بررسی نحوه حذف مواد آلی از کائولن رباط خان طبس

محمود عبدالهی[i]؛ بهزاد شهبازی[ii]

چکیده

آگلومراسیون یکی از روشهای حذف خاکستر از نرمه های زغال سنگ می‌باشد که در این روش ذرات آبران به طور انتخابی توسط مواد نفتی بصورت آگلومره در می آیند. در این تحقیق با استفاده از روش تاگوچی تاثیر غلظت آگلومرانت، درصد وزنی جامد در پالپ، دور همزن و زمان آگلومراسیون در حذف مواد آلی از کائولن رباط خان طبس مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین میزان حذف مواد آلی به روش فلوتاسیون برای ابعاد درشت (۳۷+۱۰۰۰- میکرون) برابر با ۳۲/۹۶ درصد و به روش آگلومراسیون در چهار مرحله برای ابعاد دانه ریز (۳۷- میکرون) به ۱۴/۲۱ درصد رسید، بنابراین با ترکیب این دو روش می‌توان به حذف کلی معادل ۱۶/۴۸ درصد دست یافت. در این تحقیق عیار مواد آلی از ۷/۶۵ درصد در بار اولیه به ۴/۳۷ درصد در محصول کاهش یافت.

کلمات کلیدی

کائولن، مواد آلی، آگلومراسیون، فلوتاسیون و تاگوچی

The Study of Effective Parameters on Organic Matter Removal from Tabas Kaolin

M. Abdollahy, B. Shahbazi

ABSTRACT

Agglomeration is one of the methods for ash removal from coal fines. In this method hydrophobic particles selectively agglomerated using oil. In this research using Taguchi method effect of agglomerant concentration, pulp density, agglomeration time and impeller speed on organic matter removal was studied for Robatkhan Tabas Kaolin. Using flotation method, organic matter removal for coarse particles (-1000+37 μm) was obtained 32.96% and using agglomeration method in 4 stages, organic matter removal for rest particles (-37 μm) was obtained 14.21%. So, with the combination of these two methods, maximum organic matter removal was obtained 16.48%. In this work, organic matter in feed was 7.65% and it was decreased to 4.37% in concentrate.

KEYWORDS

Agglomeration, Flotation, kaolin, organic matter and Tabas

۱- مقدمه

آگلومراسیون انتخابی ذرات زغال سنگ بوسیله مواد روغنی روشی مطمئن برای بازیابی زغالهای بسیار دانه ریز از محیطهای پالپ و تولید زغالهای تمیز می‌باشد [۱-۲]. تعمیم نتایج حاصل از آگلومراسیون از یک سیستم به سیستمی دیگر غیر ممکن است زیرا کارهای انجام شده بیشتر بر روی مواد معدنی کمپلکس و توسط روغنهای نفتی صورت گرفته است. مشخصات این مواد متفاوت بوده و شناسایی خواص سطحی آنها که در فرایند آگلومراسیون موثرند، مشکل می‌باشد [۱و۳-۷].

تغییر شرایط آگلومراسیون مواد توسط هپتان، سبب بروز تفاوت در ساختار آگلومره های تولیدی و بازیابی آنها می‌شود. ساختار آگلومره ها و بازیابی آنها وابستگی بالایی به روغن دوستی سطح ذرات دارد که این روغن دوستی بوسیله زاویه تماس سیستم جامد- آب- هپتان تعیین می‌شود. گرافیت و زغال که موادی با بیشترین روغن دوستی می‌باشند، بزرگترین و

i دانشیار، گروه فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس Email:minmabd@modares.ac.i r

ii کارشناس ارشد، آزمایشگاه فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس Email:bzshabazi@ yahoo.com

مقاوم ترین آگلومره ها را با کمترین مقدار هپتان تشکیل می‌دهند. گرافیت به عنوان روغن دوست ترین ماده، به آسانی به صورت آگلومره های کروی در می‌آید، در صورتیکه زغال سنگ تمایل بسیار کمتری به تشکیل آگلومره های کروی دارد. آگلومره ای که از مواد آب دوست نظیر کائولن و کوارتز تشکیل می شود، بسیار ضعیف تر از آن می‌باشد که در محیط متلاطم باقیمانده و بازیابی گردد [۸].

تمایل به ایجاد آگلومره طبق روند [کائولن یا کوارتز < پیریت< زغال سنگ< گرافیت] افزایش می‌یابد. این روند نشان دهنده روغن دوستی مواد با توجه به زاویه سطح تماس آنهاست. در مجموع، بازیابی با توجه با ابعاد چشمه سرندی که برای جدا نمودن آگلومره ها استفاده می شود تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تمایل آگلومره های کروی گرافیت به هم اندازه شدن سبب می‌شود که با افزایش غلظت هپتان، اندازه آنها بطور تصاعدی افزایش یابد [۸]. در این تحقیق با حذف مواد آلی از کائولن رباط خان طبس، عیار مواد آلی از ۷/۶۵ درصد در بار اولیه به ۴/۳۷ درصد در محصول کاهش یافت.

