IMIDRO

IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT
AND RENOVATION ORGANIZATION

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

بررسی امکان افزایش راندمان و کارآیی جدایش نرمه های زغال (زیر ۱میلی متر) با روش بهینه سازی مدار سیکلون واسطه سنگین و پیشنهاد اصلاح فلوشیت مدار فعلی کارخانه در مقیاس آزمایشگاهی

(گزارش مدیریتی)

شماره قرارداد: ۲۶۸۶۶

مجری:

دکتر رحمان احمدی

عضو هیأت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

بهمن ۱۴۰۱

بسم الله الرحمن الرحیم

چکیده:

یکی از اهداف اصلی و اساسی هرکارخانه فراوری رسیدن به راندمان و بازیابی ایده ال طراحی می باشد که به دلیل تغییر ویژگیهای خوراک ورودی به کارخانه، فرسوده شدن تجهیزات یا دستگاه ها و طراحی نادرست مدار کارخانه معمولاً، این امر محقق نمی گردد. بخش قابل توجهی از ناکارآمدی و هدرروی های مشاهده شده در مدار کارخانه های زغالشویی، مربوط به فرآوری نرمه های زغال می باشد. در کارخانه زغالشویی شرکت ممرادکو، تغلیظ زغال به دو روش سیکلون واسطه سنگین و فلوتاسیون مکانیکی به ترتیب برای بازه ابعادی ۳۰-۰/۵+ و ۰/۵- میلیمتر انجام می شود. جهت بررسی عملکرد واحد پرعیارسازی، عملیات نمونه برداری با طراحی و ساخت تجهیزات نمونه گیری و تعیین نقاط نمونه برداری در دستور کار قرار گرفت. در این راستا، اقدامات اصلاحی در خصوص طراحی و ساخت سمپلرهای دستی پالپ و مواد جامد، رفع نقص و انجام تنظیمات مربوط به کاتر سمپلر اتومات خوراک ورودی انجام شد. نمونه ها از جریان های مختلف (تعداد ۱۱ جریان اصلی کارخانه) طی سه روز کاری کارخانه، پس از آموزش پرسنل و در زمان خوراکدهی زغال شرکت معدنجو برداشت و عملکرد مدارهای واسطه سنگین و فلوتاسیون (رافر و کلینر) در بازه های ابعادی مختلف کنترل و پایش گردید. کارایی مدارهای فلوتاسیون و واسطه سنگین به ترتیب با انجام آنالیزهای رهایی (Release Analysis) و غرق و شناورسازی (Sink & Float) بر روی نمونه معرف خوراک و مقایسه آن با شرایط واقعی دستگاه ارزیابی گردید. بر اساس نتایج بدست آمده، عملکرد کلی مدار فلوتاسیون مناسب بوده و میزان ۸۷/۳ درصد از راندمان تئوری محقق می شود. به دلیل وجود رس در خوراک ورودی، کارایی فلوتاسیون در ابعاد زیر ۷۵ میکرون پایین بوده است. علاوه براین، بر مبنای نتایج غرق و شناورسازی، مقدار Ep پایین ذرات زیر ۱ میلیمتر (۰,۱۸)، نشان دهنده عملکرد ضعیف سیکلون واسطه سنگین در جدایش این بخش از خوراک ورودی است. همچنین، نتایج نشان داد، با مقایسه انجام شده دو روش پرعیارسازی ثقلی و فلوتاسیونِ در بازه‌ی ابعادی ۰/۷-۰/۱۵+ میلیمتر خوراک زغال، افزایش ۷/۴ درصدی راندمان با روش های ثقلی کاملاً قابل توجه می باشد. شایان ذکر است کاهش بازه ابعادی خوراک فلوتاسیون از ۰/۵- به ۰/۱۵- میلی متر، در کیفیت جدایش تاثیرگذار بوده و افزایش بازیابی این بخش از ذرات را به همراه دارد. با جداسازی ذرات زیر ۱۵۰ میکرون خوراک فلوتاسیون و انجام آنالیز رهایی بر روی این بخش از ذرات، افزایش ۲۳ درصدی راندمان بدست آمد. البته با توجه به ریز شدن ذرات در فلوتاسیون و امکان افزایش خاکستر محصول تولیدی این بخش، نیاز است پارامترهای عملیاتی این بخش شامل ارتفاع کف، مصرف مواد شیمیایی، درصد جامد پالپ خوراک و ... بهینه گردد. بنابراین با افزایش بازیابی ذرات زیر ۰/۷ میلیمتر خوراک، امکان افزایش ۳ درصدی راندمان کارخانه وجود دارد. با توجه به بالاتربودن راندمان ثقلی ذرات ۰/۱۵+ میلیمتر خوراک نسبت به فرایند فلوتاسیون و همچنین پایین بودن کارایی سیکلون در ذرات زیر ۱ میلیمتر، امکان استفاده از تجهیزات مناسب شامل اسپیرال، سیکلون واسطه سنگین با قطر کوچک، تیتربد (TBS) و ... وجود دارد.

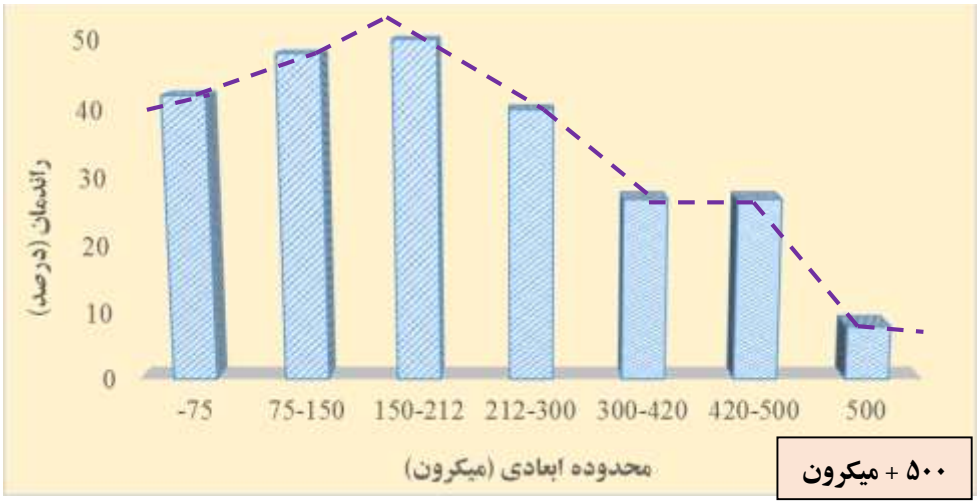
کلمات کلیدی: شرکت زغالشویی ممرادکو، زغالشویی، سیکلون واسطه سنگین، اسپیرال

