

بررسی آزمایشگاهی خاکسترزدایی و گوگردزدایی از قیر طبیعی

یاسر واثقیان^۱، نگین حیدری^۱، مجتبی احمدی^{۱*}، مهدی پیری^۱، مجید هاشمی^۲، بیژن عباسی^۳

۱- کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی

۲- کرمانشاه، مرکز پژوهش و توسعه فناوری‌های نفت

۳- کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی مواد

پایان‌نگار: M_ahmadi@razi.ac.ir

چکیده

در این مقاله، خاکسترزدایی و گوگردزدایی از قیر طبیعی با استفاده از روش شناورسازی توسط اسید سولفوریک بررسی شده است. نمونه مورد استفاده دارای ۹/۶٪ گوگرد (که ۶/۷۴٪ آن را گوگرد پیریتی تشکیل می‌دهد) و ۳۰٪ خاکستر است. همه آزمایش‌ها با میزان ۱ هوادهی ۴ لیتر بر دقیقه و با استفاده از روغن کاج و گازوئیل به ترتیب به‌عنوان کف‌ساز و کلکتور انجام شده است. در تحقیق حاضر، اثر میزان کلکتور و کف‌ساز، pH درصد وزنی جامد در تفاله^۲، دور همزن و اندازه ذرات بررسی شده است. قیر طبیعی تا ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر خرد شده است. جهت خاکسترزدایی و گوگردزدایی آزمایش‌های شناورسازی در سلول شناورسازی آزمایشگاهی ۳ لیتری دنور انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که شرایط بهینه جهت انجام آزمایش‌ها به ترتیب مقدار کف‌ساز ۵۰g/t، مقدار کلکتور ۱kg/t، دور همزن ۱۲۰۰rpm، pH برابر ۷، پالپ ۵ درصد جامد و زمان شناورسازی ۳ دقیقه می‌باشد. که در این شرایط، به ۵۲٪ حذف گوگرد پیریتی (۳۶/۴۵٪ از گوگرد کل)، ۴۰٪ حذف خاکستر و ۷۰٪ بازیابی دست یافتیم.

کلمات کلیدی: خاکسترزدایی، شناورسازی، قیر طبیعی، گوگردزدایی

۱- مقدمه

سوخت‌های فسیلی از منابع مهم و متداول تولید انرژی در صنعت به شمار می‌روند که عمدتاً شامل نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ می‌باشند. در این میان به علت محدود بودن ذخایر گاز طبیعی و عدم دسترسی اکثر کشورها به آن، عمده‌ترین سوخت‌های رایج در جهان نفت و زغال‌سنگ بوده که انتظار می‌رود به علت روند رو به زوال تولید نفت، شیوه تشکیل بسیار ساده زغال‌سنگ و وفور منابع آن، تولید زغال‌سنگ در آینده رشد بسیار زیادی داشته باشد.

زغال‌سنگ به عنوان یک ماده با کاربردهای گسترده صنعتی شناخته شده است. از طرف دیگر به دلیل آنکه تولید و مصرف زغال‌سنگ مسایل زیست محیطی بیشتری را نسبت به سوخت‌های دیگر در بردارد بایستی بررسی‌های اجمالی در خصوص به حداقل رساندن میزان نشر آلاینده‌های ناشی از تولید و استفاده از این سوخت ارزشمند، به عمل آید [۱].

قیر طبیعی ماده‌ای به رنگ مشکی براق است که از هیدروکربورهای مختلف با وزن مولکولی بالا، رنگ‌ها، سختی‌ها، وزن مخصوص و مواد فرار متنوع تشکیل شده، در مقابل آب غیر قابل نفوذ بوده و

1. Rate
2. Pulp

کلکتور و کف‌ساز استفاده شدند. همه آزمایش‌ها در pH برابر ۷ انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها بیانگر آن بود که اندازه ذرات مهم‌ترین پارامتر موثر بر بازیابی و هوادهی است و درصد پالپ و دور همزن، نسبت به اندازه ذرات، تأثیر کمتری دارند [۱۰]. سیواستاوا^۳ در سال ۲۰۰۳ بازیابی گوگرد از نوعی زغال‌سنگ با محتوای خاکستر و گوگرد پیریتی بالا را با استفاده از فریک سولفات بررسی کرد. او توانست گوگرد پیریتی و سولفاتی را بطور کامل حذف کند. نمونه‌ها ۴ تا ۵ بار تحت تأثیر فریک سولفات قرار گرفتند و در کل زمان واکنش ۲۳ ساعت به طول انجامید. دمای واکنش ۹۰ تا ۱۳۰ درجه سلسیوس بود زیرا پیریت در این دما با فریک سولفات واکنش می‌داد. اندازه ذرات زغال‌سنگ مورد استفاده ۱۰ تا ۱۰۰ mesh بود که بهترین بازده حذف در اندازه mesh ۱۰۰ بدست آمد. نتایج حاصله بیانگر بازدهی ۹۰ تا ۹۵ درصد بود [۱۱]. کاراسا^۴ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ حذف گوگرد پیریتی از زغال‌سنگ را با استفاده از اسید نیتریک بررسی کردند. آنها اثر پارامترهای زمان واکنش، دمای واکنش، اندازه ذرات، غلظت اسید و دور همزن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش دور همزن در دماهای پایین تأثیر چندانی ندارد. افزایش غلظت اسید، زمان واکنش و دور همزن و کاهش اندازه ذرات، افزایش حذف پیریت را به دنبال دارد. آنها در شرایط بهینه (زمان واکنش ۲ ساعت، ۲۵ درصد وزنی اسید و دمای جوش اسید، ۱۰۳ درجه سلسیوس) به ۳۰ درصد حذف پیریت دست یافتند [۱۲]. همچنین ماخرجی^۵ و پورتاکور^۶ در سال ۲۰۰۳ با استفاده از اسید هیدروکلریک و هیدروکسید سدیم خاکسترزدایی و گوگردزدایی از زغال‌سنگ هند را بررسی کردند. آنها دریافتند که افزایش غلظت هیدروکسید سدیم حذف گوگرد و خاکستر را افزایش می‌دهد. آنها موفق به حذف ۱۰ درصد گوگرد آلی، همه‌ی گوگرد غیرآلی و ۴۵ تا ۵۰ درصد خاکستر شدند [۱۳].

