فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال چهاردهم، شماره ۵۲، پاییز۹۹

گوگرد زدایی از زغال سنگهای کک شو طبس

سیدمحمد هاشمی

گروه زمین شناسی ،واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی ، مشهد،ایران. dhashemi@gmail.com

چکیده

گوگرد به صورت معدنی و آلی در زغال سنگها وجود دارد و یکی از مهمترین عناصر مزاحم در صنعت فولاد سازی است . بالا بودن درصد گوگرد موجود در زغال سنگهای طبس به عنوان یک عنصر آلاینده و مضر مطرح می باشد. گوگرد علاوه بر کاهش راندمان تولید در کارخانه های کک سازی ، باعث آلودگی محیط زیست می گردد. بررسی کاهش میزان گوگود به روشهای فیزیکی مانند شناور ساز یکی از اهداف این نوشتار ا ست. بررسی نمونه های زغالی در روش شناور سازی و فاکتور های موثر درافزایش راندمان جداسازی گوگرد مورد بررسی قرار می گیرد . عواملی همچون میزان خاکستر ،تاثیرکلکتورها و کف سازه ها و ویژگیهای مکانیکی و شرایط سلولهای شناور سازی مد نظر قرار دارد. مقدار کلکتور و مقدار کف کننده و درصد پالپ و زمان ماند متغیرهایی هستند که در زمینه کاهش گوگرد زغال سنگ در روش فلوتاسیون موثر می باشند. با افزایش مقدار کلکتور نفت سفید، مقدار بازیافت و میزان کاهش گوگرد پیریتی با یک روند آرام افزایش می یابد. افزایش یا کاهش بیش از حد دور موتور، میزان گوگردزدایی را کم می کند. افزایش درصد پالپ بر روی کاهش گوگرد و کاهش خاکستر درصد بازیافت را افزایش می دهد.

واژه گان کلیدی : گوگرد، آلاینده ،زغال سنگ ، خاکستر، شناور سازی، طبس.

مقدمه

گوگرد یکی از مضرترین عناصر موجود در زغال سنگ است. بر اساس استاندارد تعیین شده در صنعت فولاد ایران، مقدار آن در زغال سنگی که برای تولید کک متالورژی مصرف می گردد نباید بیش از ۱/۵٪ باشد. در تجربیات کک سازی مشخص شده است که حدود ۸۰ تا ۹۵ درصد مقدار کل گوگرد زغال سنگ در کک حاصله باقی می ماند و جنس و مرغوبیت آن را تنزل می دهد. گوگرد باقیمانده در کک در کوره بلند ذوب آهن وارد فلز گشته و آن را ترد و شکننده ساخته و خاصیت چکش خواری و قابلیت تورق آن را کاهش می دهد، (رضایی ،۱۳۸۰). علاوه بر این در حین تولید کک بخشی از گوگرد زغال به صورت گازهای دی اکسید گوگرد و تری اکسید گوگرد و سایر ترکیبات فرار گوگردی در می آیند که باعث آلودگی و مسمومیت محیط گشته و به محیط زیست صدمات جبران ناپذیری وارد می سازند. این مسئله در مورد نیروگاه های برق که از زغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می نمایند اهمیت بیشتری می یابد. چون در حین احتراق زغال سنگ، بیشتر گوگرد به دی اکسید گوگرد و کمتر از هفت درصد آن به تری اکسید گوگرد اکسید را می آفریند. مهم ترین مصرف زغال سنگ به صورت کک در صنایع ذوب فلزات خصوصاً ذوب آهن است. ولی متاسفانه به علت وجود عناصر نامناسب در آن، اشکالاتی را در موارد کاربردی ایجاد کرده که سعی و تلاش محققین، حل معضلات ناشی از مصرف این سوخت فسیلی در صنعت جهان می باشد. مهم ترین عنصر مزاحم در ترکیب زغال سنگ، گوگرد می باشد که به شکل ترکیبات آلی و معدنی در آن وجود دارد،(هاشمی و

همکاران، ۱۳۹۵). خواص فیزیکی و شیمیایی بسیاری از زغال های ایرانی (به خصوص خاصیت پلاستومتری آن)، به گونه ای است که می تواند در صنایع متالورژی به عنوان زغال کک شونده به کار گرفته شود، از معایب این زغال ها بالا بودن درصد گوگرد موجود در آن به عنوان یک عنصر آلاینده و مضر، می باشد، (جن لی و همکاران، ۲۰۱۲)

روشها

تعداد ۲۴ نمونه از زغالهای استخراجی از معادن زغال سنگ طبس انتخاب گردید و در آزمایشگاه شرکت معادن زغال سنگ طبس مورد انالیز قرار گرفتند و مواردی مانند انواع گوگرد (کل ـ پیریتی ـ آلی ـ سولفاتی)، میزان خاکستر ، عدد کک ، درصد بازیافت زغال سنگ بر اساس دستورات ASTM اندازه گیری گردید. اندازه گیری کمیت های فوق برای زغال خوراک و مقایسه آن با موارد آزمایش شده، درصد کاهش انواع گوگرد و خاکستر حاصل می شود .

