

مطالعه و بررسی فنی و اقتصادی کاهش اثرات زیست محیطی پساب کارخانه زغالشویی

بهرام رضایی - ناصر مهرداد - سید جمال‌الدین نوحی

دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران،

کارشناس ارشد کارخانه زغالشویی (زیر آب)

چکیده

امروزه آلودگی محیط زیست به واسطه افزایش جمعیت و به تبع آن، افزایش فعالیتهای صنعتی و کاهش روزافزون ظرفیت منابع پذیرنده به پسماندهای صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در میان صنایع مختلف سالانه حدود ۷۰۰،۰۰۰ مترمکعب پساب از کارخانه زغالشویی زیرآب علاوه بر تلفات بالغ بر ۴۰۰۰ تن زغال به صورت نرمة به محیط زیست تخلیه می‌گردد. بررسیهای نیمه صنعتی بر مبنای نتایج حاصل از مقیاس آزمایشگاهی با استفاده مخزن ۲۰۰ لیتری بازیابی عملیات را تا ۸۸ درصد نشان می‌دهد که تقریباً با نتایج حاصل از مرحله آزمایشگاهی منطبق است. مطالعات انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی نشان می‌دهد که نه تنها می‌توان به روش تجمع‌سازی از جمله فلوکولاسیون، کواگولاسیون و یا فلوکولاسیون انتخابی به نتایج قابل توجهی دست یافت، بلکه بتوان آب با کیفیت مطلوب را به چرخه کارخانه وارد ساخت. مطالعات نیمه صنعتی نیز با استفاده از روش فلوکولاسیون به عنوان روشی برتر جهت بازیابی نرمة و فوق نرمة بسیار موفق بوده و منطبق بر نتایج بدست آمده در سطح جهانی می‌باشد. همچنین مطالعات مقدماتی اقتصادی نیز نشان می‌دهد که با چنین روشی می‌توان سالانه حدود ۴۵۰۰۰ تن نرمة زغال را بازیابی نمود که ارزشی معادل ۳۱۴،۵۸۰،۰۰۰ ریال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست محیطی، تصفیه پساب، فلوکولاسیون زغال، بازیابی نرمة های زغال، بررسی اقتصادی، کیفیت آب، تجزیه شیمیایی

۱- مقدمه:

زغال سنگ استخراج شده از معادن محتوی مواد زائد بسیاری می باشد که به همین منظور، جهت افزایش بازدهی کوره های فولادسازی از یک سو و کاهش اثرات زیست محیطی آن از سوی دیگر تحت عملیات زغالشویی قرار می گیرد، ولی در این مرحله نیز باطله های حاصل از عملیات زغالشویی به دلیل انتشار آلاینده ها به محیط، آلودگی های زیست محیطی وسیعی را به دنبال داشته است [۱]. چنین وضعیتی را در اکثر کارخانه های زغالشویی می توان به وضوح دید. درچنین تأسیساتی حجم زیادی آب مصرف می شود که پس از عملیات شستشو، این آب که به آب سیاه معروف است، محتوی مقادیر زیادی مواد معلق مانند انواع کانیها، نرمه های زغال، آنیونها، کاتیونها و مولکولها (بخصوص مشتقات نفتی) می باشد که چنانچه به همین وضع به چرخه کارخانه برگردد بازدهی فرآیند را کاهش داده و در صورت راهیابی به آبهای پذیرنده، باعث آلودگی آنها نیز می گردد. علاوه بر مسائل عنوان شده حجم بسیار زیادی از مواد باطله جامد نیز در کارخانه تشکیل می شود که در نتیجه، آبهای سطحی و زیرزمینی در اثر نفوذ پساب اسیدی و یا فلزات سنگین به شدت آلوده می شوند [۲،۳].

