۳۸۵) زهاب اسیدی معدن کوشک، سلیمانی (۱۳۸۵) قابلیت تولید اسید در معدن مس سونگون اهر و سهرابی (۱۳۸۳) آب‌های اسیدی

هیدرولیز آهن فرو، اکسید آهن هیدراته تولید نموده و ایجاد اسیدیته می‌نماید. به طور کلی فاضلاب اسیدی حاصل از این فرآیند، از لحاظ اسیدی بالا بوده و مقادیر زیادی فلز حل شده دارد. فلزات به صورت حل شده در محلول باقی می‌مانند و اگر مقدار آنها بالاتر رفته و به حد خاصی برسد، شکل‌گیری رسوب میسر می‌گردد. حلالیت فلزات مختلف نشان می‌دهد که رسوب‌گذاری در کدام pH آغاز می‌شود و در کدام pH به پایان می‌رسد.

به طور معمول چهار واکنش شیمیایی پذیرفته شده وجود دارد که نشانگر هوازگی شیمیایی پیریت برای تشکیل فاضلاب اسیدی می‌باشد. اولین واکنش هوازگی پیریت، اکسیداسیون آن می‌باشد. در این واکنش، سولفور در اثر اکسید شدن به سولفات تبدیل شده و آهن دو ظرفیتی آزاد می‌کند. این واکنش برای هر مول پیریت اکسید شده ۲ مول عامل اسیدی آزاد می‌کند. واکنش دوم شامل اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی و تبدیل آن به آهن سه ظرفیتی است این واکنش یک مول از عامل اسیدی تولید شده در مرحله ۱ را مصرف می‌کند.

باکتری‌های مخصوصی که غالباً از نوع «تیوباسیلوس فرواکسیدانس» هستند، سرعت اکسیداسیون و تبدیل آهن دو ظرفیتی به سه ظرفیتی را افزایش می‌دهند:



آنچه در واکنش سوم اتفاق می‌افتد، هیدرولیز آهن است تا در اثر آن هیدروکسید آهن III تولید شود. در این فرآیند، به ازای هر مول آهن سه ظرفیتی، ۳ مول عامل اسیدی ایجاد شده و باعث کاهش pH محیط می‌گردد. شکل‌گیری رسوب هیدروکسید آهن III بستگی به pH دارد. اگر pH بیشتر از ۳/۵ باشد رسوب

باطله‌ها بر روی آب‌های سطحی اطراف کارخانه مورد بررسی قرار گرفته است.

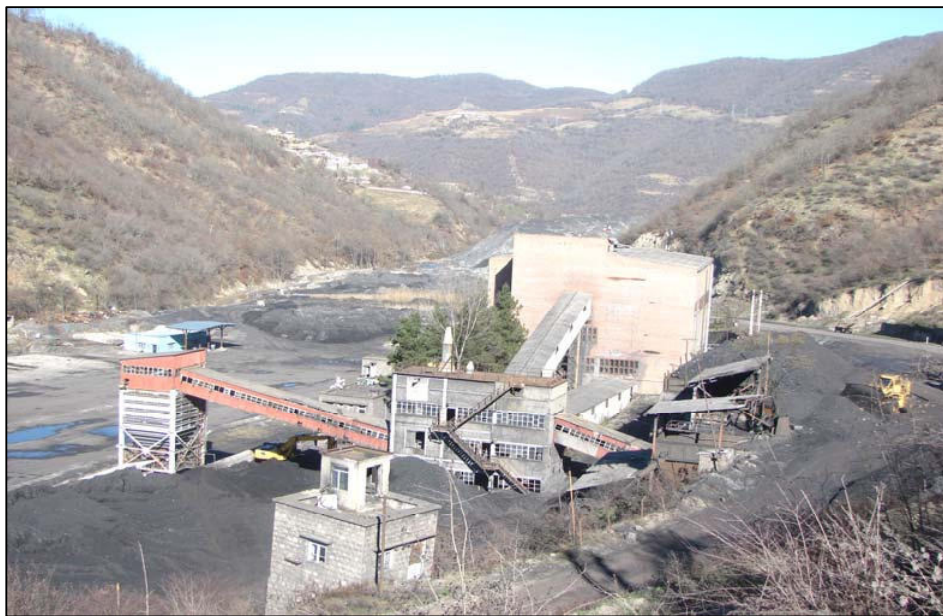
موقعیت جغرافیایی کارخانه

کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی در سال ۱۳۶۷ در شمال ایران، استان مازندران، شهرستان سوادکوه، شهر زیرآب در محل انجیر تنگه در فاصله سه کیلومتری غرب جاده آسفالته قائم شهر- تهران (جاده فیروزکوه) بنا گردیده است. این کارخانه در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان قائم شهر و ۱۸۵ کیلومتری تهران واقع شده است. (شکل ۱، نمایی از کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی را نشان می‌دهد)

ناشی از کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. [۲ و ۳ و ۴]

کلینمن (۲۰۰۱)، اسکوزن (۱۹۹۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۲) نیز آب‌های اسیدی ناشی از باطله‌های معادن زغال‌سنگ و شرلوک (۱۹۹۵) پتانسیل خنثی‌سازی باطله‌های سیدریت را بررسی نموده‌اند [10,12,13,14,15].

در این مقاله ابتدا با روش ABA اصلاح شده قابلیت تولید اسید باطله‌های اطراف کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی که یکی از مهم‌ترین کارخانه‌های تولید کنسانتره زغال‌سنگ در ایران می‌باشد، محاسبه شده و سپس اثرات زیست‌محیطی پساب اسیدی ناشی از



شکل ۱- نمایی از کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی

تن در روز، آب مصرفی ۴۰ مترمکعب در ساعت، نرمة زغال ۴۰۰ تن در سال می‌باشد.

