

## امکان‌سنجی پیریت‌زدایی از زغالسنگ با استفاده از بیوفلوتاسیون

هادی نقوی<sup>۱</sup>، عباس سام<sup>۱</sup> و حسن سالاری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، گروه مهندسی معدن

<sup>۲</sup> کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، پژوهشکده علوم محیطی، گروه اکولوژی

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۲

### چکیده

یکی از ناخالصی‌های همراه زغالسنگ، گوگرد است که به دو صورت آلی و معدنی وجود دارد. میزان گوگرد بیش از حد مجاز در کنسانتره زغالسنگ سبب تولید کک نامرغوب می‌شود. این کک در کوره‌های احیا مستقیم ذوب آهن، باعث تولید چدن و فولاد نامرغوب می‌شود. همچنین وجود گوگرد در زغالسنگ‌های حرارتی موجب تولید گاز دی‌اکسید گوگرد می‌شود که اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی دارد. بخش عمده گوگرد معدنی زغالسنگ، پیریت می‌باشد. در فراوری زغالسنگ معمولاً از فلوتاسیون به منظور جدایش انتخابی و بازیابی زغالسنگ از مواد باطله استفاده می‌شود. در روش فلوتاسیون به منظور حذف پیریت معمولاً از سیانید سدیم استفاده می‌شود. استفاده از سیانید به دلیل سمی بودن چندان مورد توجه نمی‌باشد. در این تحقیق امکان پیریت‌زدایی از زغالسنگ طبرس با استفاده از باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس و روش فلوتاسیون مورد مطالعه قرار گرفت. در این روش اتصال باکتریایی، خواص سطح پیریت در زغالسنگ را از حالت آبرانی به آبدوستی تغییر می‌دهد. این تغییر ویژگی سطح، امکان جداسازی پیریت از زغالسنگ را در فلوتاسیون میسر می‌سازد. باکتریها در محیط کشت 9K کشت داده شد. آزمایش‌های بیوفلوتاسیون در سلول فلوتاسیون Denver انجام شد و تأثیر عوامل مختلف از قبیل درصد جامد پالپ، اندازه ذرات زغالسنگ، دانسیته باکتریایی و مدت زمان ماند بر حذف پیریت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش، پیریت به میزان متوسط ۶۲ درصد و گوگرد کلی به میزان متوسط ۳۵ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: بیوفلوتاسیون، زغالسنگ طبرس، پیریت، تیوباسیلوس فرواکسیدانس

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۲۴۰۶۱۴۲، پست الکترونیکی: h\_salari57@yahoo.com

### مقدمه

دی‌اکسید گوگرد تولید شده از زغالسنگ را می‌توان بوسیله سیستم‌های گوگردزدایی گازی حذف کرد. عیب این روش، گران بودن آن است (۱۳). از طرفی وجود گوگرد در زغالسنگ در کوره‌های احیا مستقیم با آهن واکنش می‌دهد، به طوری که موجب ترد و شکننده شدن فولاد می‌شود (۱۴). به طور کلی گوگرد در زغالسنگ به دو بخش معدنی و آلی تقسیم بندی می‌شود. پیریت عمده ترین بخش گوگرد معدنی را تشکیل می‌دهد (۵). روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی به منظور کاهش هر یک

زغالسنگ به‌عنوان منبع اصلی انرژی در طول قرن‌ها پذیرفته شده است. به علاوه آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی کرده است در سالهای آینده میزان مصرف زغالسنگ به طور قابل توجهی از مقدار  $۳/۵ \times ۱۰^{۱۲}$  تن در سال در حال حاضر به مقدار  $۵/۳ \times ۱۰^{۱۲}$  تن در سال افزایش می‌یابد. در احتراق زغالسنگ، گوگرد موجود در آن با اکسیژن ترکیب شده و به صورت دی‌اکسید گوگرد در می‌آید، که باعث آلودگی هوا و باران‌های اسیدی می‌شود (۱۶) و همچنین ارزش حرارتی زغالسنگ را کاهش می‌دهد (۱۷).