۲- نحوه توزیع مواد آلی در نمونه

ابتدا توزیع مواد آلی در محدوده های مختلف دانه بندی، تعیین شد، که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است. میزان مواد آلی براساس استاندارد ASTM D-۳۱۷۴ مربوط به تعیین خاکستر زغال سنگ تعیین شده است [۹].

با توجه به جدول (۱)، مواد آلی بطور یکنواخت در نمونه پراکنده نمی‌باشند و بیشتر در بخش دانه ریز نمونه تمرکز دارند. با توجه به اینکه بخش اعظم نمونه کائولن ریزتر از ۳۷ میکرون است، بنابراین درصد بالایی (۸۷/۹۱ درصد) از مواد آلی در این محدوده دانه بندی قرار گرفته است. میزان مواد آلی در کائولن رباط خان طبس برابر با ۷/۶۵ درصد و بیش از حد مجاز آن برای صنایع چینی (۰/۲۶ درصد) تعیین شد [۱۰].

جدول (۱): توزیع مواد آلی در محدوده های مختلف دانه بندی

اندازه چشمه سرند (میکرون)	مواد باقیمانده روی سرند (٪)	عیار مواد آلی (٪)	توزیع مواد آلی (٪)
-۱۰۰۰+۵۹۰	۱/۴۱	۹/۸۳	۱/۸۱
-۵۹۰+۴۲۰	۰/۵۸	۱۰/۸۵	۰/۸۲
-۴۲۰+۲۱۰	۲/۴۲	۱۱/۲۵	۳/۵۶
-۲۱۰+۱۴۹	۱/۱۱	۹/۲۷	۱/۳۴
-۱۴۹+۷۴	۳/۰۳	۵/۹۴	۲/۳۵
-۷۴+۴۴	۲/۳۹	۴/۶۱	۱/۴۴
-۴۴+۳۷	۱/۲۶	۴/۶۶	۰/۷۷
-۳۷	۸۷/۸۱	۷/۶۶	۸۷/۹۱
جمع	۱۰۰	جمع	۱۰۰

۳- آزمایشهای حذف مواد آلی

با توجه به اینکه نمونه کائولن بسیار دانه ریز بوده و مواد آلی در بخش دانه ریز نمونه موجود می‌باشند، لذا برای جداسازی مواد آلی نمی‌توان از روش های مبتنی بر خواص فیزیکی مواد (ثقلی) استفاده نمود. از روش های مبتنی بر خواص سطحی ذرات می‌توان به روش فلوتاسیون و آگلومراسیون اشاره نمود، که به نظر می‌رسد در مورد حذف مواد آلی از این نمونه مناسب باشد.

۳-۱- جدا نمودن به روش فلوتاسیون

در نمونه کائولن، مواد آلی بصورت زغال سنگ حضور دارند. زغال سنگ در فرایند فلوتاسیون ماده ای آبران بوده و به راحتی از سایر مواد آب پذیر جدا می‌شود. بنابراین در این قسمت به چگونگی حذف مواد آلی به روش فلوتاسیون پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱- فلوتاسیون نمونه ۱۰۰۰- میکرون

آزمایش فلوتاسیون بر روی نمونه ای با دانه بندی ۱۰۰۰- میکرون انجام شد. برای انجام این آزمایش از ۱۰۰۰ گرم بر تن گازوئیل و ۱۰۰ گرم بر تن کفساز MIBC استفاده شد. نتایج انجام آزمایش در pH=۷ و در شرایطی که دور همزن ۸۰۰ دور در دقیقه، زمان آماده سازی ۱۰ دقیقه، درصد وزنی جامد در پالپ ۱۰ درصد بود، طبق جدول (۲) می‌باشد.

طبق این آزمایش میزان حذف مواد آلی به ۱۹/۷۰ درصد رسید. نداشتن دستیابی به مقادیر بالای حذف، شاید وجود ذرات بسیار دانه ریز در نمونه باشد که باعث ایجاد مشکل پوشش نرمه بر روی ذرات آبران و غیر انتخابی شدن فرایند می‌گردد، زیرا نقطه بار صفر زغال سنگ در حضور کلکتورهای غیر یونی به منطقه قلیایی منتقل می‌شود و نقطه بار صفر کائولن ۳/۴ می باشد [۱۱]. در pH=۷ بار کائولن به شدت منفی بوده و بر روی ذرات زغال با بار مثبت جذب می‌شوند. برای حل این مشکل می‌توان فرایند فلوتاسیون را فقط بر روی بخش دانه درشت نمونه انجام داد، که جزئیات آن در بخش بعدی آورده می‌شود.