در مجاورت کارخانه رودخانه دلیلم که از آبراهه‌های فصلی مختلف و سه رودخانه شش رودبار، آپن و کلاریجان منشعب می‌گردد، جاری می‌باشد که در نهایت به رودخانه تلار وارد می‌شود.

هدف از اجرای پروژه تاسیس کارخانه زغال‌شویی زیرآب، تغلیظ زغال‌سنگ استخراج شده از معادن کارمزد و کارسنگ بوده است، که بعدها با گسترش معدن کیاسر زغال‌سنگ استخراج شده از این معدن نیز برای شستشو به کارخانه زغال‌شویی زیرآب آورده شد. مشخصات فنی کارخانه شامل ظرفیت اسمی ۱۲۰

انجام مطالعات تئوری

آزمایش‌های ایستا اولین مرحله در تشخیص پتانسیل ایجاد فاضلاب اسیدی در یک معدن در حال مطالعه می‌باشد. این مرحله شامل توصیف ویژگی‌های مختلف انواع سنگ‌ها در یک منطقه معدنی می‌باشد. این آزمایش‌ها ویژگی‌هایی از سنگ که به احتمال قوی در تولید اسید مؤثر هستند را بررسی می‌کند. همچنین آن دسته از خصوصیات سنگ که پتانسیل اسیدی باطله‌های معدنی را بافر کرده و یا خنثی می‌کنند، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. یکی از آزمایش‌های اولیه در ارزیابی و تشخیص پتانسیل اسیدی «آزمایش محاسبه اسید و باز» می‌باشد.

در این آزمایش میزان اسید تولیدی و مواد خنثی کننده آن، در نمونه‌های به دست آمده از مکان‌های اصلی و کلیدی معدن اندازه‌گیری می‌شود. مواد معدنی سولفورها و به خصوص سولفیدهایی مانند پیریت هنگامی که در معرض آب و هوا قرار می‌گیرند، دارای پتانسیل تولید اسید می‌شوند. از طرف دیگر، گروه‌های دیگری از مواد معدنی مانند کربنات کلسیم می‌توانند خاصیت اسیدی را خنثی کرده و یا بافر کنند. حال در آزمایش محاسبه اسید-باز یا ABA این دو پتانسیل، یعنی پتانسیل تولید اسید و پتانسیل خنثی‌سازی آن در نمونه‌های متعدد اندازه‌گیری شده و مورد مقایسه قرار می‌گیرند. فرضاً اگر در یک محیط معدنی این دو پتانسیل یک دیگر را موازنه کرده و یا به عبارت دیگر با هم برابر باشند آنگاه سطح اسیدیته طبیعی در جریان‌ات داخلی و زیرزمینی هیچ تغییری نمی‌کند [9,13].

آزمایش محاسبه اسید-باز اصلاح شده

آزمایش ABA (Modified Acid-Base Accounting) شکلی از آزمایش‌های استاتیکی است که در سال ۱۹۷۴ جهت ارزیابی پتانسیل تولید اسید مورد استفاده قرار گرفت و در سال ۱۹۷۸ به وسیله سوپک و همکارانش اصلاح شد.

این آزمایش از معتبرترین آزمایش‌هایی است که برای بررسی آب‌های اسیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دستورالعمل آزمایش به صورت زیر است:

۱- ابتدا نمونه خرد و سپس پودر می‌شود تا جایی که ۸۰٪ نمونه از نظر ابعاد کوچک‌تر از ۶۰ مش باشد.

۲- آنالیز نمونه‌ها برای به دست آوردن سولفور

۳- تعیین pH نهایی نمونه

۴- استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال برای استاندارد کردن محلول‌های ۰/۱ و ۰/۵ نرمال هیدروکسید سدیم که خود برای استاندارد کردن محلول‌های ۰/۱ و ۰/۵ نرمال اسید کلریدریک به کار می‌رود.

۵- اضافه کردن چند قطره اسید کلریدریک ۰/۲۵٪ به ۱ تا ۲ گرم نمونه پودر شده برای بدست آوردن نرخ فیز (در ادامه توضیح داده می‌شود).

۶- حدود ۲ گرم از نمونه آماده‌سازی شده را در یک ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و اسید کلریدریک با حجم و نرمالیت مشخص که بر اساس آزمایش فیز انتخاب می‌شود به آن اضافه می‌گردد. (جدول ۱)

جدول ۱- انتخاب حجم و نرمالیت اسید کلریدریک بر اساس

آزمایش [11]

نرخ فیز	حجم اسید	نرمالیت اسید
بدون واکنش	۲۰ میلی لیتر	۰/۱
ضعیف	۴۰ میلی لیتر	۰/۱
متوسط	۴۰ میلی لیتر	۰/۵
قوی	۸۰ میلی لیتر	۰/۵

%S	درصد گوگرد نمونه
AP	پتانسیل تولید اسید
NP	پتانسیل خنثی سازی
NNP	پتانسیل خنثی سازی خالص
N	نرمالیت (اسید کلریدریک یا سود)
V	حجم (اسید کلریدریک یا سود)
W	وزن نمونه

۱۱- بر اساس جدول شماره ۲ قابلیت تولید اسید

نمونه‌ها بررسی می‌گردد. [۴]

جدول ۲- معیار ارزیابی پتانسیل تولید اسید [11]

پتانسیل تولید اسید	NP/AP
فاقد پتانسیل اسیدی	>۳/۱
حدواسط	بین ۱/۱ و ۳/۱
دارای پتانسیل اسیدی	<۱/۱

آزمایش فیز

فیز صدایی است که پس از اضافه کردن اسید به نمونه از آن شنیده می‌شود. آزمایش فیز یک آزمایش کیفی است و معیار خاصی برای آن وجود ندارد و معمولاً با توجه به تجربه و نظر اپراتور آزمایشگاه مشخص می‌شود. با توجه به کیفی بودن آزمایش فیز، برای مقایسه شدت فیز نمونه‌ها، کلیه این آزمایش‌ها باید در یک زمان انجام شود و در صورت تشخیص عدم صحت فیزها در طول آزمایش، حجم و نرمالیت اسید مورد استفاده اصلاح گردد. روش انجام این آزمایش به ترتیبی است که در زیر آورده شده است. ابتدا حدود ۱ تا ۲ گرم نمونه پودر شده را در شیشه ساعت قرار داده و اسید کلریدریک ۲۵٪ با قطره چکان بر روی آن ریخته بر اساس شدت صدای شنیده شده، فیز نمونه‌ها تعیین می‌گردد.