در این مطالعه تأثیر برخی از پارامترهای مهم بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی بررسی شده است.

دارای خواص چسبندگی می‌باشد [۲ و ۳]. قیر طبیعی در اثر اکسیداسیون مواد نفتی به وجود می‌آید. هنگامی که نفت در مجاورت هوای آزاد قرار می‌گیرد به مرور زمان مواد فرار (هیدروکربورهای سبک) آن از محیط خارج شده و تنها هیدروکربورهای سنگین باقی می‌ماند. این مواد تا قبل از سخت شدن کامل می‌توانند تحت تأثیر فشار لایه‌ها از داخل درز و شکاف‌ها به افق‌های بالاتر و در پاره‌ای موارد به سطح زمین راه یابند [۲ و ۴]. از نظر شیمیایی قیرها مخلوط ناهمگنی از اجزای شیمیایی هستند که عبارتند از هیدروژن و هیدروکربن حدود ۹۰ درصد، گوگرد بین ۱ تا ۶ درصد، اکسیژن و ازت کمتر از ۱/۵ درصد و نهایتاً اجزای فلزی شامل وانادیم، نیکل و آهن دارای غلظتی در حد چند قسمت در میلیون [۲].

در میان تمام عناصر موجود در قیر طبیعی گوگرد به عنوان عنصری که استفاده از آن را به صورت یک سوخت تمیز محدود می‌کند، بیشترین اهمیت را داراست [۵]. گوگرد موجود در قیر به سه شکل گوگرد آلی، پیریتی و سولفاتی است که بسته به نوع گوگرد روشهای مختلفی برای حذف آن وجود دارد. بطور کلی در طبیعت بیش از نیمی از گوگرد موجود در قیر، از نوع پیریت است [۶، ۷، ۸]. قیر طبیعی همچنین حاوی مواد معدنی غیرآلی نیز می‌باشد که اصطلاحاً خاکستر نامیده می‌شوند. اصلی‌ترین کانی‌ها در زغال‌سنگ سیلیکات‌ها یا شیل‌ها (نوع کائولینیت)، کوارتز و ماسه‌سنگ، پیریت و کربنات‌های سیدریت و انکریت هستند. مهم‌ترین عناصر موجود در خاکستر به ترتیب مقدارشان، عبارتند از: Al، Ca، Fe، S، Si، و دوم K، Mg، Na، P، Ti. بر اساس استاندارد بین‌المللی مقدار خاکستر زغال‌سنگ نباید بیش از ۷ درصد باشد [۸ و ۹].

آکدمیر^۱ و سونمز^۲ در سال ۲۰۰۳ تأثیر هوادهی بر روی بازدهی، شناورسازی و بازیابی قیر طبیعی را بررسی کردند. در این تحقیق تأثیر پارامترهای اندازه ذرات، دور همزن، درصد جامد پالپ و ریت هوادهی بر روی شناورسازی بررسی شد. آنها برای انجام آزمایش‌ها از قیر طبیعی ترکیه با ابعاد ذرات کمتر از ۵۰۰ μm، دستگاه دنور ۱/۲ لیتری و دور همزن ۱۱۰۰ rpm استفاده کردند. نفت سفید ۶۴۰ g/t و متیل ایزوبوتیل کربونیل ۳۲۰ g/t به ترتیب به عنوان

3. Srivastava
4. Karaca
5. Makherjee
6. Borthakur

1. Akdemir
2. Sonmez

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲ مواد

موادی که در فرایند خاکسترزدایی و گوگردزدایی از قیر طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

قیرطبیعی، روغن کاج (چگالی 900 kg/m^3)، گازوئیل (چگالی 820 kg/m^3)، H_2SO_4 ۹۸٪، NaOH ، HCl ، اسید نیتریک ۶۵ درصد وزنی، اسید کلریدریک ۳۷ درصد حجمی، که محلولهای NaOH و HCl برای تنظیم pH به کار گرفته می‌شوند. همچنین دستگاه‌های مورد استفاده نیز عبارتند از: دنور، کوره، دستگاه جذب اتمی، pH متر، آون، دسیکاتور و ترازوی الکتریکی.