این تحقیق از لایه C<sub>1</sub> معدن زغالسنگ پروده ۲ طس گرفته شد و پس از خردایش و آنالیز سرندي، دانه بندی زیر ۵۰۰ میکرون به منظور انجام آزمایش های بیوفلوتاسیون در نظر گرفته شد. جدول ۱، مشخصات نمونه زغالسنگ را نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات زغالسنگ پروده طس بر اساس آنالیز مجتمع

زغال سنگ

مقدار	درصد وزنی
گوگرد کلی	1.45
گوگرد پیریتی	0.81
گوگرد آلی	0.64
خاکستر	34.7
رطوبت	2.5
مواد فرار	25.65

**کشت باکتری:** در این تحقیق از باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس که از بانک میکروبی مجتمع مس سرچشمه کرمان تهیه شده بود، به عنوان حذف کننده پیریت استفاده شد. باکتری در محیط کشت 9K (جدول ۲) حاوی سولفات آهن II که pH آن بر روی ۲ تنظیم شده بود، کشت داده شد. کشت ها به مدت ۴ روز در انکوباتور شیکردار در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و دور ۱۵۰ rpm قرار گرفتند تا حداکثر رشد باکتریها حاصل شود. پس از رشد کامل باکتریها، محیط کشت از فیلتر کاغذی واتمن شماره ۴۰ عبور داده شد. سپس مایع فیلتر شده در فالکن های ۱۵ ml ریخته و در دستگاه سانتریفوژ در ۱۳۰۰۰ ×g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد تا سلولهای باکتری رسوب و جمع آوری شوند. پس از آن سلولها در سرم فیزیولوژی سوسپانسیون شدند.

جدول ۲- محیط کشت اختصاصی 9K (مقادیر بر حسب g/l)

می باشد (۱۲)

KCl	MgSO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . 7 H <sub>2</sub> O
0.1	0.5	0.5	0.01	3

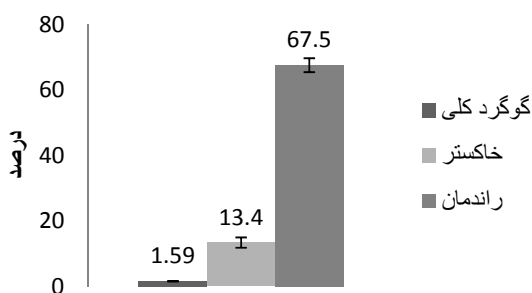
آزمایش های فلوتاسیون و بیوفلوتاسیون: آزمایش های

از بخش های گوگرد معدنی یا آلی موجود در زغالسنگ به کار برده شده اند. روش های شیمیایی می توانند هر دو بخش گوگرد معدنی و آلی را از زغالسنگ حذف کنند اما این روش ها بسیار گران بوده، محصولات پرخطری را تولید کرده و همچنین ساختار زغالسنگ را تحت تأثیر قرار می دهند (۱۲). فلوتاسیون کف یکی از متداولترین روش های فیزیکی به منظور حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از زغالسنگ می باشد (۱۴)، در این روش معمولاً از واکنشگرهایی از قبیل سیانید سدیم به منظور حذف پیریت استفاده می کنند. عیب این روش این است که سیانید سدیم، سمی می باشد و مشکلات زیست محیطی ایجاد می کند (۸). یکی از راه حل هایی که بوسیله محققان برای حذف پیریت در فلوتاسیون پیشنهاد شده است، استفاده از باکتریها می باشد (۸، ۱۲، ۱۸). باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس (*Thiobacillus ferrooxidans*) متداولترین باکتری است که به طور گسترده در فرایندهای گوگردزدایی میکروبی از زغالسنگ استفاده شده است (۶). این باکتری اسید دوست و کمولیتوتروف از ترکیبات آهن و گوگرد به عنوان منبع انرژی استفاده می کند (۷). باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس می تواند به طور انتخابی از میان کانی های مختلف به کانی های حاوی آهن از قبیل پیریت (FeS<sub>2</sub>) متصل شود و خواص سطح پیریت را از حالت آبرانی به آبدوستی تغییر دهد. این تغییر ویژگی سطح امکان جداسازی پیریت از زغالسنگ را در فلوتاسیون میسر می سازد (۱۵). همچنین این باکتری از زه آبهای معدن مس سرچشمه جداسازی و تخلیص شده است (۲). بنابراین هدف از این تحقیق حذف گوگرد عمدتاً به صورت پیریتی با اندازه ذرات کمتر از ۱۵۰ میکرون و تراکم های متفاوت پالپ برای جلوگیری از شکنندگی فولاد استخراجی می باشد.