سپس از نمونه پایلوت سلول شناور سازی استفاده شد و تاثیر مقدار کلکتور و مقدار کف کننده و درصد پالپ و زمان ماند بررسی گردیدند و سپس مقادیر گوگرد و خاکستر نمونه ها اندازه گیری و نمودارهای نتایج حاصله ترسیم شد.

بحث و نتایج

برای پیشگیری از عوارض مصرف زغال سنگ و سوختن گوگرد، معمولاً گوگرد آن را به دو صورت تصفیه و جدا می کنند:

۱جداسازی گوگرد و ترکیبات آن در حین سوختن زغال سنگ.

۲جدا سازی گوگرد و ترکیبات آن قبل از سوختن زغال سنگ.

مورد اول بدین صورت انجام می گیرد که در کوره هایی که سوختن زغال سنگ صورت‌می گیرد، بر سر راه خروجی گاز سوخته شده، یعنی در دود کش های موجود کوره ها، جدا کننده ها یا جاروبک هایی قرار می دهند تا نسبت به عبور عمده گوگرد یا ترکیبات سوخته شده آن ممانعت ایجاد کنند و نسبت به دفع و جمع آوری آن نیز عمل کنند. این روش اگر چه نسبتاً موفق بوده، اما علاوه بر در بر داشتن هزینه زیاد، نمی تواند در صنعت فولاد که هدف اصلی آن حفظ کیفیت آهن می باشد را تضمین کند. به عباراتی این روش در نیروگاه های تولید برق کارسازتر است.

روش دوم که به علت پر هزینه بودن روش اول متداول تر می باشد، بر اساس پیش تصفیه زغال سنگ می باشد. در این روش، قبل از این که زغال سنگ در کوره ها مصرف می شود، مورد تصفیه قرار می گیرد.

همچنین وجود گوگرد در زغال باعث افت حرارتی آن نیز می شود. مشخص شده است که وجود یک درصد گوگرد می تواند حدود ۶۰ کیلو کالری بر کیلو گرم حرارت سوختن زغال را پایین بیاورد. هدف این تحقیق انجام آزمایشات و بررسی نتایج گوگرد زدایی زغال سنگ با روش فیزیکی می باشد. بدین منظور از فلوتاسیون بعنوان روش معمول فیزیکی در شستشوی زغال سنگ و امکان استفاده از آن در مقیاس صنعتی عظیم طبس می باشد.

گوگرد موجود در زغال از دیدگاه فلوتاسیون

گوگرد موجود در زغال اهمیت خاصی دارد و مقدار آن نباید از ۱/۵ درصد در کک متالورژی بیشتر باشد، زیرا نه تنها مرغوبیت فولاد را کاهش می دهد بلکه آن را ترد و شکننده می سازد و خاصیت چکش خواری و قابلیت تورق آن را نیز کم می کند. از طرفی گوگرد با اکسیژن ترکیب می شود و گاز SO_2 را تولید می کند که علاوه بر تاثیر نامناسب زیست محیطی، در روش احیاء مستقیم باعث صدمه زدن به کاتالیست ها نیز می شود. به طور کلی در زغال سنگ، گوگرد به دو صورت آلی و معدنی یافت می شود:

الف ـ گوگرد معدنی معمولا به صورت سولفیدهای آهن مانند پیریت، مارکاسیت و گاهی هم به صورت ژیپس دیده می شود. پیریت از جمله کانیهای سولفیدی است که در فلوتاسیون زغال از دیدگاههای مختلف باید مورد بررسی قرار گیرد، ولی در مورد بازداشت پیریت زغالی کار زیادی انجام نگرفته است. متأسفانه به دلایلی نمی توان از نتایج حاصل از بازداشت پیریت در فلوتاسیون سولفیدها و دیگر