۲-۲ روش‌ها

ابتدا نمونه قیر طبیعی را به منظور انجام آزمایش‌ها، تا قطر کمتر از ۰/۵ میلی‌متر خرد کرده و آنالیزهای اولیه را به منظور تعیین مقدار گوگرد پیریتی، گوگرد کل و خاکستر بر روی نمونه انجام می‌دهیم. ۵۰ گرم از پودر قیر را برای تهیه پالپ ۵ درصد جامد، وزن کرده و درون ظرف آماده‌سازی می‌ریزیم و مقداری آب (۵۰۰ میلی‌لیتر) به آن می‌افزاییم و اجازه می‌دهیم که مخلوط حاصل که خمیری شکل است، به مدت ۱ ساعت به همان حالت باقی بماند، (تمام آزمایش‌های شناورسازی درون یک سلول دنور ۳ لیتری با ۲ لیتر ظرفیت و در دمای محیط انجام می‌شود). بعد از آن به مخلوط بالا آب اضافه می‌کنیم (۵۰۰ میلی‌لیتر) تا آن را به حجم ۱ لیتر برسانیم و با افزودن چند قطره HCl و NaOH ، pH آن را در عدد ۷ تنظیم می‌کنیم (pH طبیعی مخلوط قیر طبیعی و آب حدود ۵/۸ بود) و به مدت ۳ دقیقه آن را با دور موتور ۱۲۰۰ rpm هم می‌زنیم. سپس مقدار کلکتور مورد نظر (1 kg/t bitumin) را به آن اضافه کرده و باز به مدت ۳ دقیقه با همان دور موتور هم می‌زنیم پس از آن کف‌ساز (0.5 g/t bitumin) مورد نیاز را اضافه کرده و باز به مدت ۳ دقیقه هم می‌زنیم. گازوئیل و روغن کاج به‌عنوان کلکتور و کف‌ساز به ترتیب در انجام آزمایش‌ها استفاده شدند. سپس سیستم هوادهی را روشن می‌کنیم (4 L/min)، از زمانی که جریان هوا آغاز می‌شود مدتی طول می‌کشد تا کف نسبتاً پایدار تشکیل و سپس از سلول سرریز شود. پس از ۳ دقیقه هوادهی، کف حاصله را که به بالای ظرف رسیده، جمع‌آوری کرده و دستگاه را خاموش می‌کنیم.

کنسانتره را با آب مقطر چندین بار شستشو داده و آن را به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس درون آون برای خشک کردن قرار می‌دهیم، سپس نمونه را وزن کرده و آنالیز تعیین درصد گوگرد پیریتی، گوگرد کل و خاکستر بر روی آن صورت می‌گیرد.

۲-۳ تعیین میزان پیریت

برای تعیین گوگرد پیریتی می‌توان از دستورالعمل‌های ASTM استفاده نمود، اما امروزه به دلیل طولانی بودن آزمایش به روش‌های فوق‌الذکر، روش جذب اتمی را پیشنهاد می‌کنند. برای تعیین پیریت لازم است که گوگرد آلی و گوگرد غیرآلی موجود در قیر حذف گردد. روش جذب اتمی بر این اساس استوار است که اولاً سولفات‌ها بر خلاف پیریت در اسید کلریدریک رقیق حل می‌شوند (با حل کردن نمونه زغال سنگ در اسید کلریدریک رقیق، گوگرد غیرآلی به صورت سولفات و همچنین برخی ترکیبات آلی گوگردار نیز از محلول جدا می‌شوند) ثانیاً با استفاده از حل کردن باقیمانده زغال از مرحله قبل در اسید نیتریک رقیق، (پیریت به فاز اسید منتقل می‌شود) می‌توان پیریت را به‌صورت محلول از قیر طبیعی خارج نمود. به این ترتیب محلول اسیدی فقط حاوی گوگرد پیریتی است که به کمک دستگاه جذب اتمی مقدار آهن پیریت اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت درصد پیریت در نمونه‌های زغال تعیین می‌گردد.

۲-۴ روش انجام آزمایش جهت تعیین میزان پیریت

یک تا دو گرم از نمونه قیرطبیعی به محلولی شامل ۱۰ mL اسید کلریدریک غلیظ (۳۷ درصد حجمی) و ۱۵ mL آب مقطر افزوده می‌شود. مخلوط حاصل را تا زمان رسیدن به حجم ۱۰ mL حرارت می‌دهند (به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده می‌شود). این کار به خاطر اینکه تمام نمونه در اسید کلریدریک حل شود، انجام می‌گیرد. رسوب‌های حل نشده را از محلول جدا نموده و آنها را با ۲۰ mL آب شستشو می‌دهند. رسوب حاصل را در محلولی از ۷ mL اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد وزنی) و ۵۰ mL آب قرار می‌دهند. مخلوط حاصل را مجدداً طی ۵۰ دقیقه حرارت می‌دهند تا تمامی پیریت موجود در زغال حل شود. ناخالصی‌های حل نشده به کمک