۷- محتویات ظرف به وسیله لرزاننده به مدت ۲۴ ساعت تکان داده می‌شود. پس از گذشت ۶ ساعت از آزمایش pH پالپ اندازه‌گیری می‌شود. اگر pH بیشتر از ۲ بود، مقدار اسید کلریدریک (۱/۵ تا ۲ میلی لیتر) با خصوصیات اولیه به نمونه اضافه می‌گردد.

۸- بعد از ۲۴ ساعت pH پالپ اندازه‌گیری می‌شود. اگر حجم کل و قدرت اسید مناسب باشد، pH پایانی ۲ تا ۲/۵ خواهد بود. اگر pH بیشتر از ۲/۵ بود، چنین استنباط می‌شود که مقدار اسید اضافه شده ناکافی بوده است. اگر pH کمتر از ۲/۵ باشد، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که اسید اضافه شده بیشتر از نیاز بوده است. در هر یک از موارد یاد شده، آزمایش باید با حجم کمتر یا بیشتر یا اسید کلریدریک قوی‌تر دوباره انجام شود.

۹- محتویات ظرف با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ یا ۰/۵ نرمال تا pH=۸/۳ تیترو می‌شود.

۱۰- پس از پایان آزمایش مقادیر پتانسیل خنثی‌سازی و تولید اسید به روش زیر محاسبه می‌شود.

$$AP = \%S * 31.25 \quad (۱)$$

$$NP = [(N * V)HCL - (N * V)NaOH] * 50/w \quad (۲)$$

$$NNP = NP - AP \quad (۳)$$

کربناته بسیار کمتر از کانی‌های سولفیدی است و از طرفی مقداری از گوگرد ارگانیکی در تولید اسید شرکت می‌کند، لذا نتایج این روش به واقعیت نزدیک‌تر است و همچنین استفاده از این روش، هزینه انجام آزمایش‌های اندازه‌گیری سولفور را نیز کاهش می‌دهد. با توجه به موارد مذکور در آزمایش‌های اندازه‌گیری سولفور، از سولفور کلی به عنوان ملاک تعیین AP استفاده می‌شود. لذا نمونه‌گیری به روش معمول در منطقه از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون انجام گرفت. برای تعیین گوگرد کلی از کوره لکوی (LECO) سازمان زمین‌شناسی استفاده شد. پس از تعیین گوگرد کلی نمونه‌ها، مقدار پتانسیل تولید اسید محاسبه می‌گردد [13, 16]

انجام محاسبات

پس از انجام آزمایش، مقادیر NP, AP و در نهایت NNP, NP/AP محاسبه می‌گردد. پس از محاسبه نتایج با استفاده از اطلاعات هر بخش نمودار مربوط به آن با توجه به نسبت NP/AP رسم می‌شود. لازم به ذکر است در نمودارها نقاطی که بالای خط $NP/AP = 3$ قرار دارند از نظر تولید اسید دارای وضعیت بی‌خطر می‌باشند و نقاطی که دارای NP/AP مابین خطوط ۱ و ۳ می‌باشند، از نظر تولید اسید دارای وضعیت نامشخص می‌باشند و نقاط زیر خط NP/AP مولد اسید هستند [14].

جدول ۳ مشخصات آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های باطله فلوتاسیون و جیگ را نشان می‌دهد.

پس از انجام آزمایش‌ها، مقادیر AP, NP و در نهایت NNP و NP/AP محاسبه گردید. جدول ۴ نتایج آزمایش‌های ABA اصلاح شده را ارائه کرده است. با توجه به اطلاعات هر بخش نمودار مربوط به آن بخش با توجه به NP/AP ترسیم گردید. با توجه به نمودار

پس از تعیین فیز نمونه‌ها، نرمالیت‌ها و حجم اسید و باز مورد استفاده در انحلال کانی‌های کربناته و تیتراسیون مشخص می‌شود و برای اندازه‌گیری NP حدود ۲ گرم از نمونه را در یک ارلن مایر ریخته و سپس بر اساس آزمایش فیز اسیدی با نرمالیت‌ها و حجم مقتضی به نمونه افزوده می‌شود. محلول اسیدی و نمونه به مدت ۲۴ ساعت در لرزاننده قرار گرفته و تکان داده می‌شود. در ضمن پس از ۶ ساعت از شروع آزمایش، pH محلول اندازه‌گیری شده و در صورت نیاز مقداری اسید به ظرف اضافه می‌گردد، پس از پایان آزمایش دوباره pH محلول اندازه‌گیری شده و در صورتی که pH بین ۲ تا ۲/۵ بود، محلول حاصله با استفاده از کاغذ صافی، صاف گردیده و با استفاده از تیترا تور اتوماتیک تا $pH = 8/3$ تیترو می‌شود. چنانچه pH نهایی پس از ۲۴ ساعت در محدوده ۲-۲/۵ قرار نگیرد، آزمایش با مقدار اسید بیشتر تکرار گردد [15].