گروه کانیها، در بازداشت پیریت به هنگام فلوتاسیون زغال استفاده کرد. به عنوان مثال ماهیت پیریت در زغال با ماهیت پیریت در کانی سنگ های دیگر تفاوت زیادی دارد و از لحاظ وضعیت سطحی نیز این دو بسیار متفاوتند. با وجود اینکه پیریت زدایی زغال به سادگی پیریت زدایی سایر کانسنگ ها نیست ولی با وجود این، از نتایج حاصل در این زمینه می توان به عنوان راهنما استفاده کرد. ب ـ گوگرد آلی به صورت ترکیبات حلقوی در ساختمان زغال سنگ وجود دارد، حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد گوگرد موجود در زغال را به خود اختصاص می دهد. این ترکیبات معمولا از نوع تیوفین هستند ولی به شکلهای دیگری نیز دیده می شوند و به وسیله پیوند شیمیایی با زغال در ارتباط اند. به همین دلیل، این نوع گوگرد را نمی توان به وسیله روشهای معمول فرآوری و از آن جمله فلوتاسیون حذف کرد،(جیاکون و همکاران ،۲۰۱۴). گوگرد الی زغال را می توان با روشهای دیگر از جمله لیچینگ و بیولیچینگ کاهش داد.

بازدارنده های کانیهای سولفوره

با توجه به سیستم های بسیار متنوعی که از ترکیب کانیهای سولفوره در طبیعت یافت می شود، تشریح روشهای بازداشتن همه آنها غیر ممکن بنظر می رسد، لیکن می توان اصول کلی آن را شرح داد.کانیهای سولفوره، پس از جذب کلکتورهای سولفیدریل با طول زنجیر کوتاه فلوته می گردند علت این امر بخشی در اثر عدم امکان تشکیل پیوندهای هیدروژن بین سطح ذرات و مولکول های آب است. اکسیداسیون عمقی در سطح کانیهای سولفوره، آنها را تبدیل به ترکیباتی اکسیده (مانند سولفات، تیوسولفات، هیدروکسید، اکسید و غیره) می کند. در مورد بعضی کانیها (مثل پیریت) هیدروفوبیسیته سطح تنها ناشی از جذب فیزیکی دی گزنتون است. بنابراین با جلوگیری از این واکنش می توان این کانیها را بازداشت کرد. همان طور که مشاهده شد، دی گزنتون در PH بیشتر از ۱۰/۵ پایدار نیست، بنابراین در چنین شرایطی پیریت بازداشت می شود. برای حذف پیریت چندین روش پیشنهاد شده است.

الف ـ شستشوی چند مرحله ای کنسانتره با رها کردن باطله و کنسانتره در مراحل مختلف

ب ـ فلوتاسیون مستقیم زغال و بازداشت پیریت

در این روش، با کمک کلکتورها و مواد شیمیایی مختلف زغال سنگ، شناور و پیریت همراه باطله رسوب داده می شود.

ج ـ فلوتاسیون غیر مستقیم پیریت و بازداشت زغال

این روش عکس روش فلوتاسیون مستقیم زغال سنگ است.

دـ فلوتاسیون شاخه ای (شاخه درختی)

از دیگر روشهای کاهش گوگرد و خاکستر، فلوتاسیون شاخه ای و رها کردن باطله است.

در آزمایشگاه تحقیقاتی، زغال سنگ مورد تجزیه قرار گرفته و موارد زیر اندازه گیری می شوند:

۱. انواع گوگرد (کل ـ پیریتی ـ آلی ـ سولفاتی) -۲. میزان خاکستر ۳. عدد کک۴-. درصد بازیافت زغال سنگ.

اندازه گیری هر یک از موارد فوق بر اساس دستورات ASTM انجام شده است. با اندازه گیری کمیت های فوق برای زغال خوراک و مقایسه آن با موارد آزمایش شده، درصد کاهش انواع گوگرد و خاکستر حاصل می شود.

تاثیر مقدار کلکتور و مقدار کف کننده و دور موتور و درصد پالپ و زمان ماند از متغیرهای بررسی شده در زمینه کاهش گوگرد زغال سنگ در روش فلوتاسیون بوده است . به منظور افزایش تماس بین ذرات زغال و حباب هوا، از کلکتور و یا کمک کلکتور استفاده می شود. با وجودی که زغال داتاً خواص آبرانی دارد ولی به دلیل پوشش دهی نقاط آبگیر در سطح زغال، باید از این مواد استفاده شود. در عین حال باید از کلکتوری استفاده کرد که نسبت به جذب در سطح زغال خاصیت انتخابی داشته باشد و نسبت به سطح مواد دیگر (ذرات آبگیر) بی اثر باشد. در فلوتاسیون زغال معمولا از روغن های غیر یونیک و یا نفت سفید به عنوان کلکتور و یا کمک کلکتور استفاده می شود. در این تحقیق کلکتور انتخاب شده در آزمایشات فلوتاسیون، نفت سفید است. این کلکتور با مقادیر مختلف به پالپ افزوده گشته و