(خاکستر) می‌باشد که در ته بوته به رنگ شیری یا سفید قابل رؤیت است. اگر این چنین نبود نمونه را از کوره خارج کرده در دسیکاتور قرار می‌دهیم تا خنک شود بعد به خاکستر چند قطره آب مقطر به آرامی اضافه نموده بگونه‌ای که تمام سطح نمونه مرطوب شود. سپس آنرا به آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سلسیوس منتقل می‌کنیم تا رطوبت آن تبخیر شده و دوباره برای مدت یک ساعت دیگر در کوره قرار می‌دهیم تا خاکستر باقیمانده به رنگ شیری درآید. بعد از انجام مراحل فوق و اطمینان از انجام صحیح آن، بوته را با پنس مخصوص از داخل کوره خارج کرده و به دسیکاتور منتقل می‌نماییم. یا اینکه می‌توانیم کوره را خاموش کرده و صبر کنیم تا دمای آن به ۲۵۰ درجه سلسیوس برسد و سپس بوته را از داخل آن خارج کرده به دسیکاتور منتقل می‌نماییم تا کاملاً سرد شود. بعد از آن بوته را بدقت وزن می‌کنیم. عدد بدست آمده را در رابطه زیر قرار می‌دهیم تا درصد خاکستر خام بدست آید.

$$(1) \quad \frac{100 \times \text{وزن بوته} + \text{خاکستر} - \text{وزن بوته خالی}}{\text{وزن نمونه}}$$

۲-۷ محاسبات

درصد بازیابی قیر طبیعی و کاهش گوگرد و خاکستر از قیر با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$(2) \quad R = \left(\frac{C(1-X_C)}{F(1-X_F)} \right) \times 100$$

$$(3) \quad A = \left(1 - \frac{X_C}{X_F} \right) \times 100$$

$$(4) \quad S = \left(1 - \frac{Y_C}{Y_F} \right) \times 100$$

که در آن C وزن کنسانتره، F وزن نمونه اولیه، R درصد بازیابی قیر، X_C مقدار خاکستر کنسانتره، Y_C مقدار گوگرد کنسانتره، X_F مقدار خاکستر نمونه اولیه، Y_F مقدار گوگرد نمونه اولیه، A درصد حذف خاکستر از قیر و S درصد حذف گوگرد از قیر می‌باشد [۱۴].

کاغذ صافی از محلول جدا می‌گردد. محلول موجود در زیر کاغذ صافی را که حاوی آهن می‌باشد در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ mL می‌رسانند تا با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار آهن آن اندازه‌گیری شود.

۲-۵ تعیین میزان خاکستر

برای جداسازی مواد معدنی از دیگر فاکتورها باید کل مواد در دمای بالا (۹۰۰ درجه سلسیوس) سوزانده شوند که در اثر این کار تمامی مواد آلی (از جمله مواد پروتئینی، فیبر خام، چربی و غیره) سوزانده شده و فقط مواد معدنی باقی می‌ماند که مجموع آنها خاکستر خام نامیده می‌شود.

وسایل مورد نیاز

- ۱- کوره الکتریکی با قابلیت تنظیم دما تا 20 ± 900 درجه سلسیوس
- ۲- بوته چینی
- ۳- دسیکاتور با ماده نم‌گیر مناسب (مانند سلیکاژل، کلرید منیزیم و یا ماده نم‌گیر دیگر)
- ۴- انبر بلند
- ۵- ترازوی الکتریکی با دقت حداقل یک میلی‌گرم

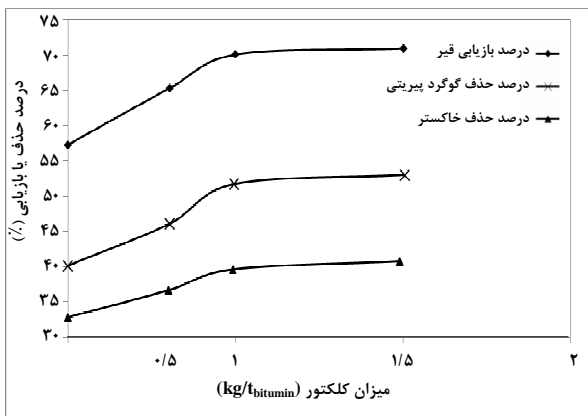
۲-۶ روش انجام آزمایش جهت تعیین میزان خاکستر

ابتدا بوته چینی را شسته و بعد از خشک کردن، آنرا به مدت نیم ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار می‌دهیم تا کاملاً خشک شود. پس از طی زمان مذکور بوته را با انبر از کوره خارج کرده و بلافاصله در دسیکاتور قرار دهید تا ضمن خنک شدن، از جذب رطوبت مجدد توسط آن جلوگیری شود. بعد از خنک شدن بوته را با ترازوی دقیق وزن کرده و آن را یادداشت می‌کنیم. ۲-۵ گرم از نمونه را که قبلاً آماده کرده‌ایم با ترازو وزن نموده در داخل بوته چینی می‌ریزیم و سپس بوته را به کوره منتقل می‌نماییم. کوره را روشن نموده و درجه آنرا روی ۹۰۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌نماییم. پس از رسیدن دما به ۹۰۰ درجه سلسیوس، طی ۴ ساعت کلیه مواد آلی موجود در نمونه سوخته و از بین می‌رود و تنها چیزی که باقی می‌ماند مواد معدنی