تعیین پتانسیل تولید اسید (AP)

جهت محاسبه AP، سولفور موجود در نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و با توجه به اینکه سولفور به اشکال مختلف در باطله‌ها وجود دارد، معمولاً ملاک‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری AP استفاده می‌شود. در بسیاری موارد شکل‌های مختلف سولفور اندازه‌گیری شده و در نهایت با تعیین سولفور سولفیدی، مقدار AP محاسبه می‌شود. در برخی موارد هم، مقدار سولفور خنثی که در کانی‌هایی از قبیل ژپیس و باریت، تجمع یافته است، از مقدار سولفور کلی نمونه کاسته شده و سپس مقدار حاصله به عنوان ملاک تعیین AP به کار می‌رود. اما امروزه استفاده از سولفور کلی به عنوان ملاکی جهت تعیین AP گسترش بیشتری یافته است، اگر چه این روش در تئوری اشتباه به نظر می‌رسد ولی با توجه به اینکه نرخ انحلال کانی‌های

روش اندازه‌گیری مرکب فاصله زمانی ۸ ساعت بر اساس استاندارد شماره ۲۳۴۷ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام گرفت. نمونه‌گیری زمانی انجام گرفت که میزان بارندگی کم و جریان آب رودخانه حالت عادی خود را داشت. نمونه‌ها جهت تعیین کیفیت شیمیایی آب بلافاصله پس از نمونه‌برداری به آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب شهرستان قائم‌شهر منتقل گردید. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها مطابق جدول (۵) است.

شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که باطله‌های جیگ و فلوتاسیون، یا قابلیت تولید اسید را داشته و یا این قابلیت با روش ABA نامشخص است. لذا انجام آزمایش‌های ژئوشیمیایی دینامیکی و آنالیز کیفیت پساب تولیدی ناشی از کارخانه جهت بررسی دقیق‌تر ضرورت می‌یابد.

به همین منظور جهت بررسی اولیه تأثیر پساب باطله کارخانه در اسیدی شدن آب، نمونه‌گیری اولیه از پساب‌های باطله دستگاه جیگ و سلول فلوتاسیون کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه و آب رودخانه دلیم به

جدول ۳- مشخصات آزمایش ABA اصلاح شده تعدادی از نمونه‌های فلوتاسیون و جیگ [۶]

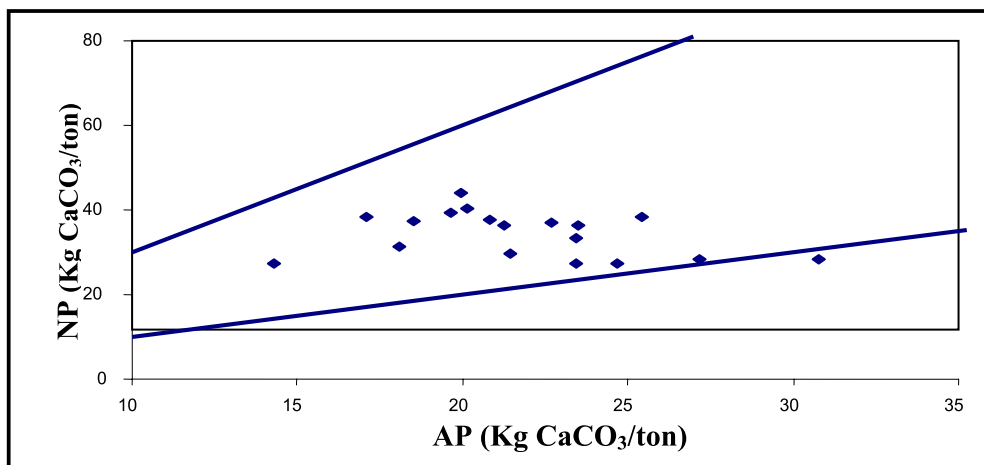
نمونه	نرخ فیز	نرمالیته اسید	حجم اسید	pH پس از ۶ ساعت	pH نهایی پس از ۶ ساعت با اسید اضافه شده	نرمالیته سود	حجم سود
Tf1	بدون واکنش	۰/۱	۲۰	۲/۱	۲/۱۸	۰/۱	۳/۲
Tf2	بدون واکنش	۰/۱	۲۰	۲/۲۲	۲/۴	۰/۱	۲/۸
Tf3	بدون واکنش	۰/۱	۲۰	۲/۱۸	۲/۲	۰/۱	۳/۲
Tj1	بدون واکنش	۰/۱	۲۰	۲/۱۵	۲/۱	۰/۱	۱۲/۴
Tj2	بدون واکنش	۰/۱	۲۰	۲/۱	۲/۵	۰/۱	۷/۵
Tj3	بدون واکنش	۰/۱	۲۰	۲/۱۲	۲/۳	۰/۱	۱۰/۱

جدول ۴- نتیجه آزمایش ABA اصلاح شده [۶]