جدول (۲): نتایج فلوتاسیون بر روی نمونه ۱۰۰۰- میکرون

محصول	مقدار		عیار مواد آلی (٪)	توزیع مواد آلی (٪)
	گرم	درصد		
بار اولیه	۱۹۲/۳۳	۱۰۰	۷/۶۵	۱۰۰
کنسانتره (شناور شده)	۱۷/۵۶	۹/۱۴	۱۶/۵۱	۱۹/۷۰
باطله (شناور نشده)	۱۷۴/۷۷	۹۰/۸۶	۶/۷۶	۸۰/۸۳

۳-۱-۲- فلوتاسیون بخش دانه درشت نمونه

همانطور که عنوان شد، وجود ذرات دانه ریز در نمونه کائولن فلوتاسیون آن را با مشکل روبرو می‌کند. نرمه های رسی با ایجاد پوشش بر روی ذرات زغال از شناور شدن آنها جلوگیری می‌کنند. همچنین نرمه های مواد آلی نیز ذرات غیر آبران را پوشانده سبب راهیابی آنها به کف می‌شوند. همینطور می‌توان گفت که به علت افزایش دنباله روی، مواد غیر آبرانی که بسیار دانه ریز هستند به کف راه پیدا می‌کنند. نتیجه فلوتاسیون در قسمت قبلی که بر روی نمونه حاوی نرمه ها انجام شد موید این موضوع می‌باشد. بنابراین یک آزمایش فلوتاسیون نیز بر روی بخش دانه درشت نمونه (۳۷+۱۰۰۰-میکرون) انجام شد. برای انجام این آزمایش از ۵۰۰ گرم بر تن گازوئیل و ۵۰ گرم بر تن کفساز پلی پروپیلین گلیکول (A_{65}) استفاده شد. نتایج انجام آزمایش در pH=۷ و در شرایطی که دور همزن ۸۰۰ دور در دقیقه، زمان آماده سازی ۵ دقیقه، درصد وزنی جامد در پالپ ۱۵ درصد بود، طبق جدول (۳) می‌باشد.

طبق این آزمایش میزان حذف مواد آلی به ۳۲/۹۶ درصد می‌رسد، که نتیجه آن نسبت به آزمایش قبل مناسب تر است. با توجه به توزیع مواد آلی در جدول (۱)، نداشتن دستیابی به مقادیر بالاتر حذف را می‌توان به قفل شدگی مواد آلی با دیگر ذرات نسبت داد. با توجه به اینکه تنها بخش اندکی از مواد آلی (۱۲/۰۹ درصد) در محدوده دانه بندی ۳۷+۱۰۰۰- میکرون قرار دارد، از انجام آزمایشهای فلوتاسیون بیشتر چشم پوشی گردید.

جدول (۳): نتایج فلوتاسیون بر روی بخش دانه درشت نمونه (۳۷+۱۰۰۰- میکرون)

محصول	مقدار		عیار مواد آلی (٪)	توزیع مواد آلی (٪)
	گرم	درصد		
بار اولیه	۱۴۶/۹۰	۱۰۰	۷/۵۹	۱۰۰
کنسانتره (شناور شده)	۲۳/۰۴	۱۵/۶۸	۱۵/۵۹	۳۲/۹۶
باطله (شناور نشده)	۱۲۳/۸۶	۸۴/۳۲	۶/۰۱	۶۷/۰۴

۳-۲- جدا نمودن به روش آگلومراسیون

در این قسمت به چگونگی حذف مواد آلی از کائولن به روش آگلومراسیون پرداخته می‌شود. در روش آگلومراسیون بهتر است سطح نرمه های آبران (مواد آلی) توسط مایعات آلی تر شده و با به هم چسبیدن این ذرات، آگلومره هایی از مواد آلی تشکیل می‌شود، که اندازه آنها از اندازه اولیه به مراتب درشت تر است. بنابراین با استفاده از سرند کنترل می‌توان مواد آلی درشت شده را از سایر مواد ریز جدا نمود.

با توجه به اینکه برای حذف مواد آلی بخش درشت تر نمونه (۳۷+۱۰۰۰- میکرون) از روش فلوتاسیون استفاده شده و نتایج بهتری نسبت به فلوتاسیون بخش ۱۰۰۰- میکرون بدست آمد، بنابراین آزمایشهای آگلومراسیون بر روی بخش دانه ریز نمونه (۳۷- میکرون) انجام گردید. در این تحقیق نقش عواملی نظیر غلظت آگلومرانت، درصد وزنی جامد در پالپ، دور همزن و زمان آگلومراسیون، در میزان حذف مواد آلی از کائولن رباط خان طبس بررسی شد.

۳-۲-۱- طراحی آزمایش

برای بررسی عوامل موثر در حذف مواد آلی از کائولن، تعداد ۹ آزمایش به روش تاگوچی (جدول ۴) طراحی گردید تا با انجام آنها تاثیر فاکتورهای غلظت آگلومرانت، درصد وزنی جامد در پالپ، دور همزن و زمان آگلومراسیون معین گردد. در این طراحی برای هر فاکتور سه سطح مختلف مورد نظر می‌باشد [۱۲ و ۱۳]. در این آزمایشها دانه بندی نمونه ثابت و برابر با ۳۷- میکرون بوده است.

۳-۲-۲- چگونگی انجام آزمایش

در ابتدا بخش ۳۷- میکرون نمونه کائولن توسط سرند جدا گردید تا فرایند آگلومراسیون بر روی این بخش انجام گردد. ابتدا مقدار مشخصی از نمونه به داخل همزن ریخته شده، به مدت ۵ دقیقه آماده سازی گردید. سپس مقدار مشخصی روغن برابر با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی جامد به همزن در حال کار اضافه شد تا آگلومره ها تولید شوند. آگلومرهای تولید شده با استفاده از سرند کنترلی ۳۷ میکرونی از سایر ذرات جدا شدند. میزان مواد آلی در آگلومره های جمع آوری شده اندازه گیری و میزان حذف آن از نمونه کائولن محاسبه گردید.