«فهرست مطالب»

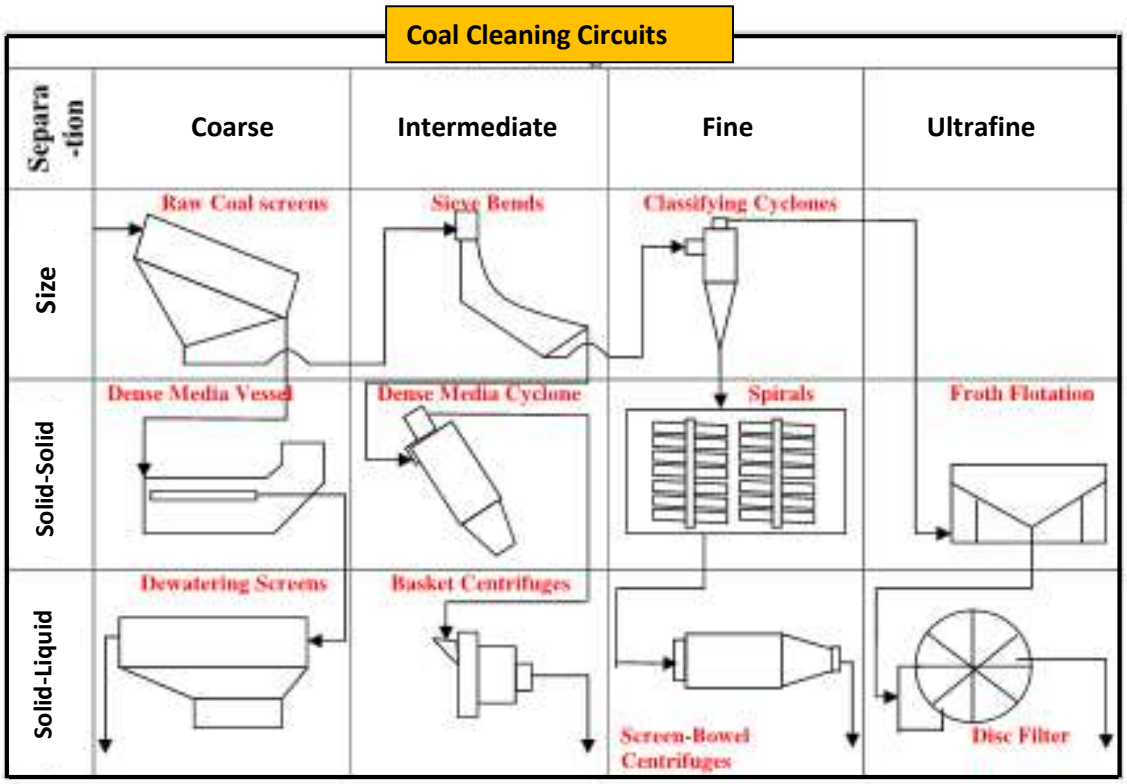
مقدمه ۵
اهداف طرح ۷
سابقه انجام پروژههای مشابه در سایر کشورها ۸
کارخانه زغالشویی ممرادکو ۱۰
اجرای طرح افزایش راندمان ذرات زیر ۱ میلی متر زغال در مقیاس آزمایشگاهی ۱۱
نتایج حاصل از فعالیت های آزمایشگاهی طرح ۱۳
توجیه انجام طرح (فنی و اقتصادی): ۱۳
میزان سود حاصل از اصلاح مدار کارخانه زغالشویی فعلی ۱۳
بررسی و ارزیابی اثرات و مزیت های اقتصادی جانبی اصلاح مدار زغالشویی فعلی ۱۳
کارایی جدایش ۱۴
مصرف کمتر مگنتیت ۱۴
مصرف کمتر مواد شیمیایی (کفساز و کلکتور) در فلوتاسیون ۱۴
نیاز به استفاده از سرندهای کوچکتر ۱۵
کاهش یا حذف حساسیت تجهیزات سایزبندی (ناشی از سایش قطعات) ۱۵
ساده شدن و بهبود آبگیری کنسانتره پایین دست ۱۶
انجام فرایند پایین دستی باطله اسپیرال با کسری از هزینه و دسترسی بسیار بالاتر ۱۶
مدار پیشنهادی جهت آرایش ابعاد زیر ۱ میلی متر ۱۷
فلوشیت اصلاحی کارخانه با اضافه شدن مدار جدید TBS و اسپیرال ۱۸
لیست تجهیزات اصلی: ۲۰
نتیجه گیری نهایی ۲۱
منابع ۲۲