در سالهای اخیر به دلیل تولید ذرات بسیار ریز (ریزتر از ۱۰۰ میکرون) بازدهی روشهای متداول شستشوی زغال

به حدی کاهش یافته که در برخی موارد حتی به روش فلوئوتاسیون نیز نمی توان چنین ذراتی را بازیابی نمود و به موازات آن روشهای متعددی از جمله فلوکولاسیون، فلوکولاسیون

انتخابی، کواگولاسیون، آگلومراسیون کروی نفتی و میکروفلوئوتاسیون جهت بازیابی ذرات نرمه زغال و دیگر مواد موجود در پساب کارخانه ها گزارش شده است [۴، ۵، ۶ و ۷]. در کلیه روشهای یاد شده جذب بین ذرات و جمع آنها هنگامی امکان پذیر خواهد بود که نیروی دافعه الکترواستاتیکی بین ذرات از نیروی جاذبه واندروالس کمتر باشد. از آنجا که نیروی الکترواستاتیکی بین ذرات بیشترین نیروی دافعه بین ذرات را تشکیل می دهد، لذا با تنظیم و تعدیل این نیرو تا حدودی می توان به تجمع ذرات دست یافت. در کواگولاسیون، با افزایش الکترولیت های معدنی به سوسپانسیون می توان ذرات باردار پایدار را با کاهش پتانسیل سطحی ذرات و فشردگی دو لایه ای الکتریکی ناپایدار ساخت. معمولاً از کاتیونهای Al^{3+} و Fe^{+3} می توان برای ذراتی با بار منفی استفاده نمود. کاتیونهای Al^{3+} مؤثر از Ca^{2+} و Ca^{2+} مؤثرتر از Na^{+} هستند. سولفات آلومینیم (آلوم) و آهک نیز هنگامی که بار سطحی ذرات منفی باشد به عنوان کواگولان استفاده می شود ولی فسفاتها (متافسفات سدیم و یا کالگون) وقتی بار سطحی ذرات مثبت باشد، مورد استفاده قرار می گیرند [۸].

لیتر فقط از سرریز تیکنر موجود در کارخانه (منبع دیگری از پساب، باطله فلوتاسیون است که مورد مطالعه قرار نگرفته است) به مدت ۱۰ روز در نوبت‌های مختلف جمع‌آوری گردیده و پس از تهیه نمونه و فیلتر کردن، خشک گردیده است.

دانه بندی نمونه

میزان معینی نمونه توسط دستگاه دانه بندی لیزری و مدل ته نشینی نوری تجزیه و نتایج ذیل حاصل گردیده است:

- ۱- حدوداً ۹۰ درصد ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرون است.
- ۲- حدوداً ۸۰ درصد ذرات ریزتر از ۴۴ میکرون است.
- ۳- حدوداً ۴۰ درصد ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون است.
- ۴- حدوداً ۱۵ درصد ذرات ریزتر از ۱ میکرون است.
- ۵- با توجه به وضعیت دانه‌بندی، سوسپانسیون بسیار پایدار بوده [۸] و لازم است تا جهت افزایش سرعت ته نشینی و یا حذف چنین ذراتی از روشهای یاد شده استفاده شود.

مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD

مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD بر روی نمونه معرف نشان می‌دهد که کانیهای موجود به ترتیب فراوانی شامل کوارتز، کائولین، ایلیت، گوتیت، روتیل و زغال‌سنگ است که مقادیر محاسبه شده در جدول ۱ درج شده است.

در فلوکولاسیون نیز از فلوکولانهای طبیعی (مانند نشاسته) و مصنوعی (مانند پلی آکریل آمید) با زنجیر طویل و وزن ملکولی زیاد استفاده می شود. در این فرآیند نیز با جذب سطحی پلیمر بر روی ذرات و تشکیل توده‌های درشت‌تر می‌توان سرعت ته‌نشینی ذرات را افزایش داد [۹]. پراکنش ذرات قبل از تجمع از جمله مراحل مهمی است که در فلوکولاسیون انتخابی باید بدان توجه داشت.