## مواد و روشها

ویژگی های زغالسنگ: نمونه زغالسنگ استفاده شده در

**نتایج حاصل از آزمایش های فلوتاسیون:** با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش های فلوتاسیون (شکل ۱)، مشاهده می‌شود با وجود اینکه در این سری از آزمایش‌ها بجز کف ساز و کلکتور از هیچ ماده شیمیایی دیگری استفاده نشده است اما میزان گوگرد در کنسانتره از میزان آن در خوراک بیشتر شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده مشخص شده است که گازوئیل تولیدی در شرکت ملی نفت ایران حاوی ۰/۷۴ درصد وزنی گوگرد می‌باشد که در مقایسه با استانداردهای جهانی آن در سال ۲۰۰۸ (۱۰ ppmw) این مقدار بسیار زیاد می‌باشد (۴). بنابراین در فلوتاسیون معمولی زغالسنگ نه تنها کاهش در گوگرد مشاهده نشد بلکه به دلیل استفاده از کلکتور گازوئیل، افزایش حدود ۰/۲ درصدی گوگرد در کنسانتره مشاهده شد. از این رو هرچند که در فلوتاسیون زغالسنگ، کلکتور گازوئیل نسبت به سایر کلکتورها کارایی بهتری از خود نشان داده است، اما باید توجه داشت در مواردی که میزان گوگرد موجود در کنسانتره حائز اهمیت می‌باشد باید از کلکتور دیگری استفاده کرد. در تحقیقی نفت سفید به عنوان کلکتور و روغن کاج به عنوان کف ساز مقدار سولفور و خاکستر زغال را بیش از کلکتورها و کف سازهای دیگر کاهش داده است، همچنین در این تحقیق سدیم پلی‌اکریلیک اسید به عنوان کاهنده پیریت بازیافت زغال را بهبود بخشیده است (۱۱). سولفات آهن III هم به عنوان یک عامل شیمیایی مناسب برای سولفورزدایی از زغال گزارش شده است (۱۰).

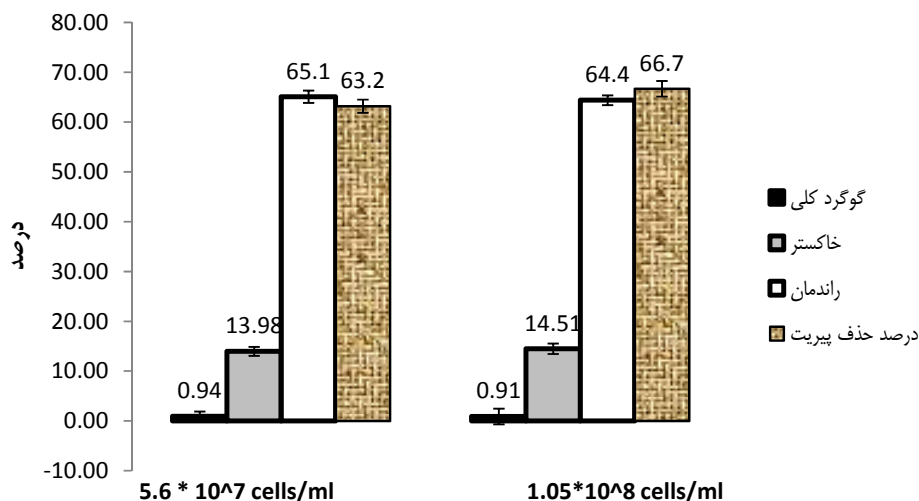


شکل ۱- نتایج حاصل از فلوتاسیون زغالسنگ (مشخصات کنسانتره)