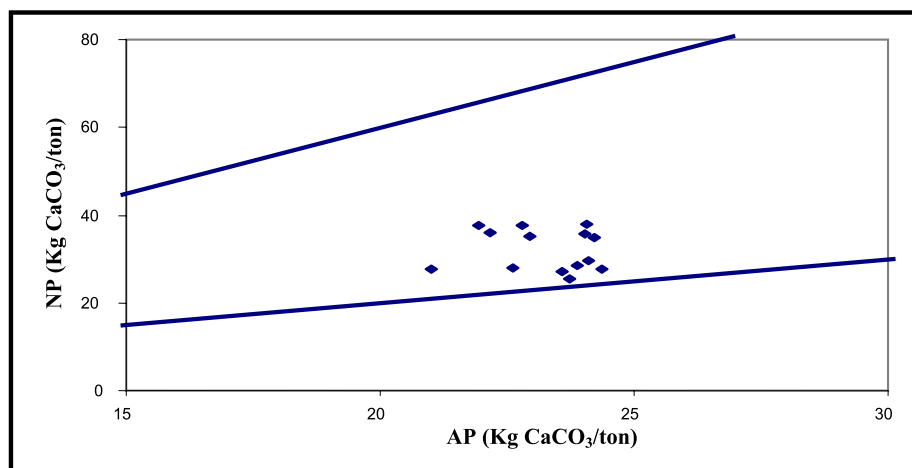
شماره	وزن نمونه	%S	NP	AP	NP/AP	NNP	نوع باطله
Tf1	۲g	۰/۷۵۰۵	۴۲	۲۳/۴۳	۱/۷۹	۱۸/۷۵	فلوتاسیون
Tf2	۲g	۰/۷۰۱۵	۴۱/۲۵	۲۱/۹۲	۱/۸۸	۱۹/۳۳	فلوتاسیون
Tf3	۲g	۰/۶۷۵۰	۴۲	۲۱/۰۹	۱/۹۵	۲۰/۹۱	فلوتاسیون
Tj1	۲g	۰/۶۰۱۵	۲۴/۳۷	۱۸/۸۰	۱/۲۹	۵/۵۷	جیگ
Tj2	۲g	۰/۷۷۱۳	۳۶/۵۰	۲۴	۱/۵۲	۱۲/۵	جیگ
Tj3	۲g	۰/۷۰۱۱	۳۰/۰۱	۲۱/۹۰	۱/۳۷	۸/۱۰	جیگ

جدول ۵- آنالیز اولیه نمونه‌های آب قسمت‌هایی از کارخانه و سد باطله [۱]

نمونه	محل نمونه برداری	pH	آهن Fe	نیترات NO ₃ ⁻	نیتريت NO ₂ ⁻	سولفات SO ₄ ⁻²	قلیائیت	سختی
S ₁	آب ورودی به جیگ (یا آب ورودی به سرند (۲۰	۷/۳	۰/۱۴	۵	۰/۹۳	۲۸۰	۲۲۰	۳۲۰
S ₂	آب حوضچه باطله فلوتاسیون	۷/۳	۰/۶۸	۱۴	۰/۰۶۴	۳۰۰	۱۷۰	۲۷۰
S ₃	آب مورد نیاز کارخانه در مواقع ضروری	۸	۰/۳۳	۴/۶	۰/۲	۱۲۸	۲۱۰	-
S ₄	آب رودخانه دلیلم در پایین دست سد باطله	۸/۱	۰/۲۰	-	-	۱۲۰	۱۷۰	-
S ₅	آب رودخانه دلیلم در بالادست سد باطله	۸	۰	-	-	۱۲۴	۲۰۰	-
S ₆	آب رودخانه تلار که از شهر پل سفید می‌گذرد	-	۰/۵۰	-	-	۳۲۰	۱۸۰	-



شکل ۲- نتایج آزمایش ABA اصلاح شده روی باطله های فلوتاسیون [۶]



شکل ۳- نتایج آزمایش ABA اصلاح شده روی باطله های جیگ [۶]

به ترتیب ۱۱۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد، واضح است که نشی آب از حوضچه‌های آرامش دهنده کارخانه یا سد باطله به رودخانه دلیلم وجود ندارد (شکل ۶).

اما نمونه‌های D_1 و D_2 که از شیرابه‌های جاری در باطله معدن پس از بارش برف گرفته شد، به ترتیب با حداکثر مقدار مجاز ۳۲۰ و ۲۹۰ میلی گرم بر لیتر تفاوت دارد. اما با نمونه‌گیری از بالادست (D_4) و پایین دست (W_8) ورودی شیرابه باطله به رودخانه و با توجه به دبی بسیار کم آن در مقایسه با دبی بسیار بالای رودخانه دلیلم تأثیری در آب رودخانه ندارد (شکل ۶). از طرفی شیرابه باطله معدنی در بارش‌های بیش از ۱۰ میلیمتر در روز به وجود می‌آیند. مقادیر یون سولفات برای نمونه‌های (D_4) و (W_8) به ترتیب ۹۵ و ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است.

شکل ۷ مقدار سولفات کلیه نمونه‌های مربوط به جدول ۷ را در مقایسه با حد مجاز آن نشان می‌دهد. مقدار سولفات کلیه نمونه‌های گرفته شده از رودخانه دلیلم زیر حد مجاز قرار دارد و آلودگی از جهت اسیدی بودن با توجه به pH آنها مشاهده نمی‌گردد. اما نمونه W_6 ، ۱۰ میلی گرم بر لیتر بیش از حداکثر مجاز، سولفات دارد. نمونه W_6 مربوط به رودخانه تلار می‌باشد که از شهر پل سفید عبور کرده و از مجاور شرکت زغال‌سنگ البرز مرکزی می‌گذرد. این افزایش احتمالاً به واسطه فاضلاب شهری و کارخانه‌ها و کارگاه‌های شهرک صنعتی شورمست می‌باشد.

همچنین به منظور بررسی تاثیر نزولات جوی به صورت باران یا برف، به تعداد ۸ نمونه آب از باطله‌های معدن کارمزد و آب مصرفی در قسمت‌های مختلف کارخانه و آب حوضچه‌های آرامش در شرایط مذکور گرفته شد. نتایج آنالیز شیمیایی این نمونه‌ها در جدول ۶ آمده است. جهت بررسی تاثیر باطله‌های معدنی و کارخانه زغال‌شویی بر آلودگی اسیدی رودخانه دلیلم، به تعداد ۷ نمونه آب از بالادست و پایین دست باطله های معدن کارمزد و کارخانه زغال‌شویی از رودخانه دلیلم گرفته شد. نتایج آنالیز شیمیایی این تعداد از نمونه‌ها نیز در جدول ۷ آمده است. شکل ۲ نیز محل نمونه‌برداری‌ها را نشان می‌دهد.