مقدمه

کیفیت محصول کارخانجات زغال عموماً با میزان خاکستر محتوی ارزیابی می گردد. با افزایش تنها یک درصد خاکستر، تولید فولاد به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. خاکستر بالا، ضمن افزایش حجم سرباره، باعث افزایش اکسایش کک و کاهش کارایی و حساسیت کوره می گردد. بر اساس اهمیت ذکر شده در ارتباط با فرآیند حذف ناخالصی های همراه زغال، طراحی مدار صحیح زغالشویی با کارایی مناسب و بهینه سازی فرآیند مربوطه بسیار حائز اهمیت می باشد. با توجه به ابعاد درشت زغال استخراجی از معادن زیر زمینی و روباز، با هدف دستیابی به دانه بندی یکنواخت و درجه آزادی مناسب، در ابتدا، عملیات خردایش و طبقه بندی روی آن انجام می شود. خردایش توسط دستگاههای مناسب با در نظر داشتن تولید نرمه کم و طبقه بندی با هدف فرآوری هر محدوده ابعادی با روش خاص نظیر روش های ثقلی (جیگ، واسطه سنگین، اسپیرال) یا فلوتاسیون صورت می گیرد. امروزه با افزایش کارآیی جدایش روشهای ثقلی در فرآوری ذرات ریزدانه و اصلاح مدارهای مربوطه و هزینه کمتر این روشها نسبت به فرآیند فلوتاسیون، موجب شده توجه اکثر کارخانه های زغالشویی به این روشها جلب شود. از طرفی، علیرغم احتمال بالای برخورد ذرات درشت (بالای ۵۰۰ میکرون) به حباب ها در فلوتاسیون، به دلیل وزن زیاد این ذرات، احتمال جداشدن (detachment) آنها از حباب بالا و لذا بازیابی برای این محدوده ابعادی مطابق شکل ۱ کم و عموماً زیر ۱۵ درصد است. بنابراین، زغال پس از دانه بندی در مدارهای مختلفی نظیر شکل ۲ و ۳ پرعیارسازی می گردد.



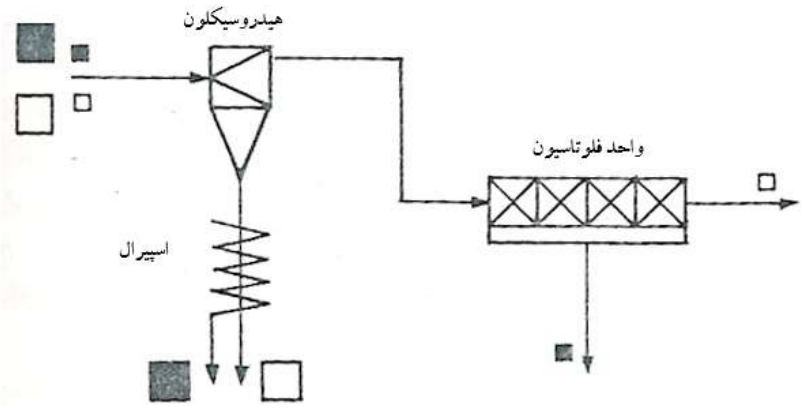
شکل ۱. راندمان فرآیند فلوتاسیون زغال در محدوده های ابعادی مختلف



شکل۲. فلوشیت های معمول پرعیارسازی زغال در دنیا

یکی از تجهیزات بسیار کاربردی ثقلی مورد استفاده در صنعت زغالشویی، اسپیرال ها هستند که در مقایسه با سایر اسپیرال های صنعت فرآوری، با گام کمتر طراحی شده اند. این تجهیزات، مناسب پرعیارسازی زغال در محدوده ابعادی ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ و حتی تا ۲۰۰۰ میکرون می باشند. از مزایای این دستگاهها، نصب و راه اندازی ساده، کنترل آسان، هزینه تعمیر و نگهداری پایین، فضای مورد نیاز کم و بویژه کارایی متالورژیکی مناسب تر در محدوده ابعادی زغال های ریزدانه می باشد. این تجهیز در ترکیب با جداکننده های ثقلی دیگر نظیر سیکلون واسطه سنگین، سیکلون فقط با آب، جداکننده با بستر بالا و پایین شونده استفاده می گردد. این امر، کارایی پایین جداکننده های سیکلون واسطه سنگین را در پرعیارسازی ذرات زیر ۱ میلی متر پوشش خواهد داد.

در کارخانه های زغالشویی که تنها از دو سیستم واسطه سنگین و فلوتاسیون (مانند کارخانجات فرآوری طبس از جمله شرکت ممرادکو) استفاده می گردد، وجود مقدار زیاد ذرات نابجا و ناخواسته در محصول و باطله بخش واسطه سنگین یا بخش فلوتاسیون (یا هر دو بخش) اجتناب ناپذیر می باشد. برای رفع این مشکل، تحقیقات کاربردی و فعالیت های عملیاتی در دنیا از چند سال پیش آغاز شده است. در این راستا، دستگاههای نوین نظیر جداکننده های بستر متلاطم (تیتر بد-TBS)، کلاسیفایر هیدروفلکس (Hydroflux classifier)، هیدروفلوت (Hydrofloat)، سلول فلوتاسیون ایمهوفلوت (Imhoflot G-cell) و جیگ های تحت فشار خطی (Inline pressure jigs) و یا روش های تلفیق و ترکیب جداکننده های ثقلی در دستور کار قرار گرفته است.



شکل۳. نرمه گیری خوراک مارپیچ توسط هیدروسیکلون و ارسال نرمه به بخش فلوتاسیون

کارخانه فرآوری زغال سنگ ممرادکو با هدف تولید سالیانه ۵۰۰ هزار تن کنسانتره زغال با راندمان ۵۵ درصد وخاکستر ۱۰/۵ درصد طراحی شده است. این واحد از سه بخش پذیرش زغال سنگ و سنگ شکنی، واحد پرعیارسازی و واحد آبگیری تشکیل شده است. با توجه به درصد قابل توجه و بالای ذرات زیر ۱ میلی متر در خوراک ورودی به کارخانه فرآوری زغال و کارایی پایین جداکننده واسطه سنگین در این محدوده ابعادی، لازم است مطالعات دقیقی در مقیاس آزمایشگاهی و مقیاس های بالاتر در خصوص امکان بهینه سازی مدار ثقلی سیکلون واسطه سنگین و همچنین اصلاح مدار با نصب اسپیرال-تیتربد برای محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر با توجه به مزیت های ذکر شده این سیستم، صورت گیرد. بر اساس تجارب موجود در دنیا، با امکان جایگزینی اسپیرال یا استفاده از سیکلون های واسطه سنگین با قطر کوچک و همچنین بهینه سازی مدار سیکلون، امکان افزایش راندمان وزنی برای محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر میسر می‌باشد.