در اگلومراسیون کروی نفتی نیز ابتدا به کمک سیلیکات سدیم، کربنات سدیم و پلی اکریلاتها، نرمه‌ها را متفرق می کنند، و سپس به طور انتخابی توسط کلکتور آبران می شوند و در مرحله نهایی به کمک مایع دیگری که محتوی توده های روغنی است، ذرات آبران طی مکانیزم پیوند پلی، توده های متشکل از نرمه و روغن را تشکیل می دهند. از چنین مکانیزمی علاوه بر نرمه‌های زغال، در مورد گرافیت، سولفید روی و قلع نیز استفاده شده است [۱۰].

دراین رهگذر نیز از روش فلوکولاسیون و فلوکولاسیون انتخابی جهت بازیابی و کاهش ذرات معلق در پساب کارخانه استفاده شده است که در بخش های مختلف این مقاله به شرح آن پرداخته می شود.

۲- مطالعات مقدماتی

نمونه برداری و آماده سازی نمونه

حدوداً بیش از ۱۰۰ نمونه به کمک استوانه نمونه گیر با گنجایش ۵۰۰ میلی

جدول ۱- نتایج حاصل از مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD

نوع کانی	کوارتز	کائولین	ایلیت	گوتیت	روتیل	زغال و دیگر مواد
درصد	۲۰	۱۴	۱۰	۳/۵	۲/۵	۵۰

تعیین خاکستر نمونه معروف

آزمایشات تعیین خاکستر نشان می‌دهد که حدوداً ۴۹ درصد نمونه را خاکستر تشکیل می‌دهد که مطالعات میکروسکپی، پتروگرافی و XRD نیز چنین نتایجی را تأیید می‌کند.

تجزیه شیمیایی نمونه معروف جدول ۲ نتایج حاصل از مطالعات XRF را نشان می‌دهد.

جدول ۲- آزمایشات XRF

عناصر	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	دیگر مواد
درصد	۲۲	۲۰	۳/۵	۲	۱/۵	۰/۵	۵۰/۵

تعیین نوع بار سطحی کانیها و پتانسیل سوسپانسیون

با توجه به pH (حدود ۸)، پتانسیل محیط پایدار (۴۵- میلی ولت) و جدول یک میتوان

بار سطحی مواد تشکیل دهنده سوسپانسیون را مطابق جدول ۳ تعیین نمود.

جدول ۳- نقطه بار صفر (ZPC) و وضعیت بار سطحی کانیها

نوع کانی	ایلیت	کوارتز	کائولین	روتیل	گوتیت	زغال
pH مربوط به نقطه بار صفر	۰-۱	۱/۸	۳/۲	۶/۷	۶-۷	۳/۵

با توجه به جدول ۳:

تا ضمن جلوگیری از گره شدن ذرات، از جدایش زنجیر پلیمری آن نیز جلوگیری شود.

۱- در pH سوسپانسیون طبیعی پساب ($pH \approx 8$) بار سطحی کلیه کانیها منفی می باشد.

۲- در $pH \approx 8$ می توان به کمک یک فلوکولان کاتیونی (پلی اکریل آمید) کلیه ذرات را به راحتی فلوکوله نمود.

۳- مطالعات تکمیلی

آماده سازی و مشخصات فلوکولان مصرفی از پلی اکریل آمید به عنوان فلوکولان با جرم ملکولی 10^6 استفاده شده است. حدود ۰/۵ گرم فلوکولان در یک لیتر آب سرد (در بشر دو لیتری) ریخته و به مدت ۳ ساعت مخلوط گردیده است. افزایش فلوکولان به آب سرد باید به نحوی باشد

جدول ۴- تغییرات غلظت فلوکولان نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