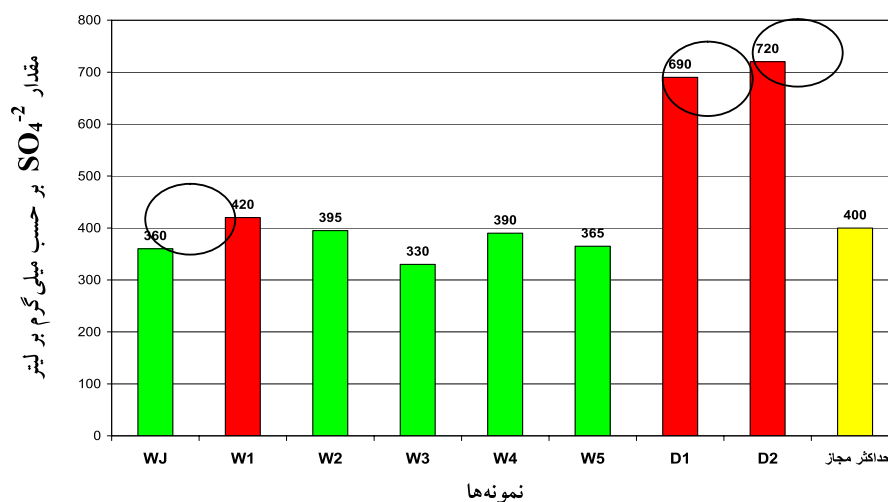
تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی مرحله نمونه‌برداری با استاندارد ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست (جدول ۸)، مقایسه گردید. با مقایسه داده‌های جدول‌های ۵، ۶ و ۷ با جدول استاندارد (جدول ۸) مشاهده می‌شود که مقادیر نیتریت، نیترات، آهن و pH کلیه نمونه‌ها در محدوده مجاز قرار دارند.

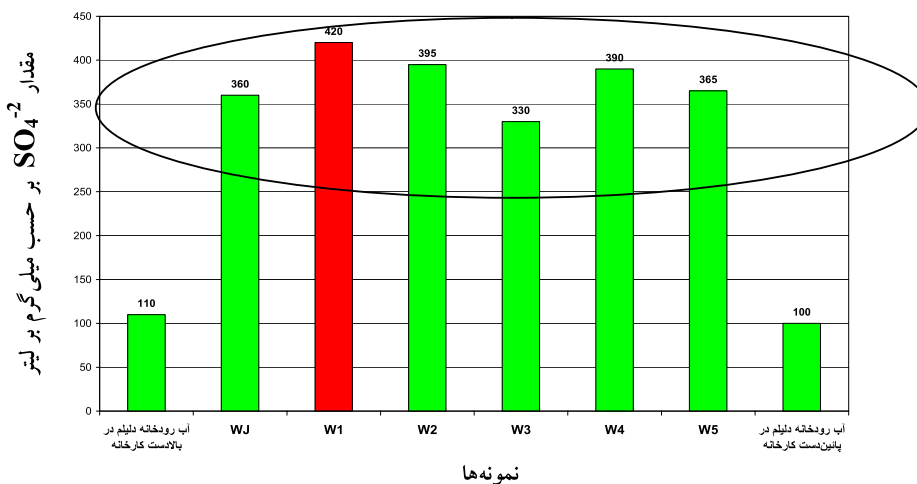
شکل ۵ مقدار یون سولفات [SO_4^{2-}] کلیه نمونه‌های مربوط به جدول ۶ را در مقایسه با حد مجاز آن نشان می‌دهد. نمونه آب ورودی به سرنند ۲۰ (W_1) دارای ۴۲۰ میلی گرم بر لیتر یون سولفات است که از حداکثر مقدار مجاز (۴۰۰ میلی گرم بر لیتر) به مقدار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر است. از آن جا که آب مصرفی کارخانه همان آب برگشتی حوضچه‌های آرامش، تیکنر و کلاسیفایرها می‌باشد و از طرف دیگر با مقایسه مقادیر [SO_4^{2-}] نمونه‌های مربوط به بالادست (W_8) و پایین دست (W_7) کارخانه و سد باطله آن که

جدول ۸- استاندارد برخی مواد آلوده کننده خروجی فاضلابها (ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست) [۱]

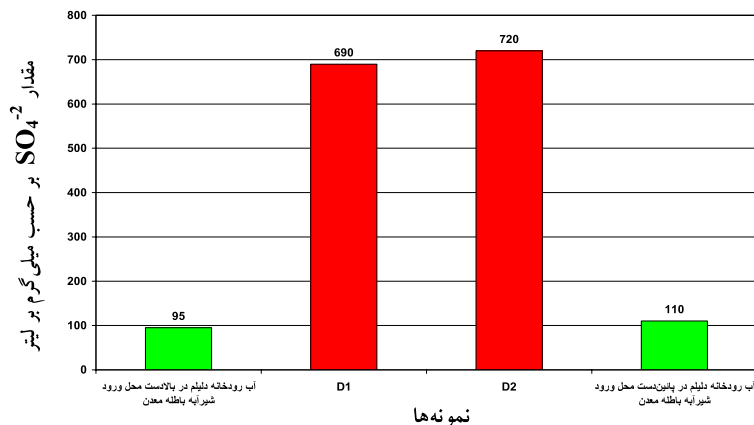
ردیف	مواد آلوده کننده	فرمول شیمیائی	تخلیه به آب های سطحی (میلی گرم در لیتر)	تخلیه به چاه (میلی گرم در لیتر)	مصارف کشاورزی (میلی گرم در لیتر)
۱	سولفات	SO_4^{-2}	۴۰۰	۴۰۰	۵۰۰
۲	نیتريت	NO_2	۱۰	۱۰	-
۳	نیترات	NO_3	۵۰	۱۰	-
۴	آهن	Fe	۳	۳	۴