اهداف طرح

از جمله اهداف مهم و نتایج قابل حصول طرح می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- موازنه جرم مدار کارخانه زغالشویی با هدف بررسی توزیع دقیق ذرات نرمه زیر ۱ میلی متر در جریان های مختلف، برآورد کیفیت و درصد بازیابی این محدوده ابعادی
- ارزیابی کارایی و راندمان فعلی مدار پرعیارسازی ثقلی- واسطه سنگین (سیکلون واسطه سنگین) در بازه ابعادی زیر ۱ میلی متر
- بهینه سازی پارامترهای مؤثر بر سیکلون واسطه سنگین با هدف دستیابی به بالاترین میزان بازیابی و راندمان و همچنین ظرفیت بیشینه مدار (ابعاد زیر ۱ میلی متر)
- بررسی فنی و اقتصادی اصلاح مدار فعلی و بکارگیری اسپیرال برای ابعاد زیر ۱ میلی متر در فراکسیون های مختلف ابعادی و بهینه سازی عملکرد اسپیرال

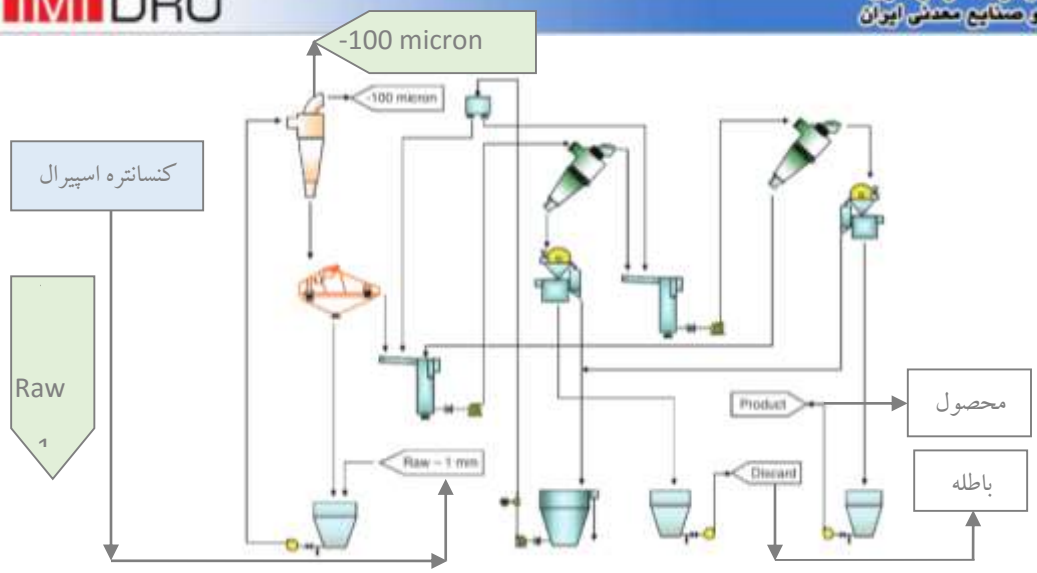
- انتخاب تجهیزات به همراه مشخصات معین و ارائه طرح مناسب جهت بهینه سازی و اصلاح مدار
- مقایسه فنی و اقتصادی نتایج بهینه سازی مدار سیکلون واسطه سنگین فعلی با طرح اصلاح مدار-نصب اسپیرال به همراه سیکلون واسطه برای محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر
- بررسی اثر بهینه سازی مدار سیکلون واسطه و اصلاح مدار بر میزان مصرف آب کارخانه زغالشویی، مصرف کلکتور و واسطه مگنتیتی

سابقه انجام پروژه‌های مشابه در سایر کشورها

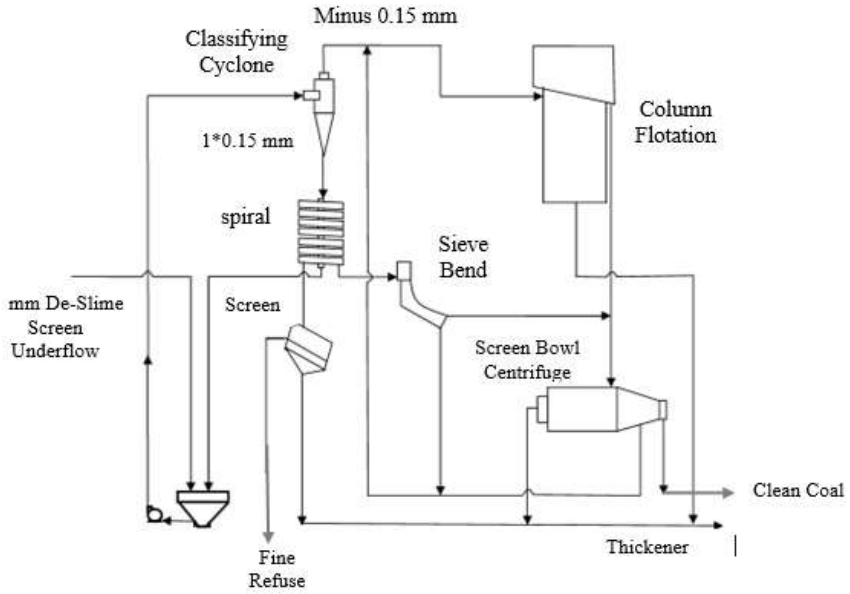
لیوپان کولیری (Leeuwpan colliery) در نزدیکی دلماس (Delmas) در استان پومالانگا (Mpumalanga) واقع شده و یکی از ۸ معدن منابع اکسارو (Exxaro) می باشد. در سال ۲۰۰۷ سیکلون نرمه با قطر ۸۰۰ میلی متر واسطه سنگین دو مرحله ای با ترکیبی از اسپیرال مطابق شکل ۴، با هدف تولید محصولی با کیفیت و راندمان بالاتر برای فرآوری نرمه های زیر ۱ میلی متر در این واحد راه اندازی شد. در این مدار، کنسانتره اسپیرال ها پس از نرمه گیری (ابعاد زیر ۱۰۰ میکرون) وآبگیری با مگنتیت مخلوط و به سیکلون واسطه اول پمپ می شود. سر ریز سیکلون واسطه اول به سیکلون واسطه دوم ارسال می گردد. سر ریز این مرحله کنسانتره نهایی مدار فرآوری نرمه زغال می باشد.