غلظت فلوکولان (g/lit)	خاکستر (%)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (%)
۰/۰۰۰۲۵	۱۵	کدر	۳۰
۰/۰۰۱۵	۳۸	عالی	۹۰
۰/۰۰۳	۳۰	خوب	۴۴
۰/۰۰۳۵	۳۲	تقریباً خوب	۴۰
۰/۰۰۴	۶	تقریباً کدر	۲۵

جدول ۵- تغییرات pH نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

pH	خاکستر (%)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (%)
۱۲	۴۴	عالی	۹۴
۸	۴۰	عالی	۹۳
۷	۴۰	عالی	۹۱
۶	۳۶	عالی	۹۰
۳	۳۲	عالی	۹۰

جدول ۶- تغییرات غلظت سیلیکات سدیم نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

غلظت سیلیکات سدیم (g/lit)	خاکستر (%)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (%)
۰/۰۱۰	۳۸	خوب	۹۲
۰/۰۲۰	۳۱	کم	۸۶
۰/۰۳	۲۴	تقریباً کدر	۷۵
۰/۰۳۵	۲۸	کدر	۸۰
۰/۰۰۵	۳۵	نسبتاً خوب	۸۹

جدول ۷- تغییرات دور همزن نسبت به میزان شفافیت سیال و بازیابی

دور همزن (g/lit)	خاکستر (%)	میزان شفافیت	بازیابی ذرات (%)
۵۰	۳۷	کم	۷۶
۱۵۰	۴۹	عالی	۸۵
۲۵۰	۴۰	خوب	۹۰
۳۰۰	۳۵	تقریباً خوب	۸۸

۴- مطالعات نیمه صنعتی

با توجه به مطالعات مقدماتی و تکمیلی در مقیاس آزمایشگاهی، از یک مخزن ۲۰۰ لیتری جهت آماده سازی محلول فلوکولان (پلی اکریل آمید کاتیونی) استفاده شده است. احداث حوضچه‌ای به حجم 1500 m^3 به منظور در برگرفتن پساب از دیگر مواردی است که در مقیاس نیمه صنعتی از آن استفاده شده است.

به طور کلی از آنجا که آب برگشتی به کارخانه زغالشویی ۵۰،۰۰۰ لیتر در ساعت محاسبه شده است، بنابراین ۰۰۰،۸۰۰ لیتر در روز و مصرف 0.015 g/lit فلوکولان (مطابق با شرایط بهینه حاصل از آزمایش) در محاسبات منظور گردیده است.

$$0.015 \text{ g/lit} * 16 \text{ h/d} * 50000 \text{ lit/h} = 1200 \text{ Kg}$$

۵- بررسی های اقتصادی

(محاسبات تقریبی بوده و در مقیاس صنعتی باید کلیه موارد در نظر گرفته شود)

الف - بازیابی زغال سالانه از سرریز تیکنر:

$$16 \text{ g/lit} \times 21/38 \text{ lit/h} \times 5000 \text{ (پساب)} \\ \Rightarrow 4490 \text{ t/y} \times 0/9 \Rightarrow 4041 \text{ t/y}$$

ب- مصرف پلیمر سالانه:

$$292 \text{ d/y} \times 16 \text{ h/d} \times 0/0015 \text{ g/lit} \times 5000 \text{ (پساب)} \\ \Rightarrow 350/400 \text{ kg/y (مصرف پلیمر سالانه)}$$

بنابراین به منظور بازیابی ۴۴۹۴ تن زغال در سال حدوداً ۳۵۰/۴۰۰ کیلوگرم پلیمر مصرف می گردد.