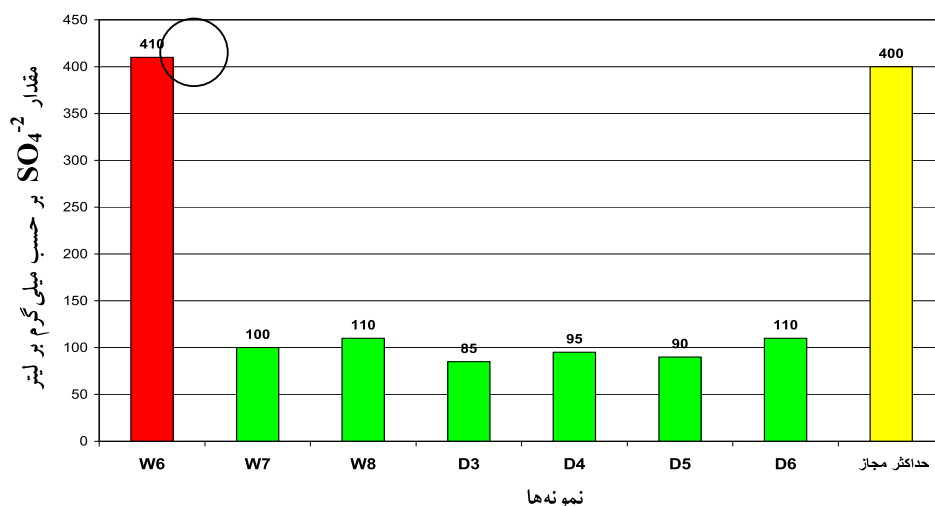
شکل ۵- مقایسه مقدار سولفات $[SO_4^{-2}]$ (بر حسب میلی گرم بر لیتر) مربوط به نمونه های جدول (۷) با حد اکثر مجاز [۱]



شکل ۶- مقایسه مقدار یون سولفات نمونه های آب قسمت های مختلف کارخانه و حوضچه های آرامش با نمونه های آب رودخانه دلیلم در بالادست (W8) و پایین دست (W7) کارخانه [۱]



شکل ۷- مقایسه مقدار یون سولفات نمونه‌های D_1 و D_2 از شیرابه باطله معدن با نمونه‌های آب رودخانه در بالادست (D_4) و پایین دست (W_8) ورود شیرابه به رودخانه دلیلم [۱]



شکل ۸- مقایسه مقدار سولفات [SO_4^{2-}] (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر) نمونه‌های مربوط به جدول (۸) با حداکثر مجاز [۱]

نتیجه‌گیری

میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد و آلودگی از جهت مقدار آهن وجود ندارد.

۳- مقدار یون نیترات (NO_3^-) کلیه نمونه‌ها از ۰/۲۷ الی ۰/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که زیر حد استاندارد ۰/۵۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد و آلودگی زیست محیطی از این جهت وجود ندارد.

۴- مقدار یون نیتريت (NO_2^-) کلیه نمونه‌ها از ۰/۰۰۲ الی ۰/۱۸ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که زیر حد

۱- pH کلیه نمونه‌ها از ۷/۲ الی ۸/۵ می‌باشد که در محدوده استاندارد ۶ الی ۹ قرار دارد و از این جهت مشکل اسیدی بودن و اثرات سوء زیست محیطی وجود ندارد.

۲- مقدار آهن کلیه نمونه‌ها از ۰/۰۱ الی ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که زیر حد استاندارد ۰/۳

استاندارد ۳ میلی گرم بر لیتر قرار دارد و آلودگی زیست محیطی از این جهت وجود ندارد.

۵- مقدار یون سولفات نمونه‌های W_1 ، W_2 ، W_3 ، W_4 و W_5 مربوط به جدول ۶ به ترتیب ۳۶۰، ۹۵، ۳۳۰، ۳۹۰ و ۳۶۵ میلی گرم بر لیتر می باشد که زیر حد مجاز یا استاندارد ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. مقدار یون سولفات نمونه‌های W_1 (آب ورودی به سرند ۲۰)، D_1 (شیرابه باطله معدن کارمزد «تونل ۲۰») و D_2 (شیرابه باطله معدن کارمزد تاریک‌دره) به ترتیب ۴۲۰، ۶۹۰ و ۷۲۰ میلی گرم بر لیتر است که بالاتر از حد استاندارد ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشند. نمونه‌های D_1 و D_2 در شرایط بارانی نمونه‌گیری شد و از آن جا که مقدار دبی آن خیلی کمتر از دبی رودخانه دلیلم است، لذا تأثیری در مقدار یون سولفات رودخانه ندارد. مقدار یون سولفات در بالادست و پائین دست محل ورود شیرابه‌ها به رودخانه دلیلم به ترتیب ۹۵ و ۱۱۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. این مقادیر به مراتب پائین تر از حد استاندارد ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر است و تأثیر زیادی در تغییرات یون سولفات رودخانه دلیلم ندارد. اما در نمونه‌های W_1 ، W_2 ، W_3 ، W_4 و W_5 هر چند که مقادیر یون سولفات نمونه‌ها زیر حد استاندارد است ولی نزدیک به آن می باشند. این مقدار تقریباً بالا یون سولفات در نمونه‌های آب قسمت‌های مختلف کارخانه احتمالاً مربوط به واکنش‌های شیمیایی یا الکتروشیمیایی گوگرد یا پیریت موجود در زغال سنگ است. با نمونه‌گیری از آب رودخانه دلیلم در بالادست و پائین دست کارخانه و سد باطله کارخانه مشخص گردید که مقدار یون سولفات در نمونه بالادست کارخانه ۱۱۰ و در پائین دست سد باطله در صد متری محل تقاطع رودخانه دلیلم و رودخانه تلار،

۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده است. این نتایج نشان می دهد که آب کارخانه و حوضچه‌های آرامش دهنده آب و تالاب مصنوعی هیچ گونه نشستی به رودخانه دلیلم ندارند.