برای ذرات زیر ۱۰۰ میکرون زغال (۱۵ درصد خوراک ورودی) Kohmuench و همکاران اسپیرال های نرمه به همراه جداکننده تیتربد (TBS) را پیشنهاد داده اند. اما بطور کلی بر اساس نظر Honakar و همکاران، اسپیرال ها مطابق فلوشیت شکل ۵، جهت پرعیارسازی محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر بکار می روند. مطابق شکل ابعاد زیر ۱ میلی متر پس از نرمه گیری توسط هیدروسیکلون (جدایش زیر ۱۵۰ میکرون) وارد اسپیرال می شود. بخش فوق نرمه (Ultra-fines) به بخش فلوتاسیون ارسال می گردد.

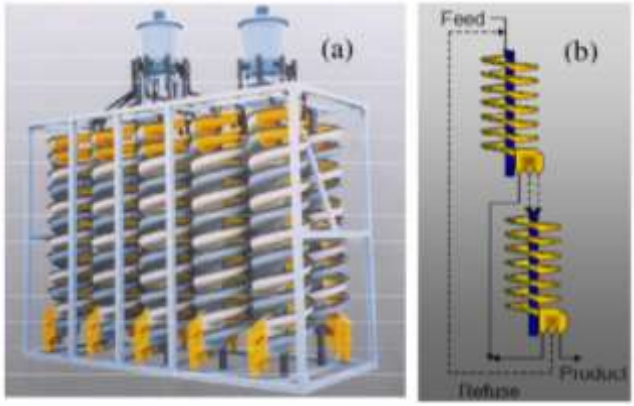
بر اساس نظر Burt، PalowitchT، Kapur و Meloy (۱۹۸۴-۱۹۹۹) اسپیرال ها یک جداکننده مناسب برای پرعیارسازی زغال نرمه در محدوده ابعادی ۳-۲ میلی متر و ۰/۱ میلی متر می باشند. در سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴ بر اساس تجارب تولید سالیانه و تلاش های توسعه ای توسط Luttrell و Bethell، اسپیرال یکی از مؤثرترین روش ها برای پرعیارسازی ذرات در محدوده ابعادی ۱ میلی متر تا ۰/۱ میلی متر معرفی گردید (شکل ۶).



شکل۴. فلوشیت مدار فرآوری بخش نرمه زغال زیر ۱ میلی متر درLeeuwpan



شکل۵. مدار فرآوری زغال نرمه توسط اسپیرال و فوق نرمه توسط فلوتاسیون



شکل۶. اسپیرال های سه گانه (شکل a) و اسپیرال های دو مرحله ای (شکل b)

علاوه بر این، جهت رفع مشکل اسپیرال ها، پیشرفت هایی با هدف کاهش SG50 و افزایش انتخابی بودن عملکرد با طراحی و کاربرد اسپیرال های SX7 توسط شرکت(Multotec Process Equipment Ltd of Spartan) Multotec آفریقای جنوبی صورت گرفته است. سوابق عملیاتی و اجرایی بسیار مطلوبی از این نوع اسپیرال توسط Barbara و همکارانش در سال ۲۰۰۴ در ایالات متحده آمریکا نظیر پنسیلوانیا، ویرجینیای غربی، کنتاکی، ویرجینیا و ایلینویز به همراه کاهش سولفور و خاکستر گزارش شده است. در این نوع اسپیرال مانند شکل ۷، دو اسپیرال پیچ کوتاه ۳+۴ بصورت سری در روی یک ستون معمولی اسپیرال قرار گرفته اند. این نوع اسپیرال به سرعت در حال افزایش کاربرد در کارخانجات فرآوری زغال برای ابعاد نرمه می باشد. مزیت هایی نظیر اسپیرال دو مرحله ای در یک دستگاه، کاهش هزینه در مقابل افزایش کارایی، فضای کم و کاهش هزینه سرمایه ای و بازیافت میدلینگ (میانی) به خوراک اولیه از جمله موارد دستگاه SX7 می باشد.

شکل۷. اسپیرال SX7 طراحی و نصب توسط شرکت Multotec Process Equipment Ltd of Spartan

ترکیب اسپیرال ها با سیستم های واسطه سنگین در ایالت پنسیلوانیای آمریکا در کارخانه PBS Coals , shade Coal برای بازیابی ذرات درشت و ریز زغال مورد استفاده قرار گرفته است. ظرفیت کارخانه ۶۰۰ تن بر ساعت است که در هر شیفت ۲۵۰۰ تن کنسانتره زغال تولید می نماید. همانگونه که ذکر شد علاوه بر اسپیرال ها، فلوشیت کارخانه شامل یک وسل واسطه سنگین Heavy Medium) (Vessel، یک سیکلون واسطه سنگین و هیدروسیکلون می باشد. دو سری از اسپیرال ها برای پرعیارسازی ته ریز هیدروسیکلون با قطر ۱۵ اینچ (ذرات نرمه زغال زیر ۱ میلی متر) و بقیه اسپیرال ها برای پرعیارسازی ته ریز هیدروسیکلون ۱۰ اینچ (زیر ۰/۳۷ میلی متر) بکار رفته اند. تحقیقی در این ارتباط توسط Zhuping Che در سال ۲۰۰۹ با هدف افزایش کارایی اسپیرال ها در دو محدوده ابعادی مذکور و ارائه راهکارهای عملیاتی صورت گرفته است.