۳- نتایج و بحث

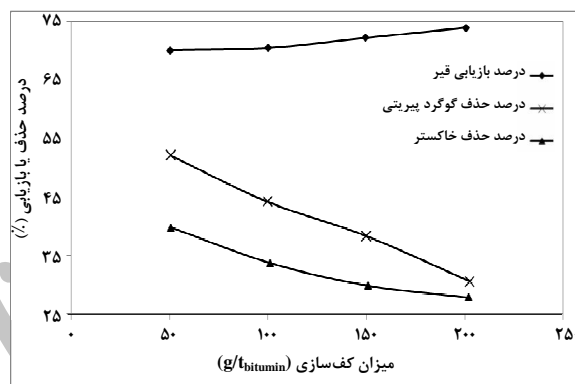
۱-۳ بررسی اثر مقدار کف‌ساز بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی

همانطور که از شکل (۱) پیداست افزایش میزان کف‌ساز با درصد بازیافت قیر طبیعی رابطه مستقیم و با کاهش گوگرد و خاکستر رابطه معکوس دارد.



شکل ۲- تأثیر مقدار کلکتور بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و درصد بازیابی قیر طبیعی

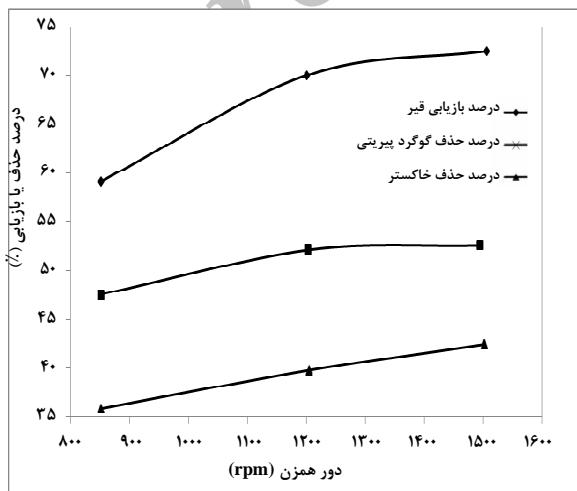
با جذب کلکتور بر روی قیر طبیعی خاصیت شناور شدن ذرات و در نتیجه بازیابی آنها افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار کلکتور درصد جامد پالپی که به ناحیه کف می‌رود، افزایش می‌یابد زیرا با افزایش مقدار کلکتور زاویه تماس بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش مقدار کلکتور بازیابی ذرات ریز هم به شدت افزایش می‌یابد.



شکل ۱- تأثیر مقدار کف‌ساز بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و درصد بازیابی قیر طبیعی

۳-۳ بررسی اثر دور همزن روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی

شکل (۳) نشان می‌دهد که دور همزن تأثیر قابل توجهی بر بازیابی قیر طبیعی و کاهش خاکستر و گوگرد دارد.



شکل ۳- تأثیر دور همزن بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و درصد بازیابی قیر طبیعی

افزایش غلظت کف‌ساز باعث کاهش اندازه حباب‌های هوا و افزایش سطح ویژه حباب‌ها می‌شود و زمان مناسبی را برای ایجاد تماس به وجود می‌آورد، که به نوبه خود باعث بهبود روند شناورسازی می‌شود. در حضور کف‌ساز، ابعاد حباب هوا کروی‌تر است. وقتی پایداری کف بیشتر می‌شود در نتیجه بازیابی نیز افزایش می‌یابد اما افزایش بیش از حد کف‌ساز افزایش بازیابی خاکستر و گوگرد در محصول را نیز به دنبال دارد زیرا مواد معدنی فرصت کمی برای آبدوست شدن پیدا می‌کنند، به حباب‌ها چسبیده و به سطح می‌رسند. در شناورسازی قیر طبیعی تأثیر کف‌ساز به مراتب با اهمیت‌تر از تأثیر کلکتور (در خصوص بازیابی و خاکستر) است.

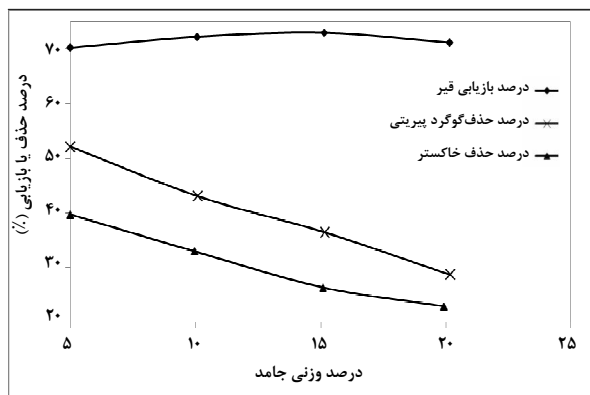
۲-۳ بررسی اثر مقدار کلکتور بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی

شکل (۲) نشان می‌دهد که میزان کلکتور با درصد بازیافت قیر طبیعی و کاهش گوگرد و خاکستر رابطه مستقیم دارد.