۳-۲-۳- نتایج و بحث

پس از انجام آزمایشهای آگلومراسیون بر روی نمونه کائولن، میزان مواد آلی در محصول آگلومره شده به روش ASTM D- ۳۱۷۴ تعیین گردید. میزان مواد آلی در بار اولیه برابر با ۷/۶۶ درصد و در محصول آگلومره شده طبق جدول (۵) بدست آمد. بنابراین می توان حذف مواد آلی از کائولن را محاسبه نمود.

جدول (۴): طراحی آزمایش به روش تاگوچی (L_9)

شماره آزمایش	غلظت آگلومرانت (%)	درصد وزنی جامد در پالپ	دور همزن (دور در دقیقه)	زمان آگلومراسیون (دقیقه)
۱	۱۰	۵	۱۰۰۰	۵
۲	۱۰	۱۰	۱۵۰۰	۱۰
۳	۱۰	۱۵	۲۰۰۰	۱۵
۴	۱۵	۵	۱۵۰۰	۱۵
۵	۱۵	۱۰	۲۰۰۰	۵
۶	۱۵	۱۵	۱۰۰۰	۱۰
۷	۲۰	۵	۲۰۰۰	۱۰
۸	۲۰	۱۰	۱۰۰۰	۱۵
۹	۲۰	۱۵	۱۵۰۰	۵

جدول (۵): نتایج حاصل از آگلومراسیون نمونه کائولن

شماره آزمایش	بار اولیه		کنسانتره		باطله		میزان حذف مواد آلی (٪)
	وزن اولیه نمونه (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	وزن آگلومره (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	وزن باطله (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	
۱	۲۶/۳	۷/۶۶	۰/۵۲	۸/۲۸	۲۵/۷۸	۷/۶۵	۲/۱۴
۲	۵۵/۶	۷/۶۶	۱/۸۳	۱۴/۲۹	۵۳/۷۷	۷/۴۳	۶/۱۴
۳	۸۸/۲	۷/۶۶	۳/۲۶	۱۱/۵۵	۸۴/۹۴	۷/۵۱	۵/۵۷
۴	۶۲/۲	۷/۶۶	۱/۱۳	۹/۴۰	۲۵/۱۷	۷/۵۸	۵/۲۶
۵	۵۵/۶	۷/۶۶	۲/۲۴	۱۲/۲۰	۵۳/۳۶	۷/۴۷	۶/۴۲
۶	۸۸/۲	۷/۶۶	۲/۰۷	۱۰/۴۶	۸۶/۱۴	۷/۵۹	۳/۲۰
۷	۲۶/۳	۷/۶۶	۰/۸۳	۱۳/۲۰	۲۵/۴۷	۷/۴۸	۵/۴۲
۸	۵۵/۶	۷/۶۶	۱/۶۱	۱۱/۲۰	۵۳/۹۹	۷/۵۵	۴/۲۳
۹	۸۸/۲	۷/۶۶	۵/۶۷	۹/۵۷	۸۲/۵۳	۷/۵۳	۸/۰۳

در این قسمت نتایج حاصل از آزمایشها که در جدول (۵) آورده شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد تا تاثیر فاکتورهای غلظت آگلومرانت، درصد وزنی جامد در پالپ، دور همزن و زمان آگلومراسیون در میزان حذف مواد آلی از کائولن تعیین گردد. برای تحلیل بهتر نتایج جدول (۵)، مواردی توسط نرم افزار Qualitek-۴ مورد بررسی قرار گرفت:

- متوسط میزان حذف مواد آلی در سطوح مختلف
- تعیین بهترین سطح در مورد هر فاکتور
- تعیین شرایط بهینه انجام آزمایش
- تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای تعیین درصد تاثیر هر فاکتور

در اولین مرحله برای تحلیل نتایج میزان متوسط حذف مواد آلی از کائولن محاسبه و در جدول (۶) و شکل (۱) آورده شده است. برای بدست آوردن شرایط بهینه حذف مواد آلی از کائولن باید در مورد هر فاکتور، سطحی را درنظر گرفت که در آن متوسط حذف مواد آلی بیشترین مقدار را داشته باشد. همچنین جدول (۶) شرایط بهینه انجام آزمایش برای دستیابی به بهترین نتیجه را نشان می‌دهد.