فلوتاسیون و بیوفلوتاسیون در سلول فلوتاسیون آزمایشگاهی Denver با حجم ۱/۵ لیتر انجام شد. روش انجام آزمایش‌های فلوتاسیون به این ترتیب بود که پس از تهیه پالپ ۹٪ جامد، دستگاه روشن شده و با تنظیم دور موتور روی ۱۰۰۰ rpm، مدت زمان ۵ دقیقه به منظور خیس شدن نمونه در نظر گرفته شد. سپس مقدار بهینه ۲/۶ kg/t کلکتور گازوئیل داخل سلول ریخته شد و مدت زمان ۹۰ ثانیه برای آماده سازی آن در نظر گرفته شد. بعد از آن مقدار ۱۵۰ gr/t کف‌ساز MIBC اضافه شد و ۳۰ ثانیه زمان آماده سازی آن در نظر گرفته شد. بعد از این مراحل شیر هوا باز شد و به مدت ۳ دقیقه کف به دست آمده جمع‌آوری شد. سپس محصول شناور شده، جمع‌آوری و به منظور کاهش یافتن آب همراه با آن در فیلتر فشاری و بعد در خشک کن قرار داده شد. نمونه‌های خشک شده به منظور تعیین راندمان، توزین و به منظور تعیین گوگرد و خاکستر به آزمایشگاه ارسال شد. در آزمایش‌های بیوفلوتاسیون پس از آماده سازی پالپ با ۹٪ جامد، دستگاه روشن شده و با تنظیم دور موتور روی ۱۰۰۰ rpm، مدت زمان ۵ دقیقه به منظور خیس شدن نمونه در نظر گرفته شد. سپس سوسپانسیون باکتریایی به آن اضافه شد و با تنظیم دور موتور روی ۱۰۰ rpm، مدت زمان ۱۵ دقیقه به منظور اتصال باکتری با ذرات پیریت، در نظر گرفته شد، سپس دور موتور مجدداً روی ۱۰۰۰ rpm تنظیم و کلکتور و کف ساز به همان صورت که در آزمایش فلوتاسیون شرح داده شد اضافه و ادامه کار همانند آزمایش فلوتاسیون با ۳ تکرار و انجام آزمون T جفتی به منظور مقایسه میانگین‌ها انجام شد. متغیرهای مورد بررسی در آزمایش‌های بیوفلوتاسیون تعداد باکتریهای افزوده شده به سلول فلوتاسیون بر حسب cells/ml، زمان برهم‌کنش باکتریها با کانی بر حسب دقیقه، درصد جامد پالپ و ابعاد ذرات زغالسنگ بر حسب میکرون بودند.

## نتایج و بحث

پالپ افزایش می‌یابد، تعداد سلولهای متصل به پیریت نیز افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه سطح بیشتری از پیریت، آبدوست شده و احتمال شناور شدن آن کاهش می‌یابد. با وجود این که تعداد باکتریها در آزمایش دوم افزایش یافت اما کاهش قابل ملاحظه‌ای در راندمان زغالسنگ مشاهده نشد و این بدان معنا بود که با افزودن شدن تعداد باکتریها، آنها کماکان به صورت انتخابی عمل کرده و به ذرات زغالسنگ متصل نشده‌اند و تأثیر منفی بر راندمان نداشته‌اند. بر اساس تحقیقی ۴۵ درصد از گوگرد پیریتی و ۲۰ درصد از کل گرگرد زغال در یک فرایند بیولوژیک با اندازه ذرات تا ۰/۵ میلی‌متر در ۱۴ روز کاهش یافته است (۹).



شکل ۲- نتایج حاصل از افزودن تعداد باکتری‌های متفاوت به سلول فلوتاسیون

شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود بعد از گذشت زمان ۱۵ دقیقه، تقریباً حداکثر تعداد سلولهای متصل شده به پیریت به دست می‌آید و بعد از این زمان، درصد حذف پیریت با اختلاف ۰/۵ تا ۱/۵ درصد افزایش یا کاهش می‌یابد. از این‌رو زمان ۱۵ دقیقه، زمان ماند مناسب به منظور برهم‌کنش و چسبندگی بین باکتری و ذرات پیریت می‌باشد، زیرا باکتری در این زمان به اندازه کافی فرصت داشته است تا سطح ذرات پیریت را