اثر افزودن آنها بر کاهش خاکستر و گوگرد بررسی شده است. در جدول(۱) نتایج حاصل از استفاده از این نوع کلکتور با مقادیر مختلف در سیستم فلوتاسیون آورده شده است. همچنین نمودار۱ نقش این کلکتور را در کاهش گوگرد و خاکستر زغال سنگ طبس نشان می دهد. برای بررسی اثر کلکتور، این سری آزمایشات در ۹ لیتر پالپ ۵٪ زغال و دور ۱۲۵۰ دور بر دقیقه همزن، با حضور ۵۰ گرم بر تن کف ساز (روغن کاج) و د غیاب بازداشت کننده پیریت صورت گرفته است. (درصد کاهش گوگرد و خاکستر و درصد بازیافت روش فلوتاسیون با توجه به روابط موجود در ضمیمه محاسبه گشته است).

با افزایش مقدار کلکتور، اثر آبرانی ذرات زغال سنگ افزایش یافته و سرعتر از ذرات باطله جدا شده و شناور می شود و باطله نیز که حاوی ذرات پیریت می باشد نیز رسوب می کند. روند تغییرات این نتایج در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی همین فرآیند که در دانشگاه صنعتی اسفهان انجام شده ، (احسانی و همکاران،۱۳۸۳) تقریبا در مورد کاهش گوگرد یکسان بوده ولی در مورد کاهش خاکستر، روش نیمه صنعتی نتایج بهتری داشته و این نشان دهنده این است که روش فلوتاسیون در مقیاس بزرگتر، روی خاکستر زغال سنگ تاثیر قابل توجهی دارد. در فلوتاسیون زغال می توان از مخلوط کلکتور و کف ساز و یا دو کف ساز استفاده کرد. الکل ها با طول زنجیر هیدروکربن خواص کلکتوری ندارند. مصرف این مواد ۴۵ تا ۲۲۵g/t است.

روغن کاج نیز به طور عمده از الکل های ترپینل تشکیل می شود. از آنجا که روغن کاج تا حدودی خواص کلکتوری دارد و ممکن است در سطح زغال جذب شود، مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که دست کم ۷ میلی گرم در لیتر روغن کاج در آب خالص سرعت بالابری حباب هوا را نسبت به سرعت حباب در آب خالص به ⅓ کاهش می دهد. از آنجا که روغن کاج اثر لکتوری نیز دارد مصرف کف ساز از این حد هم باید بیشتر باشد، (ونچنگ وهمکاران،۲۰۱۳) . کف ساز روغن کاج در سه مقدار ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم بر تن زغال در فلوتاسیون زغال سنگ طبس استفاده گشته و نتایج حاصل از درصد بازیافت محصول و گوگرد بدست آمده در جدول(۳) آورده شده اند. افزایش مقدار کف ساز از ۵۰ گرم بر تن زغال تا ۲۰۰ گرم بر تن، درصد کاهش گوگرد زغال محصول را پائین می آورد. با افزایش مقدار کف ساز روغن کاج، درصد کاهش خاکستر محصول نیز پائین می اید. افزایش بیش از حد روغن کاج باعث ایجاد لایه ای از کف شده که از کف سلول فلوتاسیون به سمت بالا حرکت می کند که این لایه مقداری از مواد باطله که شامل ذرات پیریت نیز می باشد را همراه ذرات زغال سنگ شناور می سازد. که این امر باعث افزایش درصد بازیافت محصول و افزایش خاکستر گوگرد در زغال محصول می شود. در مقیاس ازمایشگاهی ، کاهش خاکستر بین ۲۵٪ تا ۴۰٪ بوده و کاهش گوگرد بین ۱۲٪ تا ۲۸٪ بوده است. افزایش مقدار کف ساز، درصد بازیافت (نسبت زغال سنگ شناور شده به زغال سنگ خوراک) افزایش می دهد که مشابه نتایج حاصل شده در مقیاس آزمایشگاهی است. سرعت فلوتاسیون نه تنها تابعی از درجه زغال شدگی، بلکه به میزان مصرف کف ساز، غلظت کف ساز، ابعاد ذرات و نرخ هوادهی نیز وابسته است. با افزایش سرعت فلوتاسیون، هزینه های سرمایه گذاری برای سلولهای فلوتاسیون نیز کاهش می یابد. این سرعت در پالپ های رقیق ثابت است ولی با افزایش درصد جامد (بیش از ۱۳ درصد) به طور ناگهانی کاهش می یابد. فلوتاسیون زغال در صنعت با غلظت ۱۰ تا ۱۲ درصد جامد صورت می گیرد و با افزایش درصد جامد مصرف کف ساز نیز افزایش می یابد. همچنین با توجه به اینکه مصرف کلکتور بر حسب گرم بر تن زغال است با افزایش درصد پالپ مصرف این ماده نیز به همان نسبت افزایش می یابد، (شوبانا و همکاران ،۲۰۱۴).