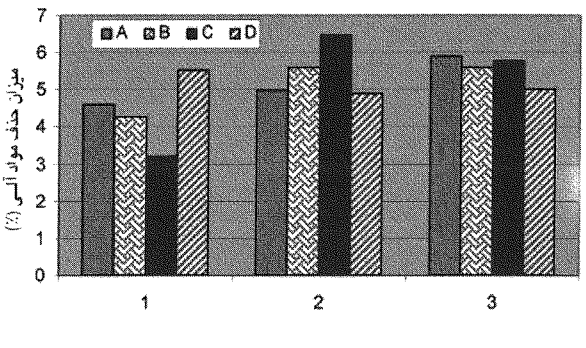
همانطور که در جدول (۶) آورده شده است. در شرایط بهینه آزمایش آگلومراسیون، غلظت آگلومرانت ۲۰٪، درصد وزنی جامد در پالپ ۱۰، دور همزن ۱۵۰۰ دور در دقیقه و زمان آگلومراسیون ۵ دقیقه می‌باشد. طبق پیش بینی نرم افزار با انجام آزمایش در شرایط بهینه باید میزان حذف مواد آلی به ۸/۰۳ درصد برسد، بنابراین آزمایشی در شرایط بهینه انجام شد که در آن میزان حذف مواد آلی به ۸/۳۰ درصد رسید، که با مقدار پیش بینی شده سازگار می‌باشد. در ادامه بطور جداگانه به تحلیل عوامل موثر در حذف مواد آلی از نمونه به روش آگلومراسیون پرداخته می‌شود:

- **نقش غلظت آگلومرانت**

به منظور انجام آگلومراسیون از هپتان استفاده شد، زیرا هپتان نسبت به سایر آگلومرانتها نظیر کروزین و گازوئیل کمترین ویسکوزیته را دارد بنابراین عمل تفرق ماده روغنی در آب بهتر صورت گرفته، به نتایج بهتری می‌توان دست یافت. همانطور که از شکل (۱) پیداست با افزایش غلظت آگلومرانت میزان حذف مواد آلی از کائولن روند صعودی داشته و میزان متوسط حذف از ۴/۶۲ درصد در سطح ۱ به میزان ۵/۸۹ درصد در سطح ۳ افزایش پیدا می‌کند. طبق جدول (۷) غلظت آگلومرانت به میزان ۱۰/۵۳ درصد در نتیجه آزمایش موثر بوده است و با افزایش آن می‌توان به مقادیر بالاتری از حذف مواد آلی از کائولن دست یافت. هرچه غلظت آگلومرانت بیشتر باشد، میزان روغن بیشتری در دسترس ذرات آلی قرار می‌گیرد بنابراین رقابت بین آنها برای جذب روغن کاهش یافته، ذرات با آب گریزی کمتر نیز آگلومره می‌شوند. این مساله توسط دو آزمایش در شرایط بهینه و با غلظت آگلومرانت برابر با ۳۰ درصد و ۴۰ درصد بررسی شد، که نتایج آن در ادامه آورده می‌شود.

جدول (۶): متوسط میزان حذف مواد آلی در سطوح مختلف

فاکتور		متوسط میزان حذف مواد آلی			شرایط بهینه	
		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	مقدار	شماره سطح
A	غلظت آگلومرانت (٪)	۴/۶۲	۴/۹۶	۵/۸۹	۲۰	۳
B	درصد وزنی جامد در پالپ	۴/۲۷	۵/۶۰	۵/۶۰	۱۰	۲
C	دور همزن (دور در دقیقه)	۳/۱۹	۶/۴۸	۵/۸۰	۱۵۰۰	۲
D	زمان آگلومراسیون (دقیقه)	۵/۵۳	۴/۹۰	۵/۰۲	۵	۱



شکل (۱): متوسط میزان حذف مواد آلی در سطوح مختلف

- **نقش درصد وزنی جامد در پالپ**

با افزایش درصد وزنی جامد در پالپ از ۵ درصد تا ۱۰ درصد میزان حذف مواد آلی افزایش یافته و پس از آن ثابت مانده است. از آنجا که میزان حذف مواد آلی در سطح دوم و سوم مساوی (۵/۶۰ درصد) است، بنابراین هر دو سطح را می‌توان به عنوان مقدار بهینه این عامل درنظر گرفت. افزایش حذف مواد آلی با افزایش درصد وزنی جامد در پالپ می تواند به دلیل افزایش احتمال برخورد بین ذرات آبران باشد. طبق جدول (۷) این عامل به میزان ۱۴/۱۳ درصد در نتیجه آزمایش موثر بوده است.

- **نقش دور همزن**

در این تحقیق نقش دور همزن در حذف مواد آلی به روش آگلومراسیون بررسی شده است. همانطور که از جدول (۷) پیداست این عامل نقش بسیار زیادی (۷۲/۷۶ درصد) در نتیجه فرایند داشته است. با افزایش دور همزن تا ۱۵۰۰ دور میزان حذف مواد آلی افزایش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر دور همزن روند آگلومراسیون معکوس شده و میزان حذف مواد آلی کاهش یافته است. بنابراین با توجه به اینکه بیشترین میزان حذف مواد آلی برای دور همزن در سطح دوم بدست آمده است، میزان بهینه دور همزن ۱۵۰۰ دور در دقیقه درنظر گرفته می‌شود.