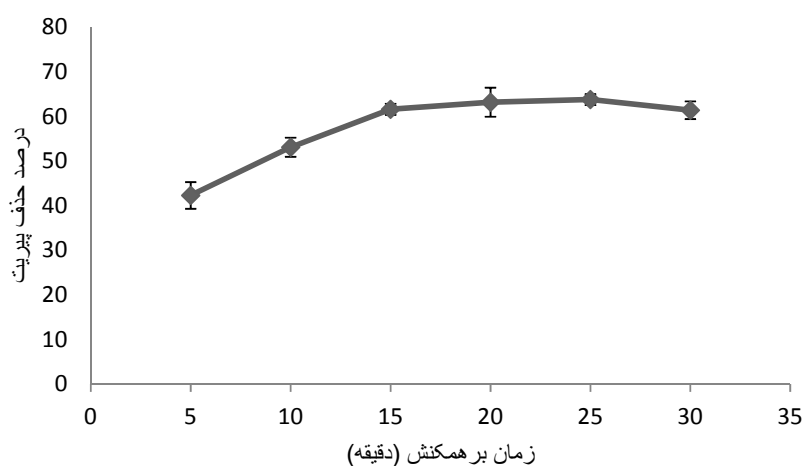
**تأثیر تعداد باکتریهای افزوده شده به سلول فلوتاسیون:** به منظور بررسی تأثیر میزان تعداد باکتری افزوده شده بر حذف پیریت، سوسپانسیون باکتریایی در دو دانسیته مختلف ( $5.6 \times 10^7$  cells/ml و  $1.05 \times 10^8$  cells/ml) آماده و در آزمایش‌های بیوفلوتاسیون استفاده شد. در این سری از آزمایش‌ها، شرایط آزمایش فلوتاسیون (درصد جامد ۹٪ و دانه بندی زیر ۵۰۰ میکرون) اعمال و از زمان برهم‌کنش ۲۰ دقیقه استفاده شد. نتایج به دست آمده در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دو حالت، شرایط تقریباً مشابه با یکدیگر هستند و در شرایط  $1.05 \times 10^8$  cells/ml، میزان حذف پیریت تنها ۳/۵ درصد بیشتر است. علت این است هنگامی که تعداد سلولها در

**تأثیر زمان برهم‌کنش بر چسبندگی باکتریها:** به منظور بررسی تأثیر زمان برهم‌کنش (مانند) بین باکتری و پیریت، آزمایش‌هایی با زمان‌های آماده‌سازی متفاوت از ۵ تا ۳۰ دقیقه انجام و درصد حذف پیریت در هر آزمایش اندازه‌گیری شد. این سری از آزمایش‌ها با در نظر گرفتن دانسیته باکتریایی  $5.6 \times 10^7$  cells/ml انجام شد. پس از افزودن سوسپانسیون باکتری به پالپ حاوی زغالسنگ، سلول‌های باکتری به سرعت به پیریت متصل می‌شوند. نتایج به دست آمده از بررسی تأثیر زمان برهم‌کنش در حذف پیریت در

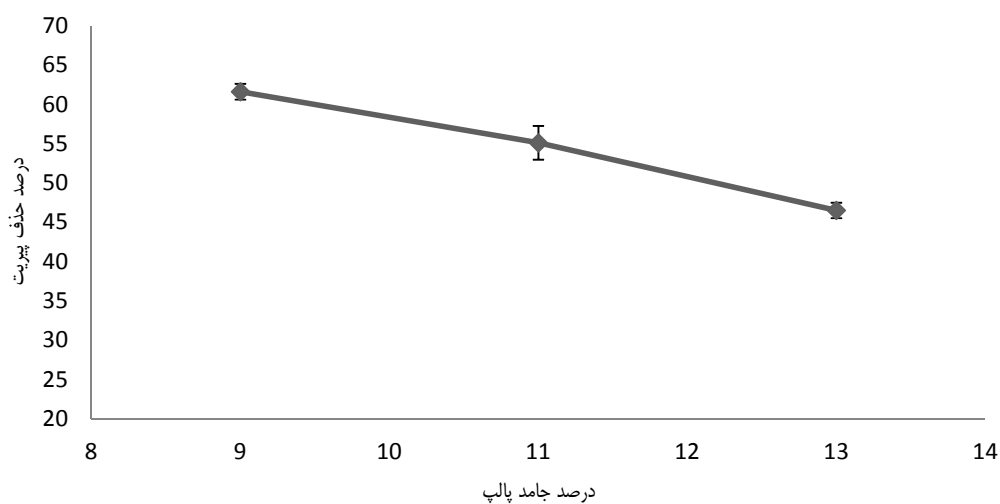
۱۳٪ جامد به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش درصد جامد پالپ احتمالاً به دلیل افزایش اصطکاک و سایشی (۳) که بین ذرات ایجاد می‌کند، سبب افزایش تنش‌های برشی در پالپ و در نتیجه تخریب قسمتی از جداره خارجی باکتری شده و بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها اثر منفی می‌گذارد. همچنین در تحقیقی که از کشت خالص باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدانس در فروشویی مس استفاده شده است درصد وزنی جامد ۲۰ درصد گزارش شده است (۱).