برای در نظر گرفتن درصد پالپ به عنوان یک متغیر و نقش آن در کاهش گوگرد، آزمایشاتی در سه درصد پالپ مختلف صورت گرفته که در آنها مقدار کلکتور ۱۲۵ گرم بر تن زغال، کف ساز روغن کاج ۵۰ گرم تن استفاده شده و بدون حضور بازداشت کننده و با سرعت ۱۲۵۰

جدول ۱- تاثیر مقدار کلکتور نفت سفید بر کاهش گوگرد و خاکستر زغال سنگ

مقدار کلکتور (g/t coal)	بازیافت (٪)	گوگرد خوراک (٪)	گوگرد کنسانتره (٪)	گوگرد باطله (٪)	کاهش گوگرد (٪)
۱۰۰	۴۱/۷۵	۲/۱۷۱	۱/۷۲۹	۲/۴۵۷	۲۰/۳۵
۱۲۵	۴۵/۵۴	۲/۱۱۶	۱/۶۶۱	۲/۴۰۳	۲۱/۵۰
۲۵۰	۵۰/۹۸	۲/۴۵۰	۱/۸۸۱	۲/۴۷۱	۲۳/۲۲
مقدار کلکتور (g/t coal)	بازیافت (٪)	خاکستر خوراک (٪)	خاکستر کنسانتره (٪)	خاکستر باطله (٪)	کاهش خاکستر (٪)
۱۰۰	۴۱/۷۵	۲۱/۸	۶/۴	۳۰/۱۰	۷۰/۶۴
۱۲۵	۴۵/۵۴	۲۲/۱۰	۵/۹	۳۰/۳۰	۷۳/۳۰
۲۵۰	۵۰/۹۸	۲۲/۵	۵/۵۰	۲۹/۸۰	۷۵/۵۵

جدول۲- تاثیر مقدار کلکتور نفت سفید بر کاهش گوگرد و خاکستر زغال سنگ، احسانی و همکار(۸)

مقدار کلکتور (g/t coal)	بازیافت (٪)	گوگرد خوراک (٪)	گوگرد کنسانتره (٪)	گوگرد باطله (٪)	کاهش گوگرد (٪)
۵۰	۶۵/۳۱۷	۲/۹۳۸	۲/۳۰۷	۳/۹۲۷	۲۱/۴۷۷
۱۰۰	۶۸/۹۳۹	۲/۸۹۷	۲/۴۳۰	۳/۹۲۷	۱۶/۱۲۰
۱۲۵	۸۰/۳۸۱	۳/۳۳۶	۲/۴۳۰	۴/۱۷۴	۲۷/۹۶۸
۲۵۰	۸۰/۵۰۳	۳/۳۳۶	۲/۵۶۷	۳/۸۳۱	۲۳/۰۵۱
۵۰۰	۸۳/۴۷۱	۳/۰۶۲	۲/۴۸۵	۴/۱۱۹	۱۸/۸۴۴
مقدار کلکتور (g/t coal)	بازیافت (٪)	خاکستر خوراک (٪)	خاکستر کنسانتره (٪)	خاکستر باطله (٪)	کاهش خاکستر (٪)
۵۰	۶۵/۳۱۷	۸/۸	۴/۵	۱۴/۹	۴۸/۸۶۴
۱۰۰	۶۸/۹۳۹	۸/۵	۵/۲	۱۵/۱	۳۸/۸۲۳
۱۲۵	۸۰/۳۸۱	۸/۵	۵/۱	۲۱/۰	۴۰/۰
۲۵۰	۸۰/۵۰۳	۸/۵	۵/۰	۱۹/۹	۴۱/۱۷۷
۵۰۰	۸۳/۴۷۱	۸/۷	۵/۱	۲۳/۱	۴۱/۳۷۹