با افزایش دور همزن در پالپ، احتمال برخورد بین ذرات افزایش و با کاهش اندازه ذرات احتمال برخورد بین ذرات کاهش می‌یابد [۱۴]. با افزایش دور همزن به ۱۵۰۰ دور در دقیقه احتمال برخورد بین ذرات مواد آلی افزایش یافته و آگلومره های درشت تری بدست می‌آید. این آگلومره ها از سرند کنترل عبور نکرده و حذف مواد آلی افزایش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر دور همزن تا ۲۰۰۰ دور دقیقه و در نتیجه افزایش احتمال برخورد بین ذرات، احتمال انفصال بین ذرات آگلومر شده نیز افزایش یافته و ذرات درشت آگلومره دوباره نرم می شوند. ذراتی که دوباره نرم شده اند از سرند کنترل عبور کرده، میزان حذف مواد آلی کاهش می‌یابد.

- **نقش زمان آگلومراسیون**

زمان آگلومراسیون به میزان ۲/۵۸ درصد در حذف مواد آلی از کائولن موثر بوده و در سطح اول (۵ دقیقه) بهترین نتیجه حاصل شده است. همانطور که مشخص است زمان آگلومراسیون تاثیر چندانی در نتیجه آزمایشها نداشته است. با افزایش زمان آگلومراسیون، میزان حذف مواد آلی کاهش یافته است زیرا با افزایش زمان آگلومراسیون به ذراتی که دارای آبرانی کمتری هستند، فرصت داده می‌شود تا در اثر تلاطم پالپ از آگلومره ها جدا شوند.

جدول (۷): تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای حذف مواد آلی

فاکتور	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	F	درصد تاثیر
غلظت آگلومرانت (%)	۲	۲/۶۲	۱/۳۱	...	۱۰/۵۳
درصد وزنی جامد پالپ	۲	۳/۵۱	۱/۷۶	...	۱۴/۱۳
دور همزن (دور در دقیقه)	۲	۱۸/۰۸	۹/۰۴	...	۷۲/۷۶
زمان آگلومراسیون (دقیقه)	۲	۰/۶۴	۰/۳۲	...	۲/۵۸
جمع	۸	۲۴/۸۵	-	-	۱۰۰

۳-۳- بررسی آگلومراسیون چند مرحله ای

در این بخش فرایند چند مرحله ای مورد بررسی قرار می‌گیرد، که اگر فرایند آگلومراسیون در چند مرحله بر روی نمونه انجام گیرد چه نتیجه ای را در بر خواهد داشت و به عبارت دیگر در چند مرحله آگلومراسیون می‌توان مواد آلی را از نمونه حذف نمود. بدین منظور چهارمرحله آگلومراسیون بر روی نمونه انجام شده است. مرحله اول آگلومراسیون بر روی بخش ۳۷- میکرون نمونه و در شرایط بهینه انجام گردید و در پایان آزمایش، آگلومره های ایجاد شده توسط سرند ۳۷ میکرون جدا شد. مرحله دوم آگلومراسیون با اضافه کردن همان مقدار هپتان به نمونه باقیمانده از مرحله اول انجام گرفت. مراحل سوم و چهارم آگلومراسیون نیز به همان روش انجام شد، که نتایج آن طبق جدول (۸) می‌باشد. میزان حذف تجمعی مواد آلی از مرحله اول تا چهارم به ترتیب به ۸/۳۰ ، ۱۰/۹۶ ، ۱۲/۰۱ و ۱۴/۱۸ درصد می‌رسد.

۳-٤- آگلومراسیون با مقادیر بالاتر آگلومرانت

با افزایش غلظت آگلومرانت، حذف مواد آلی افزایش می یابد، بنابراین برای دستیابی به مقادیر بالاتر حذف، دو آزمایش دیگر طوری انجام شد که در آنها غلظت آگلومرانت برابر با ۳۰ درصد و ۴۰٪ و سایر شرایط مطابق با شرایط بهینه بود. نتایج این دو آزمایش در جدول (۹) آورده شده است.

جدول (۸): نتایج آگلومراسیون چند مرحله ای

مراحل آزمایش	باراولیه		کنسانتره		باطله		میزان حذف تجمعی مواد آلی (٪)
	وزن اولیه نمونه (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	وزن آگلومره (گرم)	میزان مواد آلی(٪)	وزن باطله (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	
۱	۵۵/۶۰	۷/۶۶	۳/۶۵	۹/۶۸	۵۱/۹۵	۷/۵۲	۸/۳۰
۲	۵۱/۹۵	۷/۳۰	۱/۰۹	۱۰/۴۰	۵۰/۸۶	۷/۲۳	۱۰/۹۶
۳	۵۰/۸۶	۷/۱۵	۰/۳۳	۱۳/۶۰	۵۰/۵۳	۷/۱۰	۱۲/۰۱
۴	۵۰/۵۳	۶/۹۲	۰/۹۲	۱۰/۰۵	۴۹/۶۱	۶/۸۶	۱۴/۱۸

جدول (۹): آزمایش آگلومراسیون با مقادیر بالاتر آگلومرانت

شماره آزمایش	غلظت آگلومرانت (٪)	بار اولیه		کنسانتره		باطله		میزان حذف مواد آلی (٪)
		وزن اولیه نمونه (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	وزن آگلومره (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	وزن باطله (گرم)	میزان مواد آلی (٪)	
۱	۲۰	۵۵/۶۰	۷/۶۶	۳/۶۵	۹/۶۸	۵۱/۹۵	۷/۵۲	۸/۳۰
۲	۳۰	۵۵/۶۰	۷/۶۶	۲/۸۲	۱۴/۱۵	۵۲/۷۸	۷/۳۱	۹/۳۶
۳	۴۰	۵۵/۶۰	۷/۶۶	۴/۵۴	۱۲/۰۵	۵۱/۰۶	۷/۲۷	۱۲/۸۴