کارخانه زغالشویی ممرادکو

کارخانه فرآوری زغال سنگ طبس (بعنوان نمونه: ممرادکو) با هدف تولید سالیانه ۵۰۰ هزار تن کنسانتره زغال با بازیابی ۵۵ درصد وخاکستر ۱۰/۵ درصد طراحی شده است. این واحد از سه بخش پذیرش زغال سنگ و سنگ شکنی، واحد پرعیارسازی و واحد آبگیری تشکیل شده است. خوراک ورودی به کارخانه پس از خردایش در یک سنگ شکن غلتکی، توسط سرند لرزان تر به دو محدوده ابعادی ۰/۵+۳۷/۵- میلی متر و ۰/۵- میلی متر تقسیم می گردد. محدوده ابعادی بالای ۰/۵ میلی متر جهت پرعیارسازی به مدار سیکلون واسطه سنگین و ابعاد کوچکتر از ۰/۵ میلی متر به واحد فلوتاسیون منتقل می گردند. مطابق جدول۱، حدود ۳۰ درصد از بار ورودی به سرند،

دارای ابعاد زیر ۰/۵ میلی متر می باشد. بدیهی است درصد ذرات با ابعاد زیر ۱ میلی متر در خوراک اولیه به مراتب بیشتر می باشد که از بازیابی و راندمان بسیار پایینی در بخش سیکلون واسطه سنگین برخوردار است.

جدول۱. مشخصات عملیاتی سرند ۰/۵ میلی متر در مسیر خوراک ورودی زغال

موارد	واحد	مقدار	
		ماکزیمم	مینیمم
نرخ خوراک زغال خام	تن بر ساعت	۱۵۰	
روی سرندی	تن بر ساعت	۱۳۹/۲۱	۱۱۴/۱۹
زیر سرندی	تن بر ساعت	۵۳/۶۹	۳۱/۸۰
اندازه ابعاد زغال	میلی متر	۳۷/۵	۰/۵
وزن مخصوص زغال ورودی	-	۱/۵۹	۱/۵۶

باطله سیکلون واسطه سنگین به دو بخش ۰/۵ -۱۰ میلی متر و ۱۰-۳۷/۵ میلی متر تقسیم می شود. باطله ۰/۵-۱۰ میلی متر بعنوان باطله درشت دانه بعد از آبگیری به دپوی باطله ارسال می شود. ابعاد ۳۷/۵-۱۰ میلی متر پس از خردایش مجدد وارد مدار می گردد. ذرات کوچکتر از ۰/۵ میلی متر همانگونه که ذکر شد، با روش فلوتاسیون با دو ردیف سلول مکانیکی پرعیارسازی می شوند.

با توجه به درصد قابل توجه و بالای ذرات زیر ۱ میلی متر در خوراک ورودی به کارخانه فرآوری زغال و کارایی پایین جداکننده واسطه سنگین در این محدوده ابعادی، در فاز ۱ پروژه، در مقیاس آزمایشگاهی مطالعات جامع و کاملی در ارتباط با بررسی عملکرد سیکلون واسطه سنگین فعلی، کارایی بخش فلوتاسیون، امکان تفکیک دانه بندی زیر ۱ میلی متر و استفاده از جداکننده ثقلی تیتربد-اسپیرال و فلوتاسیون بصورت ترکیبی برای پرعیارسازی این ذرات به همراه انتخاب تجهیزات و بررسی فنی و اقتصادی توسط دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) انجام گردید.

اجرای طرح افزایش راندمان ذرات زیر ۱ میلی متر زغال در مقیاس آزمایشگاهی

همانگونه که ذکر شد، بر اساس بررسی به عمل آمده، در کارخانه زغالشویی شرکت ممرادکو، تغلیظ زغال به دو روش سیکلون واسطه سنگین و فلوتاسیون مکانیکی به ترتیب برای بازه ابعادی ۳۰-۰/۵+ و ۰/۵- میلیمتر انجام می شود. جهت ارزیابی عملکرد واحد پرعیارسازی، عملیات نمونه برداری با طراحی و ساخت تجهیزات نمونه گیری و تعیین نقاط نمونه برداری در دستور کار قرار گرفت. در این راستا، اقدامات اصلاحی در خصوص طراحی و ساخت سمپلرهای دستی پالپ و مواد جامد، رفع نقص و انجام تنظیمات مربوط به کاتر سمپلر اتومات خوراک ورودی انجام شد. نمونه ها از جریان های مختلف (تعداد ۱۱ جریان اصلی کارخانه) طی سه روز کاری کارخانه، پس از آموزش پرسنل و در زمان خوراکدهی زغال شرکت معدنجو برداشت و عملکرد مدارهای واسطه سنگین و فلوتاسیون (رافر و کلینر) در بازه های ابعادی مختلف کنترل و پایش گردید. کارایی مدارهای فلوتاسیون و واسطه سنگین به ترتیب با انجام آنالیزهای رهایی (Release Analysis) و غرق و شناورسازی (Sink & Float) بر روی نمونه معرف خوراک و مقایسه آن با شرایط واقعی دستگاه ارزیابی گردید. شرح خدمات و فعالیت های انجام شده در مقیاس آزمایشگاه در جدول۲ آمده است.