جدول۳ - تاثیر مقدار کف ساز روغن کاج بر کاهش گوگرد و خاکستر زغال سنگ

مقدار کف ساز (g/t coal)	بازیافت (٪)	گوگرد خوراک (٪)	گوگرد کنسانتره (٪)	گوگرد باطله (٪)	کاهش گوگرد (٪)
۵۰	۴۵/۵۴	۲/۱۱۶	۱/۶۶۱	۲/۴۰۳	۲۱/۵۰
۱۰۰	۷۲/۱۰	۲/۳۸	۲/۰۱۸	۲/۴۴۴	۱۵/۵۲
۲۰۰	۸۷/۰۱	۲/۳۲۲	۲/۲۲۴	۲/۷۷۳	۴/۲۲
مقدار کلکتور (g/t coal)	بازیافت (٪)	خاکستر خوراک (٪)	خاکستر کنسانتره (٪)	خاکستر باطله (٪)	کاهش خاکستر (٪)
۵۰	۴۵/۵۴	۲۲/۱۰	۵/۹۰	۳۰/۳۰	۷۳/۳۰
۱۰۰	۷۲/۱۰	۲۲/۸۰	۹/۰۰	۴۳/۵۰	۶۰/۵۳
۲۰۰	۸۷/۰۱	۲۲/۴۰	۱۳/۶۰	۶۲/۶۰	۳۹/۲۸

دور بر دقیقه این آزمایشات انجام شده اند.نتایج تغییر درصد پالپ و تاثیر آن بر کاهش گوگرد در جدول ۴و آورده شده است. با افزایش درصد پالپ از ۵ تا ۱۵ درصد، مقدار گوگرد موجود در زغال محصول نیز بالا رفته در نتیجه درصد کاهش گوگرد پایین می آید. در جدول ۴ نتایج کاهش خاکستر زغال محصول با تغییر درصد پالپ داده است. با افزایش درصد پالپ مقدار بازیافت زغال افزایش می یابد که این افزایش خطی بوده است. برای بررسی فاصله زمانی بین اضافه کردن کلکتور و کف کننده در محلول فلوتاسیون به عنوان یک متغیر و نقش آن در کاهش گوگرد، دو آزمایش صورت گرفته که در آنها مقدار کلکتور ۱۲۵ گرم بر تن زغال، کف ساز روغن کاج ۵۰ گرم بر تن استفاده شده و با پالپ ۵٪ زغال سنگ و بدون حضور بازداشت کننده و با سرعت ۱۲۵۰ دور بر دقیقه این آزمایشات انجام شده اند. نتایج کاهش گوگرد و خاکستر در جدول ۵ آورده شده است. همان طور که از نتایج پیداست، افزایش فاصله زمانی به مدت ۵ دقیقه در اضافه کردن کلکتور و کف ساز به مخلوط فلوتاسیون، نسبت به حالتی که هر دو همزمان ریخته شود، تاثیر مستقیمی روی حذف گوگرد و خاکستر زغال سنگ دارد. زیرا با افزایش این زمان، کلکتور بهتر روی سطح زغال سنگ تاثیر گذاشته و نقاط آبگیر موجود در سطح زغال سنگ را بهتر پوشش داده و دادن همین زمان ماند به کف کننده روغن کاج که تا حدودی خاصیت کلکتوری نیز دارد، باعث بهبود این امر گشته و ذرات زغال سنگ را آبگریزتر می کند که باعث افزایش درصد بازیافت نیز شده است. از مطالعه شکلها و جداول مربوط به روش فلوتاسیون می توان گفت که تاثیر این روش بر گوگردزدایی زغال بیشترین مقدار خاکستر زدایی ۷۵٪ بوده است. در روش فلوتاسیون سه متغیر کاهش گوگرد پیریتی زغال سنگ، کاهش خاکستر زغال سنگ و مقدار بازیافت زغال سنگ، طوری روی هم تاثیر گذارند که تغییر شرایط ازمایش برای افزایش یک متغیر، باعث کم شدن یک یا دو متغیر دیگر می شود. با توجه به نتایج آزمایشات، مقادیر بهینه متغیرهای مورد ازمایش به شرح زیر می باشد:

ـ مقدار کلکتور نفت سفید: ۲۵۰ g/t Coal

– مقدار کف کننده روغن کاج : ۵۰ g/t Coal –

درصد پالپ: ۵٪ـ

دور همزن: ۱۲۵۰ rpm

از لحاظ اقتصادی، روش فلوتاسیون به تنهایی نمی تواند در زمینه گوگردزدایی زغال سنگ روش مقرون به صرفه ای باشد، (بینوی و همکاران،۲۰۱۴) مگر اینکه از این روش به صورت چند مرحله ای و به عنوان یک پیش تصفیه زغال سنگ برای یکی از دو روش گوگردزدایی شیمیایی یا بیولوژیکی استفاده گردد،(گون سالوش وهمکاران ،۲۰۱۱).