۳-۵- حذف مواد آلی به روش آگلومراسیون - فلوتاسیون

در قسمتهای قبل پس از فرایند آگلومراسیون، عمل جدا نمودن آگلومره ها توسط سرند کنترل انجام می‌شد. در روشی دیگر، برای جدا نمودن آگلومره های تشکیل شده می‌توان از فرایند فلوتاسیون استفاده کرد، بنابراین در شرایط بهینه و با غلظت آگلومرانت برابر با ۴۰ درصد، یک آزمایش آگلومراسیون بر روی بخش ۳۷- میکرون انجام گرفت و آگلومره های تشکیل شده به روش فلوتاسیون جدا گردید. در فرایند فلوتاسیون از

کفساز پلی پروپیلین گلیکول (۱۰۰ گرم بر تن) استفاده گردید و زمان کف گیری ۱۰ دقیقه درنظر گرفته شد. طبق این شرایط حذف مواد آلی از نمونه به ۱۱/۷۰ درصد رسید و عیار مواد آلی در نمونه به ۷/۴۸ درصد کاهش پیدا کرد. با توجه به اینکه در صورت استفاده از سرند کنترل میزان حذف مواد آلی به ۱۶/۴۸ درصد می رسد. بنابراین روش آگلومراسیون- فلوتاسیون نتیجه مطلوب تری از روش آگلومراسیون ندارد.

٤- محاسبه حذف مواد آلی از کل نمونه کائولن

همانطور که پیشتر گفته شد، مواد آلی بخش درشت نمونه (۳۷+۱۰۰۰- میکرن) به روش فلوتاسیون و بخش دانه ریز (۳۷- میکرون) به روش آگلومراسیون حذف گردید. بیشترین میزان حذف برای بخش دانه درشت ۳۲/۹۶ درصد به روش فلوتاسیون و ۱۴/۲۱ درصد به روش آگلومراسیون در چهارمرحله رسید، بنابراین با ترکیب این دو روش می‌توان به حذف کلی برابر با ۱۶/۴۸٪ دست یافت.

در فرایندی که عمل آگلومراسیون بر روی کل نمونه (۱۰۰۰- میکرون) انجام شد، میزان حذف مواد آلی توسط سرند کنترل ۳۷ میکرونی به ۳۴/۵۷ درصد رسید. که نسبت به نتیجه قبلی بسیار مطلوب تر است. ولی در این حالت ۲۴/۶۲ درصد مواد غیر آلی (کائولن) در فرایند آگلومراسیون هدر می رود. با توجه به نبودن مواد نرمه در بخش آگلومر شده، امکان بازیابی بخشی از کائولن هدر رفته به روش فلوتاسیون وجود دارد.

۵- نتیجه گیری

۱- آزمایش فلوتاسیون بر روی نمونه ای با دانه بندی ۱۰۰۰- میکرون انجام شد. طبق این آزمایش میزان حذف مواد آلی به ۱۹/۷ درصد می رسد. علت نداشتن دستیابی به مقادیر بالای حذف، وجود ذرات بسیار دانه ریز در نمونه است که شاید باعث ایجاد مشکل پوشش نرمه بر روی ذرات آبران و غیرانتخابی شدن فرایند می‌گردد.

۲- شرایط بهینه آزمایش آگلومراسیون برای غلظت آگلومرانت ۲۰ درصد، درصد وزنی جامد در پالپ ۱۰، دور همزن ۱۵۰۰ دور در دقیقه و زمان آگلومراسیون ۵ دقیقه بدست آمد و عیار مواد آلی از ۷/۶۵ درصد در بار اولیه به ۴/۳۷ درصد در محصول کاهش یافت.

۳- طبق پیش بینی نرم افزار با آزمایش در شرایط بهینه باید میزان حذف مواد آلی به ۸/۰۳ درصد برسد. بنابراین آزمایشی در شرایط بهینه انجام شد که در آن میزان حذف مواد آلی به ۸/۳۰ رسید، که با مقدار پیش بینی شده سازگار می‌باشد.

۴- غلظت آگلومرانت به میزان ۱۰/۵۳ درصد در نتیجه آزمایش موثر بوده است و با افزایش آن می‌توان به مقادیر بالاتری از حذف مواد آلی از کائولن دست یافت.

۵- با افزایش درصد وزنی جامد در پالپ از ۵ درصد تا ۱۰ درصد میزان حذف مواد آلی افزایش یافته و پس از آن ثابت مانده است. این عامل به میزان ۱۴/۱۳ درصد در نتیجه آزمایش موثر بوده است.

۶- دور همزن تاثیر بسیار زیادی در نتیجه فرایند برابر با ۷۲/۷۶ درصد داشته است. با افزایش دور همزن تا ۱۵۰۰ دور میزان حذف مواد آلی افزایش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر دور همزن روند آگلومراسیون معکوس شده و میزان حذف مواد آلی کاهش یافته است.