به خوبی بپوشاند و تغییرات خصوصیات سطح آن از آبرانی به آبدوستی به خوبی انجام شده است.

**تأثیر درصد جامد پالپ:** به منظور بررسی تأثیر درصد جامد پالپ، این سری از آزمایش‌ها با در نظر گرفتن دانسیته باکتریایی  $5.6 \times 10^7$  cells/ml و زمان برهم‌کنش ۱۵ دقیقه و در سه درصد جامد ۹، ۱۱ و ۱۳ درصد انجام شد. نتایج به دست آمده در شکل ۴ نشان داده شده است. حداکثر میزان پیریت زدایی (۶۱/۶ درصد) در پالپ ۹٪ جامد و کمترین میزان پیریت زدایی (۴۶/۵ درصد) در پالپ



شکل ۳- تغییرات میزان حذف پیریت به ازای زمان برهم‌کنش در مرحله آماده‌سازی

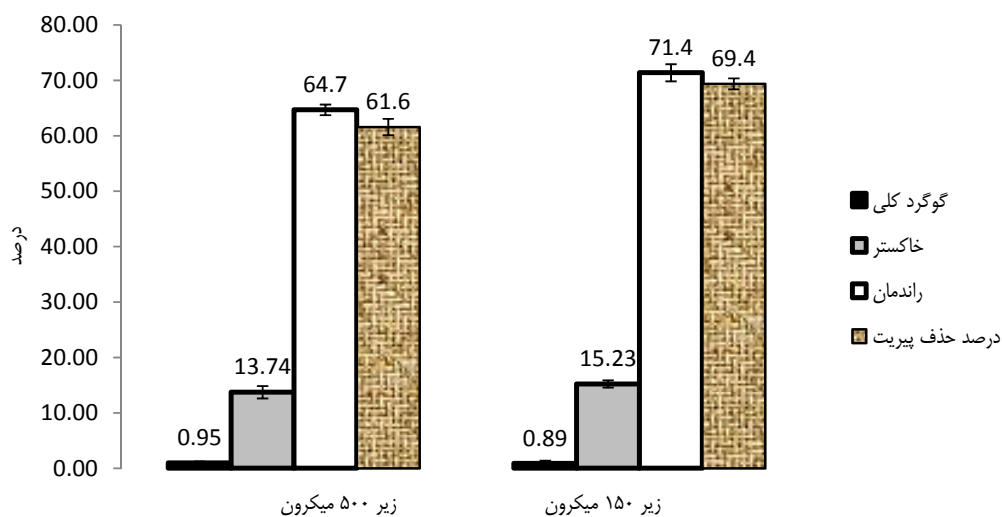


شکل ۴- تغییرات میزان حذف پیریت به ازای مقادیر مختلف درصد جامد پالپ

زغالسنگ قرار گرفته و احاطه شده اند. از این‌رو مقادیری از پیریت که قفل‌شدگی زیادی دارند به دلیل اینکه سطح آنها در معرض اتصال باکتریها قرار ندارد، بازداشت نشده و همراه با زغالسنگ به کنسانتره راه یافته اند.

البته باید توجه داشت که در هر دو دانه بندی، بخش زیر ۲۰ میکرون که نرمه خوراک را تشکیل می‌دهد، از خوراک حذف نشده است. از این جهت مقداری از ذرات ریز پیریت (زیر ۲۰ میکرون) حتی با وجود اینکه اتصال باکتریایی در مورد آنها انجام شده است به دلیل پدیده دنباله روی به کنسانتره راه پیدا می‌کنند.

**تأثیر اندازه ذرات زغالسنگ:** به منظور بررسی تأثیر عامل اندازه ذرات بر حذف پیریت، زغالسنگ به دو بخش دانه درشت (زیر ۵۰۰ میکرون) و دانه ریز (زیر ۱۵۰ میکرون) تقسیم بندی و آزمایش‌های بیوفلوتاسیون همانند قبل انجام شد. شکل ۵ نتایج حاصل در دو دامنه ابعادی مختلف را نشان می‌دهد. میزان حذف پیریت در ابعاد زیر ۵۰۰ و ۱۵۰ میکرون به ترتیب ۶۱/۶ و ۶۹/۴ درصد می‌باشد. از آنجایی که زغالسنگ طبعاً، توزیع پیریتی دانه ریزی دارد، از این‌رو زغال با دانه بندی ریز محتوای ذرات پیریت آزاد بیشتری نسبت به زغال با دانه بندی درشت می‌باشد. در دانه بندی درشت، بعضی از ذرات پیریت در درون



شکل ۵- نتایج حاصل از بررسی تأثیر اندازه ذرات زغالسنگ

\* کلکتور گازوئیل حاوی ۰/۷۴ درصد گوگرد آلی است که این میزان گوگرد در طی فرایند فلوتاسیون وارد کنسانتره می‌شود.