جدول۴- تاثیر درصد پالپ بر کاهش گوگرد وخاکستر زغال سنگ طبس

درصد پالپ	بازیافت (٪)	گوگرد خوراک (٪)	گوگرد کنسانتره (٪)	گوگرد باطله (٪)	کاهش گوگرد (٪)
۵	۴۵/۵۴	۲/۱۱۶	۱/۶۶۱	۲/۴۰۳	۲۱/۵۰
۱۰	۶۶/۱۳	۲/۴۱	۲/۱۱۳	۲/۶۹۱	۱۲/۳۰
۱۵	۸۵/۷۹	۲/۲۴	۲/۰۷۴	۲/۴۰۵	۷/۴۰
درصد پالپ	**بازیافت (٪)**	**خاکستر خوراک (٪)**	**خاکستر کنسانتره (٪)**	**خاکستر باطله (٪)**	**کاهش خاکستر (٪)**
۵	۴۵/۵۴	۲۲/۱۰	۵/۹۰	۳۰/۳۰	۷۳/۳۰
۱۰	۶۶/۱۳	۲۱/۴۰	۱۰	۳۹/۲۰	۵۳/۲۷
۱۵	۸۵/۷۹	۲۲/۳۰	۱۱/۳۰	۶۵/۹۰	۴۹/۳۲

جدول۵- تاثیر فاصله زمانی بر کاهش گوگرد و خاکسترزغال سنگ طبس

فاصله زمانی (min)	بازیافت (٪)	گوگرد خوراک (٪)	گوگرد کنسانتره (٪)	گوگرد باطله (٪)	کاهش گوگرد (٪)
۰	۴۱/۷۹	۲/۲۹۵	۱/۹۳۵	۲/۵۲۲	۱۵/۶۷
۵	۴۵/۵۴	۲/۱۱۶	۱/۶۶۱	۲/۴۰۳	۲۱/۵۰
فاصله زمانی (min)	بازیافت (٪)	خاکستر خوراک (٪)	خاکستر کنسانتره (٪)	خاکستر باطله (٪)	کاهش خاکستر (٪)
۰	۴۱/۷۹	۲۱/۵۰	۶/۵۰	۲۸/۶۰	۶۹/۷۶
۵	۴۵/۵۴	۲۲/۱۰	۵/۹۰	۳۰/۳۰	۷۳/۳۰

سپاسگزاری

از آقای مهندس مصطفی رمضانی پور و آقای مهندس محمدرضا عبدالهی کارشناسان شرکت زغال سنگ طبس که در انجام آزمایشهای لازم و ارائه اطلاعات علمی کمک نمودند تقدیر و تشکر می گردد.

نتیجه گیری

زغال سنگ طبس از زغالهای پر گوگرد ایران توسط روش فیزیکی مورد آزمایشات گوگردزدایی قرار گرفته است. بدین منظور از فلوتاسیون بعنوان روش معمول فیزیکی در کاهش میزان گوگوگرد زغال سنگ استفاده شده است. با افزایش مقدار کلکتور نفت سفید، مقدار بازیافت و میزان کاهش گوگرد پیریتی با یک روند آرام افزایش می یابد. بیشترین تاثیر کلکتور نفت سفید روی کاهش میزان خاکستر است تا حذف گوگرد. به طوری که با g/tcoal ۲۵۰ نفت سفید، ۷۵/۵۵٪ از خاکستر و ۲۳٪ از گوگرد پیریتی را حذف می کند. افزایش کف کننده روغن کاج، با مقدار کاهش گوگرد و خاکستر رابطه معکوس و با درصد بازیافت رابطه مستقیم داشته به طوری که افزایش روغن کاج از g/tcoal ۵۰ به g/tcoal ۲۰۰، مقدار کاهش گوگرد از ۲۱/۵۰٪ به ۴/۲۲٪ و کاهش خاکستر از ۷۳/۳۰٪ به ۳۹/۲۸٪ و درصد بازیافت از ۴۵/۵۴٪ به ۸۷/۰۱٪ می رسد. افزایش درصد پالپ بر روی کاهش گوگرد و کاهش خاکستر اثر عکس داشته و درصد بازیافت را افزایش می دهد، به طوری که افزایش درصد پالپ از ۵٪ به ۱۵٪، مقدار کاهش گوگرد از ۲۱/۵۰٪ به ۷/۴۰ و مقدار کاهش خاکستر از ۷۳/۳۰٪ به ۴۲/۳۲٪ می رسد. و درصد بازیافت از ۴۵/۵۴٪ به ۸۵/۷۹٪ افزایش می یابد. با کاهش میزان گوگرد ، اثرات مثبت اقتصادی و زیست محیطی در معادن زغال سنگ طبس شاهد خواهیم بود.