جدول۲. فعالیت های انجام شده طرح در مقیاس آزمایشگاهی

ردیف	عناوین فازها	عناوین فعالیت‌های هر فاز
۱	بررسی سوابق (دنیا و ایران)	بررسی تحلیلی فعالیت ها و تجربیات اجرایی و عملیاتی در داخل و خارج کشور در ارتباط با مدارهای فرآوری زغال های نرمه و فوق نرمه با روش های سیکلون واسطه و تجهیزات پرعیاسازی جانبی
۲	عملیات نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها	استقرار در محل کارخانه زغالشویی با هدف نمونه برداری سیستماتیک از ابتدا تا پایان مدار حداقل در سه شیفت کاری جهت تهیه نمونه های معرف برای مطالعات شناسایی، آزمایش های مربوطه و تطبیق شرایط فعلی با شرایط زمان طراحی،نمونه برداری از ورودی و خروجی سیکلون جهت تعیین EP و کارایی دستگاه
۳	مطالعات و آنالیزهای شناسایی و موازنه جرم مدار کارخانه	موازنه جرم مدار کارخانه با استفاده از اطلاعات جریان های معین نمونه برداری شده، آنالیز دانه بندی
۴	آزمایش های مایع سنگین و غرق و شناورسازی	تعیین وزن مخصوص مشخص مایع سنگین، بررسی امکان دستیابی به بالاترین سطح راندمان و عیار زغال مقایسه نتایج آزمایشگاهی با راندمان فعلی مدار سیکلون واسطه سنگین و تحلیل نتایج و بررسی دلایل مربوطه
۵	مطالعات آزمایشگاهی و بهینه سازی مدار سیکلون واسطه سنگین	بررسی پارامترهای مؤثر بر عملکرد و راندمان سیکلون واسطه سنگین نظیر درصد جامد پالپ، جرم مخصوص واسطه، وزن مخصوص پالپ، فشار ورودی سیکلون، در محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر محدوده ابعادی ۱-۰/۵، ۰/۵-۰/۰+ و ۰/۳-۰/۱۵+ میلی متر بهینه سازی پارامترهای مؤثر با هدف دستیابی به بالاترین میزان عیار و راندمان در محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر
۶	آزمایش های پرعیارسازی با استفاده از جداکننده اسپیرال	آماده سازی نمونه برای انجام آزمایش های پرعیارسازی با جداکننده ثقلی اسپیرال در محدوده ابعادی زیر ۱ میلی متر، بررسی پارامترهای مؤثر بر اسپیرال (دبی ورودی، نرمه گیری، ابعاد ذرات) در جدایش ذرات زغال در محدوده ابعادی ۱-۰/۵، ۰/۵-۰/۳+ و ۰/۳-۰/۱۵+ میلی متر، تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش های اسپیرال
۷	مقایسه فنی و اقتصادی روش های بهینه سازی مدار سیکلون واسطه فعلی و روش اصلاح مدار با اسپیرال	تجزیه و تحلیل و بحث فنی روی نتایج بدست آمده، بررسی اقتصادی بهینه سازی مدار فعلی یا اصلاح مدار با اسپیرال برای ابعاد زیر ۱ میلی متر (غیر از خوراک فلوتاسیون)، محاسبه ارزش افزوده حاصل از انجام مطالعات
۸	بررسی و ارزیابی اثرات جانبی بهینه سازی مدار/اصلاح مدار	بررسی تحلیلی اثر بر کاهش مصرف آب مدار، بررسی تحلیلی اثر بر مقدار مصرف مواد شیمیایی (کلکتور و کف ساز)، بررسی تحلیلی اثر بر مقدار مصرف واسطه، بررسی نقش دستگاه و پارامترهای عملیاتی و مدیریتی و ارائه راهکار
۹	طراحی مدار و انتخاب تجهیزات (پمپ اسلاری، هیدروسیکلون، اسپیرال، مخازن و ...) جهت اجرا در مقیاس صنعتی	تعیین ابعاد نرمه گیری از خوراک ورودی به اسپیرال تعین مشخصات اسپیرال (تعداد پیچ، شیب پیچ ها، طول اسپیرال و...) و تعداد اسپیرال، انتخاب هیدروسیکون با توجه به ابعاد نرمه گیری (ظرفیت، قطر و سایر ابعاد) انتخاب پمپ های اسلاری و مشخصات مربوط به آن
۱۰	ارائه فلوشیت اصلاحی و تدوین گزارش نهایی	گزارش فنی و اقتصادی به همراه کلیه نتایج مربوطه

نتایج حاصل از فعالیت های آزمایشگاهی طرح

بر اساس نتایج بدست آمده، عملکرد کلی مدار فلوتاسیون مناسب بوده و میزان ۸۷/۳ درصد از راندمان تئوری محقق می شود. به دلیل وجود رس در خوراک ورودی، کارایی فلوتاسیون در ابعاد زیر ۷۵ میکرون پایین بوده است. علاوه براین، بر مبنای نتایج غرق و شناورسازی، مقدار Ep پایین ذرات زیر ۱ میلیمتر (۰,۱۸)، نشان دهنده عملکرد ضعیف سیکلون واسطه سنگین در جدایش این بخش از خوراک ورودی است. همچنین، نتایج نشان داد، با مقایسه انجام شده دو روش پرعیارسازی ثقلی و فلوتاسیونِ در بازه‌ی ابعادی ۰/۷- ۰/۱۵+ میلیمتر خوراک زغال، افزایش ۷/۴ درصدی راندمان با روش های ثقلی کاملاً قابل توجه می باشد. شایان ذکر است کاهش بازه ابعادی خوراک فلوتاسیون از ۰/۵- به ۰/۱۵- میلی متر، در کیفیت جدایش تاثیرگذار بوده و افزایش بازیابی این بخش از ذرات را به همراه دارد. با جداسازی ذرات زیر ۱۵۰ میکرون خوراک فلوتاسیون و انجام آنالیز رهایی بر روی این بخش از ذرات، افزایش ۲۳ درصدی راندمان بدست آمد. البته با توجه به ریز شدن ذرات در فلوتاسیون و امکان افزایش خاکستر محصول تولیدی این بخش، نیاز است پارامترهای عملیاتی این بخش شامل ارتفاع کف، مصرف مواد شیمیایی، درصد جامد پالپ خوراک و ... بهینه گردد. بنابراین با افزایش بازیابی ذرات زیر ۰/۷ میلیمتر خوراک، امکان افزایش ۳ درصدی راندمان کارخانه وجود دارد. با توجه به بالاتربودن راندمان ثقلی ذرات ۰/۱۵+ میلیمتر خوراک نسبت به فرایند فلوتاسیون و همچنین پایین بودن کارایی سیکلون در ذرات زیر ۱ میلیمتر، امکان استفاده از تجهیزات مناسب شامل اسپیرال، سیکلون واسطه سنگین با قطر کوچک، تیتربد (TBS) و ... وجود دارد.