\* افزودن بیشتر تعداد باکتری، موجب اتصال بیشتر باکتری‌ها به ذرات پیریت شده و میزان حذف پیریت را افزایش می‌دهد.

\* با افزایش زمان برهم‌کنش تا ۱۵ دقیقه بین باکتری و پیریت در مرحله آماده‌سازی، میزان حذف پیریت افزایش پیدا می‌کند.

دلیل کاهش راندمان زغالسنگ برای دانه بندی درشت این است که در فرایند فلوتاسیون برای شناور کردن ذرات درشت مجموعه‌ای از حباب‌ها ذره را محاصره می‌کنند ولی به دلیل جرم زیاد ذره، حباب‌ها از قدرت بالابری کافی برخوردار نیستند (۳) و به‌طور کلی با افزایش ابعاد ذرات، قابلیت شناور سازی کاهش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری

\* نتایج حاصل نشان داد که استفاده از باکتریهای گوگردی میزان گوگرد زغال را کاهش و بنابراین در واحدهای کاربردی کوچک برای مرغوبیت زغال توصیه می‌شود.

\* به‌منظور بهینه نمودن بیوفلوتاسیون به صورت کاربردی در صنعت استخراج زغال، استفاده از باکتریهای ترموفیل گوگردی نیز باید مد نظر قرار گیرد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مسئولان محترم پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته و شرکت فرآوری طبس و به دلیل همکاریهای لازم، تشکر و قدردانی نمایند.

\* حداکثر میزان پیریت‌زدایی در پالپ با درصد جامد ۹ درصد به‌دست آمد.

\* درصد حذف پیریت در دانه‌بندی ریز زغالسنگ، به دلیل افزایش درجه آزادی ذرات پیریت بیشتر بود.

\* از میان عوامل مورد بررسی (تعداد باکتری‌ها، زمان برهم‌کش، درصد جامد پالپ و اندازه ذرات زغالسنگ) تأثیر درصد جامد پالپ، چشمگیرتر بود.

\* انجام آزمایش‌های بیوفلوتاسیون نشان داد که به طور متوسط پیریت به میزان متوسط ۶۲ درصد و گوگرد کلی به میزان متوسط ۳۵ درصد کاهش می‌یابد.

### منابع

۱. حسن سالاری، مجید طهمورسی و عیسی کامکار. تأثیر درصد وزنی جامد و pH در بازیابی مس از کانسنگ سولفیدی کم عیار به روش فروشویی میکروبی. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۲۱، شماره ۳. صفحات ۴۸۲-۴۷۵. ۱۳۸۷.
۲. مجید طهمورسی، حسن سالاری و عیسی کامکار. شناسایی، تخلیص، جداسازی و سازش دهی باکتریهای مزوفیل سرچشمه. مجله زیست‌شناسی ایران. شماره ۴. جلد ۲۰. صفحات ۳۹۸-۳۹۱. ۱۳۸۶.
۳. مسعود نوری بیلندی و صمد بنیسی "تأثیر خردایش محصول میانی کارخانه های فرآوری زغالسنگ بر افزایش کارایی عملیات: مطالعه موردی کارخانه زغالشویی زرند کرمان". مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۳۸۴. ۳۱۸-۳۰۷.
۴. ناظم بکایی، "گوگردزدایی گازیوئیل توسط باکتری *Rhodococcus P32C1* تثبیت شده روی پایه پلیمری"، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۲۵، شماره ۳، ۱۳۸۵.
5. Abdurrahman S. Yalcin T, Akin B, Zahir D, Candan H. 2007. Froth flotation pretreatment for enhancing desulfurization of coal with sodium hydroxide, *Journal of Scientific and Industrial Research*. 66:1, PP.72-74
6. Anushree M. Manisha G. Dastidara P. Kumar R. 2001. Biodesulphurization of coal: effect of pulse feeding and leachate recycle, *Enzyme and Microbial Technology*, 28:1, PP.49-56
7. Anushree M. Manisha GD. Pradip KR. 2004. Factors limiting bacterial iron oxidation in biodesulphurization system, *International Journal of Mineral Processing*, 73:1, PP.13-21
8. Amini E. Oliazadeh M. Kolahdoozan M. 2009. Kinetic comparison of biological and conventional flotation of coal. *Minerals Engineering*, 22:4. PP.344-347
9. Eghbali, F., Ehsani, M. R. 2010. Biodesulfurization of Tabas coal in pilot plant scale. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 29:4. PP 75-78.
10. Ehsani, M. R. 2006. Desulfurization of Tabas Coals Using Chemical Reagents. *Iran. J. Chem. & Chem. Eng.* 25: 2, PP 59-66.
11. Ehsani, M. R., Eghbali, F. 2007. Reduction of Sulfur and Ash from Tabas Coal by Froth Flotation. *Iran. J. Chem. & Chem. Eng.* 26:2. PP.35-40.
12. Isabel CC. Marco AM. 2009. Biodesulfurization of two Colombian coals with native microorganisms, *Fuel Processing Technology* 90:1. PP.1099-1106
13. Naoya O. Hiroshi S. 1997. Desulfurization of Pittsburgh Coal by Microbial Column Flotation.