ج - مصرف پلیمر به ازای یک تن زغال:

$$t \text{ (زغال) / g (پلیمر)} = 77/97 \text{ t/y} = 4494 \text{ t/y} / 350/400 \text{ kg/y}$$

د- ارزش سالانه زغال:

$$\text{سال / ریال} = 580/314 \dots = 4494 \text{ t/y} \times 0/000070 \text{ ریال / تن}$$

ه- محاسبه هزینه سالانه خرید پلیمر

$$350/400 \text{ kg/y} \times 10 \text{ دلار / kg} \\ \text{سال / ریال} = 8/760 \times 0/000070 \text{ دلار / ریال} \times 3500 \\ 20/000/000 \text{ ریال نیز هزینه وسایل مورد نیاز و وسایل جنبی نیز به هزینه پلیمر اضافه می شود:} \\ \text{سال / ریال} = 87600000 + 20000000 = 107600000$$

بنابراین روزانه به ۱۲۰۰ گرم پلیمر جهت انجام عملیات فلوکولاسیون نیاز می باشد. ولی مطابق مشاهدات و آزمایشات انجام شده با ۰/۰۰۱۵ g/lit پلیمر می توان عملاً ۲ لیتر محلول پساب را تصفیه نمود بنابراین:

$$5000 \text{ lit/h} \times 16 \text{ h/d} \times 0/0015 \text{ g/lit} = 120 \text{ g/d}$$

بنابراین ابتدا یک گرم پلیمر را در یک لیتر آب به صورت محلول درآورده و سپس تا آنجایی رقیق می شود که غلظت آن به 10^{-5} g/lit * ۷۵ کاهش یابد. مخلوط سازی پلیمر با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه و حدود ۳ ساعت به طول انجامیده است. پس از آماده سازی محلول فلوکولان، توسط مجرای باریکی با دبی ۳ lit/min به مخزن 1500 m^3 جهت عملیات فلوکولاسیون وارد شده است. نمونه برداری از پساب تصفیه شده با استوانه های مخصوص ۵۰۰ ml و در زمانهای مختلف، بازیابی فرآیند را تا حدود ۸۸ درصد نشان داده است.

بنابراین از معادله زیر جهت بازیابی استفاده شده است: $R = Cc/Ff \times 100$ که در آن:

Ff: میزان نرمه موجود قبل از فلوکولاسیون $(15/2 \text{ g})$
 $R = 13/4 / 15/2 \times 100 = 86/66$
Cc: میزان نرمه موجود بعد از فلوکولاسیون $(13/4 \text{ g})$
 $R = 0/88$

ز- سود حاصل از عملیات فلوکولاسیون:

- ۰۰۰,۵۸۰,۳۱۴ قیمت زغال

ریال ۰۰۰,۸۲۰,۲۸۵ = ۲۸۷۶۰۰۰۰ هزینه ها

استفاده از مخزن ۲۰۰ لیتری بازیابی عملیات را تا ۸۸ درصد نشان می‌دهد که تقریباً با نتایج حاصل از مرحله آزمایشگاهی همخوانی دارد.

محاسبات تقریبی اقتصادی نیز نشان می‌دهد که کل هزینه‌های سالانه معادل ۰۰۰,۲۸,۷۶۰ ریال بوده و با توجه به قیمت سالانه زغال بازیابی شده که معادل ۰۰۰,۵۸۰,۳۱۴ ریال محاسبه گردیده رقمی معادل ۰۰۰,۸۲۰,۲۸۵ ریال سود حاصل از فروش زغال می‌باشد. شایان ذکر است، با تصفیه چنین پسابی علاوه بر سود بدست آمده می‌توان آب نسبتاً خالصی را به چرخه کارخانه وارد ساخت که بی‌شک در بهبود فرآیند، بخصوص مدار فلوکولاسیون بی‌تأثیر نیست. لذا در مقاله حاضر مشخص می‌گردد ضمن دستیابی به سود اقتصادی قابل ملاحظه، حفظ محیط زیست نیز میسر است.