۷- زمان آگلومراسیون به میزان ۲/۵۸ درصد در حذف مواد آلی از کائولن موثر بوده و در سطح اول (۵ دقیقه) بهترین نتیجه را حاصل نموده است. همانطور که مشخص است زمان آگلومراسیون تاثیر چندانی در نتیجه آزمایشها نداشته است.

۸- در صورتیکه چهار مرحله آگلومراسیون متوالی بر روی نمونه ۳۷- میکرون انجام شود میزان حذف تجمعی مواد آلی از مرحله اول تا چهارم به ترتیب تا ۸/۳۰، ۱۰/۹۶، ۱۲/۰۱ و ۱۴/۱۸ درصد افزایش می‌یابد.

۹- اگر فرایند آگلومراسیون بر روی کل نمونه (۱۰۰۰- میکرون) انجام شود، میزان حذف مواد آلی توسط سرند کنترل ۳۷ میکرونی به ۳۴/۵۷ درصد و عیار مواد آلی در بخش زیر سرند به ۶/۷۱ درصد می‌رسد.

۱۰- برای دستیابی به مقادیر بالاتر حذف، دو آزمایش دیگر طوری انجام شد که در آنها غلظت آگلومرانت برابر با ۳۰ درصد و ۴۰ درصد و سایر شرایط مطابق با شرایط بهینه بود. طبق این آزمایشها میزان حذف مواد آلی به ترتیب به ۹/۳۶ درصد و ۱۲/۸۴ درصد افزایش یافت.

۱۱- در روش آگلومراسیون – فلوتاسیون میزان حذف مواد آلی از نمونه به ۱۱/۷۰ درصد رسید و عیار مواد آلی در نمونه به ۷/۴۸ درصد کاهش پیدا کرد.

۱۲- بیشترین میزان حذف مواد آلی به روش فلوتاسیون برای ابعاد درشت (۳۷+۱۰۰۰- میکرون) برابر با ۳۲/۹۶ درصد و به روش آگلومراسیون در چهار مرحله برای ابعاد دانه ریز (۳۷- میکرون) به ۱۴/۲۱ درصد رسید، بنابراین با ترکیب این دو روش می‌توان به حذف کلی معادل با ۱۶/۴۸ درصد رسید.

۶- مراجع

[۱] Capes C.E. & Germain J.R, Selective oil Agglomeration in Fine Benefciation chapter 6 in: Physical Cleaning of Coal, Y.A. Liu (ed.), Marcel Dekker, New, York, 1982.

[۲] Steedman W.G. & Krishnan S.V, Oil Agglomeration process For Treatment of Fine Coal, Chapter 8 in: Fine coal Processing, S.K.Mishra & R.R. klimpel (eds.), Noyes Publication, Park Ridge, New Jersey, 1987.

[۳] Swanson A.R., Bensley C.N. & Nicol S.k, Some Fundamental Aspecls of the Selective Agglomeration of fine Coal, Chapter 56 in: Agglomeration 77, Vol. 2,k V.S Sastry (ed). AIME, New york, 1977.

[۴] Takamori T., Hirajima T. & Tsunekawa M, An experimental study on the Mechanism of Spherical agglomeration in Water chapter 76 in: Fine Particles processing, 2P. Somasundaran (ed), AIME, New York, 1980.

[۵] Takmori T., Recent Study on Agglomeration – in Liquid in Japan, in: Powder Technology, k. Iioya, J.K. Beddow & G. Jimbo (eds.), Hemisphere Publishing corporation, Washington, D.C, pp. 634-1984.

[۶] Takamori T., Hirajima T., Tsunekawa M. & Otsuka A., Fundamental Studies on Agglomeration of Coal Water, Powder Technology, k. Iioya, J.K Beddow & G. Jimbo (eds.), Hemisphere Publishing corporation, Washington, D.C., pp.656-671, 1984.

[۷] keller Jr. D.V. & Burry W, An Investigation of a Separation Process Involving Liquid- Water- Coal Systems, Colloids and Surface, 22, pp.37-50, 1987.

[۸] Drzymala. J., Markuszewski. R. & Wheelock. T.D., Agglomeration with Heptane of Coal and Other Materials in Aqueous Suspensions, Ames Laboratory and Dept. of Chemical Engineeeing, Iowa State University, Ames, Iowa 50011, U.S.A, 1988.

[۹] Annual book of ASTM standards, vol 05.05, standard test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal, pp. 291-294, 1996.

[۱۰] Industrial Minerals and Handy Book III, 1998

[۱۱] Mengxiong G., The mechanism of adsorption of surface active molecules at coal surface, Mining Science and Technology, pp. 1292-1293, 1985.

[۱۲] Taguchi, G. System of Experimental Design, vol .1, KRAVS International Publication, 1987.

[۱۳] Taguchi, G. System of Experimental Design, vol.2, KRAVS International Publication, 1987.

[۱۴] Shahbazi B., Rezai B. and Koleini S. M. Javad, The effect of hydrodynamic parameters on probability of bubble-particle collision and attachment, Minerals Engineering, pp. 57-63, 2009.