حمل بار را مشکل تر می کند ولی گوگرد می گیرد. کاهش ماکزیمم درصد بازیابی قیر طبیعی در pH برابر ۸ و بیشترین مقدار حذف گوگرد در pH برابر ۹ صورت می گیرد. بهترین وضعیت pH برای روغن کاج محیط خنثی است. در pHهای بالاتر بازیابی و حذف خاکستر کمتر می شود.

۳-۵ بررسی اثر درصد وزنی جامد روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی

در شکل (۵) مشخص است که افزایش درصد جامد تفاله بر روی کاهش گوگرد و خاکستر اثر عکس داشته ولی درصد بازیافت قیر را افزایش می دهد.



شکل ۵- تأثیر درصد وزنی جامد بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و درصد بازیابی قیر طبیعی

تثبیت کف در درصدهای بالاتر پالپ بیشتر است. سرعت شناورسازی با افزایش درصد جامد پالپ، بطور ناگهانی کاهش می یابد. با افزایش درصد جامد مصرف کف ساز و کلکتور نیز افزایش می یابد. بیشترین بازیابی در پالپ ۱۵ درصد صورت می گیرد.

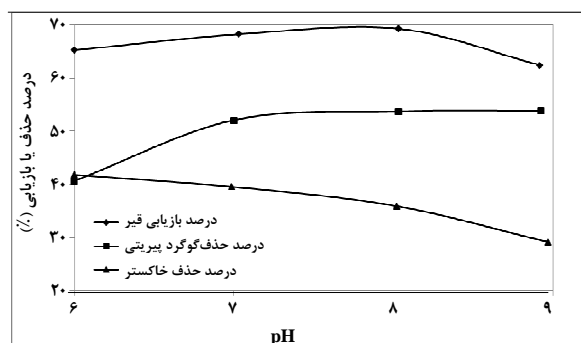
۳-۶ بررسی اثر اندازه ذرات روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی

اندازه ذرات در برخورد، تماس و جدا نشدن ذرات قیر از حبابهای هوا نقش مهمی را ایفا می کنند و از پارامترهای بسیار مهم در بازیابی و کاهش گوگرد و خاکستر است. همانطور که از شکل (۶)

همزن باعث ایجاد حباب، برخورد ذرات قیر و حبابهای هوا و متعاقباً چسبندگی آنها می شود. از دیگر وظایف همزن نگاهداشتن ذرات به حالت معلق در پالپ است. از آنجا که خاکستر قیر طبیعی از خود قیر سنگین تر است و این سنگینی با جذب آب (خیس شدن) تشدید می یابد، با افزایش دور همزن تأثیر نیروی گریز از مرکز روی ذرات سنگین تر (خاکستر قیر) افزایش یافته و خاکستر از قیر طبیعی جدا شده و به سمت دیواره سلول هدایت می شود و بر اثر نیروی ثقل ته نشین می گردد. با افزایش دور همزن از ۸۵۰ تا ۱۲۰۰ rpm کاهش گوگرد روند صعودی داشته و پس از آن سیر نزولی طی می کند. با افزایش دور همزن درصد بازیافت قیر روند صعودی دارد. همزن مورد استفاده در این کار همزن EV10ELM می باشد.

۳-۴ بررسی اثر مقدار pH روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و همچنین درصد بازیابی قیر طبیعی

افزایش pH، موجب کاهش حذف خاکستر و افزایش حذف گوگرد می گردد. در pHهای کم با افزایش pH بازیابی قیر افزایش می یابد که این روند در شکل (۴) نشان داده شده است.

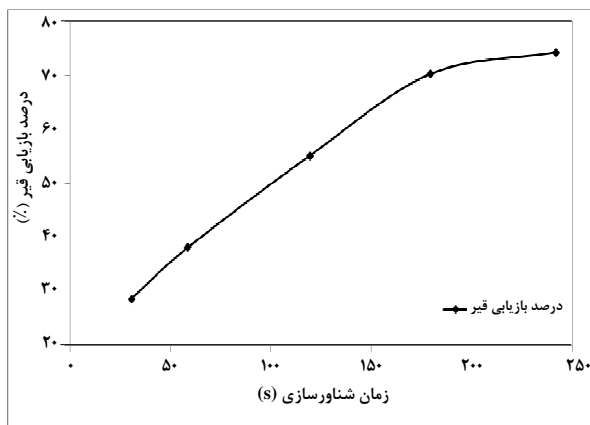


شکل ۴- تأثیر مقدار pH بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و درصد بازیابی قیر طبیعی

در pHهای خیلی بالا، هیدروکسیدهای فلزی به صورت لایه ای نازک بر روی سطح کانی نشسته و مانع تماس کلکتور با سطح کانی می شود. در pHهای بسیار اسیدی، بار سطحی کلیه ذرات مثبت بوده و جدایش مطلوبی صورت نگرفته است. از اینرو در pHهای بالا خاکستر کنسانتره افزایش می یابد زیرا بار مثبت روی سطح ذرات،