۷- نتیجه و پیشنهادات

- ۱- مطالعات انجام شده بر روی پساب موجود در تیکر کارخانه نشان می‌دهد که شاید بتوان باطله فلوکولاسیون را نیز بدین ترتیب تصفیه نمود.
- ۲- با کنترل فلوکولاسیون تحت شرایط ذیل:

- غلظت فلوکولان: ۰/۰۰۱۵ g/lit

- pH: ۱۲

۶- تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به جدول ۴ به نظر می‌رسد که غلظت ۰/۰۰۱۵ g/lit فلوکولان مناسب باشد. دلیل کاهش شفافیت و بازیابی در غلظت‌های زیاد مطابق با نظریه بعضی از محققین [۱۱] پوشش بیش از حد ذرات توسط فلوکولان است و فرضیه اینکه نباید بیش از ۳۰ درصد ذرات توسط فلوکولان پوشیده شود در چنین وضعیتی مصداق پیدا می‌کند.

تغییرات pH (جدول ۵) یکی از مهمترین و اساسی ترین پارامترهای عملیاتی بوده زیرا در pH های بسیار اسیدی بار سطحی کلیه ذرات مثبت بوده و جدایش مطلوبی صورت نگرفته است.

پراکنده‌سازی ذرات قبل از فلوکولاسیون (جدول ۶) از پارامترهای کلیدی عملیات بوده زیرا باعث گردیده تا بطور انتخابی بتوان فلوکولاسیون را میسر ساخت. با توجه به جدول ۷ بنظر می‌رسد دور متوسط همزن (۱۵۰ دور در دقیقه) بهتر از دورهای بالا (به دلیل جدا شدن فلوکولان) و بهتر از دورهای پایین (عدم شرایط کافی جهت الصاق) باشد.

بررسیهای نیمه صنعتی بر مبنای نتایج حاصل از مقیاس آزمایشگاهی با

- ۴- غلظت سیلیکات سدیم به عنوان متفرقه: ۰/۰۱ g/lit
- دور همزن: (۱۵۰ rpm)
می توان ضمن دست یابی به بازیابی ۹۵ درصد ذرات معلق، ۴۹ درصد خاکستر را نیز از محیط عمل خارج ساخت.
- ۳- بازیابی آب و ورود مجدد آن به چرخه کارخانه از دیگر محسنات این روش است.
- ۵- محاسبات اقتصادی انجام شده صرفاً جنبه تقریبی داشته و لازم است تا عملیات نیمه صنعتی با تجهیزات مجهز تری صورت گیرد و در محاسبات کلیه پارامترهای اقتصادی در نظر گرفته شود.

مراجع

- ۱- بابک وقار و بهرام رضایی (۱۳۷۷) بررسی اثرات زیست محیطی ناشی از کارخانه های زغالشویی، سمینار ارشد - دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- 2- N. Berkowitz, (1994) An introduction to coal technology, Academic press limited. p.46-61-368 and 373.
- 3- D.L; Khoury (1981) Coal Cleaning Technology. Noyes, Data Corp: p.316-330
- 4- M.J.Pears and J.Barnet (1979) Chemical Treatments for Thickening and Filtration. 2th. World Filtration Congress. p. 460-465
- 5- P.Somasundaran (1982) Fine Particle Processing vol. 2p. 947-973 and 991-993.
- 6- D.M,Deason et al (1985) Selective Flocculation Process for Cleaning of Lignite, Lignite Utilization symp. Texas.
- 7- Y.Attia (1986) Selective Flocculation Cleaning Upper Free Port Coal with Polymeric Flocculant. Int. Symp. On Floc. In Biotech. And Sepn. System Sanfrancisco.
- 8- Rezai (1997) Flotation, Hormozgan uni. Pub. P. 266-284.
- 9- M.J. Pears and J.Barnet. (1979) Second World Filtration Congress. London. p. 460-465

- 10- C.E, Capes (1979) "Agglomeration" coal preparation by Leonard. 4th Edn . p. 10-105-10-113
- 11- T.W., Healy (1979) Principles of Dispersion and Aggregation of Mineral Fines. Beneficiation of Mineral Fines by P.Somasundaran and Arbiter S.M.E.p. 177-198