- Applied Biochemistry and Biotechnology*. 61:3, PP 339-349.
14. Naoya O. Keiko K. Hiroshi S. 1993. Mechanism of microbial flotation using *Thiobacillus ferrooxidans* for pyrite suppression, *Biotechnol Bioeng*. 41:6, PP.671-676
  15. Naoya O. Keiko K. Hiroshi S. 1993. Selective Adhesion of *Thiobacillus ferrooxidans* to Pyrite, *Applied and Environmental Microbiology*, 59:8, PP, 2375-2379.
  16. Pakamas P. 2002. Coal biodesulfurization processes, *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 24:1, PP.493-507
  17. Pandey R.A.; Raman V.K.; Bodkhe S.Y.; Handa B.K.; Bal A.S., 2005. Microbial desulphurization of coal containing pyritic sulphur in a continuously operated bench scale coal slurry reactor, *Fuel*, 84:1, PP.81-87
  18. Toru N. Naoya O.; Hiroshi S. 1999. A Novel Mineral Flotation Process Using *Thiobacillus ferrooxidans*, *Applied and Environmental Microbiology*, 65:8, PP.3588-3593.

۴

## Feasibility Study of Depyritization of Coal Using Bioflotation

Naghavi H.<sup>1</sup>, Sam A.<sup>2</sup> and Salari H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mine Engineering Dept., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, I.R. of Iran

<sup>3</sup> Ecology Dept., Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, I.R. of Iran

### Abstract

Sulphur is one of the waste elements in coal material which is in two forms, organic and inorganic. The amount of sulphur more than acceptable quantity in coal concentration affects the environment and coke characteristics. The quality of steel is depended on the quantity of sulphur in coke. High sulphur in entering materials to the steel furnace causes inferior steel. Also, sulphur in heat coal makes SO<sub>2</sub> gas which has negative environmental effects. Different chemical, physical and biological techniques are investigated for removing sulphur from coal. In recent years, new method for desulfurization from coal is expressed with improving biotechnology and microbial mining. In this research, feasibility study of depyritization from Tabas coal using bioflotation method in laboratory scale was considered. In these tests, Pyrite in coal pulp depressed with desulfurization bacteria. To carry out bioflotation tests, a sample from C<sub>1</sub> seam (Tabas, Parvadeh Mine, no. 2) was used. After comminuting and screening, the coal material less than 500 micron was used as flotation feed. A *Thiobacillus ferrooxidans* bacterium was obtained from the biotechnology laboratory at Sarcheshme Copper Mine. *Thiobacillus ferrooxidans* was cultured in 9K medium. Bioflotation tests were carrying out in Denver flotation cell and the important parameters such as pulp density, particle size, bacterial density and interaction time were optimized. Final results indicated that by using the mentioned method, the pyritic and total sulphur were decreased about %62 and %35, respectively.

**Key words:** Bioflotation, Tabas Coal, Pyrite, *Thiobacillus ferrooxidans*