منابع

۱- احسانی، م. ر. ،اقبالی بابایی، ف.(۱۳۸۳)،"کاهش گوگرد و خاکستر زغال سنگ طبس به روش فلوتاسیون" ،سمپوزیوم فولاد آلیاژی، ، یزد ، ایران.

۲-رضایی، ب ،(۱۳۸۰)." تکنولوژی زغالشویی "، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر،۱۷۰ص.

۳-هاشمی ، س. م. شریفیان عطار، ر ،(۱۳۹۵)." زمین شناسی زغال سنگ ها" ،انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، ۱۶۵، ص.

4-Binoy K. Saikia, Colin R. Ward, Marcos L.S. Oliveira, James C. Hower, Luis F. Silva,2014,Geochemistry and nano-mineralogy of two medium-sulfur northeast Indian coals,International Journal of Coal Geology, Volume 121, Pages 26-34

5-Chen-Lin Chou,2012,Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins,Review article,International Journal of Coal Geology, Volume 100, Pages 1-13

6-Cuicui Qi, Guijian Liu, Chen-Lin Chou, Liugen Zheng,2008,Environmental geochemistry of antimony in Chinese coals,Science of The Total Environment, Volume 389, Issues 2–3, Pages 225-234

7-El-Midany وA.A., Abdel-Khalek, M.A.,2014,Reducing sulfur and ash from coal using Bacillus subtilis and Paenibacillus polymyxaFuel, Volume 115, Pages 589-595

8-Gonsalvesh, L., Marinov, S.P. Stefanova, M., Carleer, R. ,Yperman,J.,2011,Evaluation of elemental sulphur in biodesulphurized low rank coals,Fuel, Issue 9,Pages 2923-2930

9-Jiakun Tan, Long Liang, Yaoli Peng, Guangyuan Xie,2016,The concentrate ash content analysis of coal flotation based on froth images,Minerals Engineering,Volume 92, Pages 9-20

10-**J. Yianatos, C. Carrasco, L. Vinnett, I. Rojas,**2014,Pyrite recovery mechanisms in rougher flotation circuits,Minerals Engineering, Volumes 66–68, Pages 197-201

12-Stanislav Gornostayev,Jouko Härkki, Olavi Kerkkonen,2009,Transformations of pyrite during formation of metallurgical coke,Fuel, Volume 88, Issue 10, Pages 2032-2036.

13-Siva Prasad Dontala,T. Byragi Reddy, Ramesh Vadde,2015,Environmental Aspects and Impacts its Mitigation Measures of Corporate Coal Mining,Open access, Procedia Earth and Planetary Science, Volume 11, Pages 2-7.

14-Wencheng Xia, Chenglong Zhou, Yaoli Peng,2017, Enhancing flotation cleaning of intruded coal dry-ground with heavy oil,Journal of Cleaner Production, Volume 161, Pages 591-597

15-Wencheng Xia,Jianguo Yang, 2013,Effect of pre-wetting time on oxidized coal flotation,Powder Technology,Volume 250,Pages 63-66

16-Shobhana Dey,Santosh Pani, Ratnakar Singh,2014,Study of interactions of frother blends and its effect on coal flotation,Powder Technology, Volume 260, Pages .

Desulphurization of Tabas Coals Coke

Seyed Mohammad Hashemi

Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

Sulfur is an organic and mineral in coal and is one of the most disturbing elements in the steel industry.The high percentage of sulfur in Tabas coal is considered as a polluting and harmful element. Sulfur, in addition to reducing the production efficiency of coking plants, causes environmental pollution. The study of reducing the amount of sulfur by physical methods such as flotation is one of the goals of this paper.Investigation of coal samples in flotation method and effective factors in increasing the efficiency of sulfur separation are investigated .Factors such as ash content, the effect of collectors and Foam maker, mechanicalproperties and floating cells conditions are considered.The amount of collector, the amount of foaming and pulp percentage and the remaining time are the parameters that are effective in reducing the sulfur content of the flotation method.By increasing the amount of Gasoil collector, the amount of recycling and the amount of pyrite sulfur decreases with a slow process. Increasing or reducing excessive engine speed reduces the rate of desulfurization. Increasing pulp percentages on reducing sulfur and reducing ash increases recycling rates.

KeyWords: Sulfur. Pollutant ,Coal ,Ash, Flotation, Taba