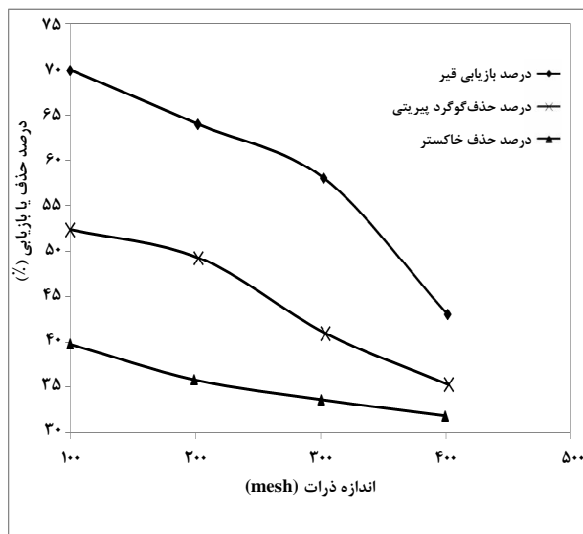
۷-۳ بررسی اثر زمان شناورسازی بر روی درصد بازایی قیر طبیعی

شکل (۷) نشان می‌دهد که با زیاد شدن زمان شناورسازی درصد بازایی قیر افزایش می‌یابد.



شکل ۷- تأثیر زمان شناورسازی بر روی درصد بازایی قیر طبیعی

مشخص است با کوچک شدن اندازه ذرات، بازایی قیر طبیعی، حذف گوگرد و خاکستر بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.



شکل ۶- تأثیر اندازه ذرات بر روی درصد حذف خاکستر و گوگرد پیریتی از قیر طبیعی و درصد بازایی قیر طبیعی

۴- نتایج

در این مطالعه خاکستردزایی و گوگردزایی از قیر طبیعی با استفاده از روش شناورسازی توسط اسید سولفوریک بررسی شده است. درصد بالائی از آلودگی‌های محیط‌زیست مربوط به متصاعد شدن گازهای SO_2 و SO_3 در حین استخراج و احتراق زغال‌سنگ می‌باشد. این گازها با آب و سایر مواد موجود در اتمسفر واکنش داده و به صورت باران اسیدی باعث تخریب مزارع کشاورزی، جنگل‌ها و اسیدی شدن آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شوند. با توجه به اینکه ایران دارای حجم وسیعی از معادن قیر طبیعی بخصوص در منطقه کرمانشاه می‌باشد و از آنجایی که قیر طبیعی با قیمت بسیار پایین به کشورهای پیشرفته فروخته می‌شود و پس از فرآوری و جداسازی مواد آن، با قیمت گزافی دوباره به کشور وارد می‌شود، بنابراین کاهش گوگرد و خاکستر با استفاده از روش‌های پیشرفته و جدید با هدف کاهش مشکلات ناشی از گوگرد و خاکستر، موضوع بسیار مهمی است. نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه از معدنی واقع در کرمانشاه تهیه گردید. نمونه‌ها دارای ۹/۶٪ گوگرد (که ۶/۷۴٪ آن را گوگرد پیریتی تشکیل می‌دهد) و ۳۰٪ خاکستر بودند. همه آزمایش‌ها با میزان هوادهی ۴ لیتر بر

میزان کاهش گوگرد پیریتی با کوچک شدن اندازه ذرات، زیاد می‌شود، این نشان می‌دهد که با کوچکتر شدن اندازه ذرات، جدا شدن بخش نسبتاً بزرگی از گوگرد پیریتی انجام می‌شود همچنین با کوچکتر شدن ذرات، سطح تماس ذرات با محلول استخراج‌کننده بیشتر شده و انتقال جرم و انتقال حرارت افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت واکنش بالا می‌رود و میزان تبدیل پیریت به سولفات و گوگرد عنصری افزایش می‌یابد. شناورسازی ذرات ریز به مراتب بهتر از ذرات درشت است. بازایی ذرات ریز نسبت به ذرات درشت بیشتر است زیرا احتمال جدا شدن از حباب‌های هوا در مورد ذرات درشت بیشتر است. میزان حساسیت ذرات ریز و درشت نسبت به میزان معرف‌ها متفاوت است، بعنوان مثال ذرات درشت نیاز به مقدار بیشتری از کلکتور دارند تا به همان مقدار خاصیت آگریزی پیدا کنند. بطور کلی شناورسازی ذرات درشت زمانی امکان‌پذیر است که از کلکتورهای روغنی، با درصد جامد زیاد و نرخ هوادهی زیاد و زمان طولانی استفاده شود. در عین حال هر چقدر ذرات ریزتر باشند، احتمال برخورد آنها به حباب‌های هوا کمتر است بنابراین برای شناورسازی ذرات ریز احتیاج به حباب‌های کوچکتر است، اما حمل ذرات توسط حباب‌های هوا بهتر صورت می‌گیرد.

[4] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور معاونت امور فنی، "تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله"، مراحل مختلف اکتشاف زغال‌سنگ، (۱۳۸۴).