۶- کلیه نمونه‌های مربوط به جدول ۷ به غیر از نمونه W_6 که از آب «رودخانه تلار» گرفته شده است دارای یون سولفات از ۸۵ تا ۱۱۰ میلی گرم بر لیتر هستند که زیر حد استاندارد ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده و از این جهت مشکلی وجود ندارد. اما نمونه W_6 که مقدار یون سولفات آن ۴۱۰ میلی گرم بر لیتر است، ۱۰ میلی گرم بر لیتر بیش از حد استاندارد می باشد. علت آن می تواند احتمالاً فاضلاب شهری شهر پل سفید و شهرک صنعتی شورمست و فاضلاب روستائی بالادست باشد.

۷- عواملی چون بالا بودن سختی آب منطقه به علت وجود لایه‌های آهکی، پایین بودن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، کانی‌های رسی تشکیل دهنده خاکستر زغال سنگ مانند مونتموریلونیت که مانع نفوذ آب‌های ناشی از بارش‌های جوی به درون سد باطله شده و پایین بودن درصد پیریت به عنوان منشأ تولید پساب اسیدی موجب گردیده است، که آلودگی اسیدی از جانب کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی، محیط زیست منطقه را تهدید نکند، لذا برای بررسی دقیق تر انجام آزمایشات کامل تر روی نمونه‌های آب، بررسی ساختارهای زمین شناسی منطقه و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، همچنین انجام آزمایش‌های سیتیکی برای بررسی دقیق تر باطله‌ها پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

برخود لازم می‌دانیم از زحمات حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه برای حمایت مالی از این طرح پژوهشی و همچنین از مسئولین شرکت زغال‌سنگ البرز مرکزی تشکر و قدردانی نماییم.

منابع

- ۱- اسلامی، م.، مشرفی، س.، (۱۳۸۶)، بررسی و مطالعه آب‌های اسیدی ناشی از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی- زیرآب به منظور کاهش اثرات زیست محیطی (دینامیکی)، طرح پژوهشی پایان یافته، مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران، ۱۶۰ ص.
- ۲- سجادی، س.ع.، (۱۳۸۵)، بررسی زهاب اسیدی حاوی فلزات سنگین معدن سرب کوشک، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ۱۱۶ ص.
- ۳- سلیمانی، م.، (۱۳۸۵)، استفاده از آزمایش سنتتیک در تعیین پیش‌بینی قابلیت تولید اسید و آلاینده حاصل از یونهای فلزی در معدن مس سونگون اهر، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ۹۱ ص.
- ۴- سهرابی، و.، (۱۳۸۳)، پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر، بررسی پتانسیل، تولید زهاب اسیدی از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی با استفاده از آزمایشات ABA اصلاح شده، ۱۹۰ ص.
- ۵- رضائی، ب.، (۱۳۸۰)، تکنولوژی زغال‌شویی، انتشارات مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۱۶ ص.
- ۶- مشرفی، س.، اسلامی، م.، (۱۳۸۶)، بررسی و مطالعه آب‌های اسیدی ناشی از باطله‌های کارخانه زغال‌شویی البرز مرکزی- زیرآب به منظور کاهش اثرات زیست محیطی (استاتیکی)، طرح پژوهشی پایان یافته دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، ۱۵۰ ص.
- ۷- یزدی، م.، (۱۳۸۲)، زغال‌سنگ از منشأ تا اثرات زیست محیطی، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر، ۲۷۸ ص.
- 8- Bernhard Dold, (2000). basic concepts in environmental Geochemistry of sulfide mine wast, UNESCO society of Economic Geologists (SEG), p111-123.
- 9- Ian Butler, Stephen Grimes, (2000). David Rickard, Pyrite Formation in an Anoxic Chemo Static. Reaction System, Department of Earth Sciences, Cardiff University, Park Place, Cardiff, CF10 3YE, UK; p 19-26.
- 10- Kleinman R.L.P., (2001). Prediction of water quality at surface coal mines the national Mine Land Reclamation Center; p 47-52.
- 11- Lawrence, R.W., (1995). Prediction of Acid Rock Drainage – Fundamentals and Tools. MEND Prediction Workshop, Montreal, 7-8 December, MEND, Ottawa, Ontario, p 27-38.
- 12- J.Skousen, (2002). Acid–Base Accounting to Predict Post-Mining Drainage Quality on Surface Mines. J. Environ.qual. vol. 31, November; p 55-63.

- 13- Sherlock, E.J., Lawrence, R.W. and Poulin, R., (1995). On the Neutralization of Acid Rock Drainage by Carbonate and Silicate Minerals. *Environmental Geology*, v 25, p 43-54.
- 14- Skousen, J., Renton, J., Brown, H., Evans, P., Leavitt, B., Brady, K., Cohen, L. and Ziemkiewicz, P., (1997). Neutralization Potential of Overburden Samples containing Siderite. *Journal of Environmental Quality*, v.26, n.3, p 673-681.
- 15- Skousen, J.G., (2000). Static tests for predicting coal mine drainage. In *Acid mine drainage prediction in the Eastern*; p 126-135.
- 16- Sobek, AA. Schuller, W.A.Freeman, JR.and Smith, R.M.,(1978). *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils*, EPA 600/2-78-054, 203 PP.