[5] Timpe, R. C., Mann, M. D., Pavlish, J. H., Louie, P. K. K., "Organic sulphur and hap removal from coal using hydrothermal treatment", Fuel Processing Technology, No. 73. 127-141 (2001).

[6] احسانی، م، رضوانی، ق، و اقبالی بابادی، ف، "گوگردزدايي شیمیایی زغال‌سنگ‌های پر گوگرد ایران (طبس) با استفاده از محلول‌های سود، متانول/ آب و متانول/ سود"، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، شماره ۳۹، ۲۱-۳۴، (۱۳۸۴).

[7] عبدالمهی، م، شهبازی، ب، "بررسی پارامترهای مؤثر در حذف مغناطیسی پیریت از زغال‌سنگ طبس با استفاده از طراحی آزمایشها"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، بهمن (۱۳۸۳).

[8] امین آقائی، ص، شفیع، م، و رنجبر، م، "کانی زدایی شیمیایی زغال‌سنگ به منظور تهیه ماده اولیه مناسب برای تولید کربن فعال"، همایش صنایع معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان- پژوهشکده صنایع معدنی، خرداد (۱۳۸۹).

[9] Karen, M. S., John, B., Thomas, A., Donnell, O., David, G., "Production of Ultra Clean Coal Part I Dissolution behaviour of mineral matter in black coal toward hydrochloric and hydrofluoric acids", Fuel Processing Technology, No. 70. 171-192 (2001).

[10] Akdemir, U., Sonmez, I., "Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation", Fuel Processing Technology, No. 82. 1-9 (2003).

[11] Srivastava, S. K., "Recovery of sulphur from very high ash fuel and fine distributed pyritic sulphur containing coal using ferric sulphate", Fuel Processing Technology, No. 84. 37-46 (2003).

[12] Karaca, S., Muammer, A., Samih, B., "The removal of pyritic sulphur from as kale lignite in aqueous suspension by nitric acid", Fuel Processing Technology, NO. 80. 1-8 (2003).

[13] Mukherjee, S., Borthakur, P. C., "Chemical demineralization/desulphurization of high sulphur coal using sodium hydroxide and acid solutions", Fuel, No. 80. 2037-2040 (2001).

[14] Kadim, C., Zeki Kucuk, M., "Effectiveness of the dense medium and the froth flotation methods in cleaning some Turkish lignite's", Energy Conversion and Management, No. 45. 1407-1418 (2004).

دقیقه و با استفاده از روغن کاج و گازوئیل به ترتیب به‌عنوان کف‌ساز و کلکتور انجام شده است. در اینجا، اثر میزان کلکتور و کف‌ساز، pH، درصد وزنی جامد در پالپ، زمان شناورسازی، دور همزن و اندازه ذرات بررسی شد. قیر طبیعی تا ابعاد کمتر از ۵/۰ میلی‌متر خرد گردید. جهت خاکستریزدایی و گوگردزدايي آزمایش‌های شناورسازی در سلول شناورسازی آزمایشگاهی ۳ لیتری دنور انجام شد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که میزان کلکتور با درصد بازیافت قیر طبیعی و کاهش خاکستر و گوگرد رابطه مستقیم دارد. همچنین افزایش میزان کف‌ساز با درصد بازیافت قیر طبیعی رابطه مستقیم و با کاهش خاکستر و گوگرد رابطه معکوس دارد. دور همزن تأثیر قابل توجهی بر بازیابی قیر طبیعی و کاهش خاکستر و گوگرد دارد. افزایش pH، موجب کاهش حذف خاکستر و گوگرد و تا حدی افزایش بازیابی قیر می‌گردد. افزایش درصد جامد تفاله بر روی کاهش خاکستر و گوگرد اثر عکس داشته ولی درصد بازیافت قیر را افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش اندازه ذرات درصد بازیابی قیر و درصد حذف خاکستر و گوگرد از قیر کاهش می‌یابد. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که شرایط بهینه جهت انجام آزمایش‌ها به ترتیب مقدار کف‌ساز ۵۰ g/t، مقدار کلکتور ۱ kg/t، دور همزن ۱۲۰۰ rpm، pH برابر ۷، تفاله ۵ درصد جامد و زمان کف‌گیری ۳ دقیقه است که در این شرایط، به ۵۲٪ حذف گوگرد پیریتی (۳۶/۴۵٪ از گوگرد کل)، ۴۰٪ حذف خاکستر و ۷۰٪ بازیابی دست یافتیم.

مراجع

[1] Abdollahy, M., Moghaddam, A. Z., Rami, K., "Desulfurization of mezino coal using combination of flotation and leaching with potassium hydroxide/methanol", Fuel, No. 85. 1117-1124 (2006).

[2] ملک زاده، د، معماریان، م، "اصلاح و بهبود خواص قیرها با استفاده از لاستیک قابل بازپخت"، دومین همایش قیر و آسفالت ایران، آذر (۱۳۸۳).

[3] Murat, E., Cigdem, C., Zeki, A., "The effect of reagents and reagent mixtures on froth flotation of coal fines, International journal of mineral Processing", No. 71. 131-145 (2003).