توجیه انجام طرح (فنی و اقتصادی):

میزان سود حاصل از اصلاح مدار کارخانه زغالشویی فعلی

با توجه به اینکه ظرفیت خوراکدهی کارخانه زغالشویی شرکت ممرادکو ۷۵۰ هزارتن در سال می باشد، بنابراین میزان سود حاصل از افزایش ۳ درصدی راندمان به دلیل اصلاح فلوشیت کارخانه با نصب مدار TBS-Spiral قابل محاسبه است. میزان افزایش سالیانه تناژ کنسانتره زغال: ۷۵۰,۰۰۰ تن * ۳٪ = ۲۲,۵۰۰ تن

اگر قیمت هر تن کنسانتره زغال ککشو مبلغ ۳۸,۰۰۰,۰۰۰ ریال باشد، سود حاصل از فروش سالانه افزایش تولید کنسانتره معادل ۸۵۵۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود که رقم قابل توجهی می باشد. ۲۲,۵۰۰ تن * ۳۸,۰۰۰,۰۰۰ ریال=۸۵۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال

با توجه به افزایش ۲۲۵۰۰ تنی کنسانتره تولیدی در سال، ۸۵۵ میلیارد ریال سود حاصل از افزایش راندمان کارخانه زغالشویی به دلیل اصلاح مدار کارخانه با نصب مدار تیتربد- اسپیرال خواهد بود.

بررسی و ارزیابی اثرات و مزیت های اقتصادی جانبی اصلاح مدار زغالشویی فعلی

مزایای فرآوری ذرات ریز در محدوده ابعادی ۰/۱۵ تا ۱ میلی متر با روش ترکیبی ثقلی و فلوتاسیون در ادامه، بررسی شده است.

کارایی جدایش

کارایی جدایش اسپیرال در این بازه ابعادی نسبت به فلوتاسیون و HMS معمولی برتر است. همانطور که قبلا ذکر شد، کارایی جدایش در HMS با قطر بزرگ هنگام فرآوری ذرات زیر ۱-۲ میلیمتر زغال خروجی از معدن ROM[1] به شدت کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، کاهش بازیابی زغال‌سنگ در سلول‌های فلوتاسیون به ویژه ستون ها، برای مواد درشت تر از ۰/۳ میلی متر کاملا محرز می باشد. در این صورت، استفاده از اسپیرال منجر به افزایش کارایی مدار تغلیظ خواهد شد.

مصرف کمتر مگنتیت

در مدارهای واسطه سنگین از پودر مگنتیت برای به دست آوردن پالپ یا دوغاب با وزن مخصوص مورد نظر استفاده می‌شود که می‌توان آن را به دقت کنترل کرد تا جدایش مناسب در HMS بدست آید. این مگنتیت از سطح ذرات شسته می شود و در داخل مدار به گردش در می آید. ذرات مگنتیت معمولاً توسط سرند و با استفاده از آب شسته شده و با جدا کننده مغناطیسی بازیابی می‌شود. بنابراین:

- ✓ مقداری مگنتیت با محصولات تولیدی هدر می‌رود (در جریان کنسانتره و باطله). زیرا شستشو و بازیابی مگنتیت با راندمان ۱۰۰ درصد قابل انجام نیست. هرچه قدر ابعاد ذرات زغال سنگ ریزتر باشد، میزان چسبندگی مگنتیت روی ذرات بیشتر می‌شود (نصف شدن اندازه ذرات یعنی دو برابر شدن سطح آنها).
- ✓ برای شستشو و تغلیظ ذرات ریزتر زغال سنگ، نیاز است مگنتیت ریزتر مورد استفاده قرار گیرد. بازیابی مگنتیت ریزتر در جداکننده های مغناطیسی دشوارتر است. درنتیجه میزان هدرروی نیز به همان میزان، بالاتر خواهد بود. با توضیحات داده شده، استفاده از اسپیرال به دلیل عدم استفاده از واسطه جدایش منجر به کاهش مصرف مگنتیت می گردد.

مصرف کمتر مواد شیمیایی (کفساز و کلکتور) در فلوتاسیون

فلوتاسیون یک فرآیند فیزیکی- شیمیایی است که ذرات آبگریز (زغال سنگ) را از ذرات آبدوست (باطله) جدا می کند. این فرآیند به مواد شیمیایی کفساز[2] و گازوئیل[3] نیاز دارد. حضور ذرات درشت‌تر در خوراک فلوتاسیون نیاز مدار به مقادیر بیشتری از کلکتور را باعث می‌شود؛ زیرا این ذرات، در فاز کف بیشتر مستعد جدا شدن از حباب‌ها هستند (ذرات بزرگ‌تر به نسبت سطح واحد کوچک‌تری دارند و به همین دلیل به پیوند قوی‌تری با حباب‌ها نیاز دارند). اغلب اوقات مقدار مصرفی کف‌ساز نیز باید با افزایش ابعاد ذرات، افزایش یابد، زیرا مواد درشت‌تر کف‌های سنگین‌تری تولید می کنند که تمایل به فروپاشی یا راکد شدن دارند. کفساز باعث افزایش عمق کف و تحرک آن می شود و در نهایت اجازه می دهد تا از برگشت ذرات درشت تر به داخل پالپ جلوگیری شود.ذرات ریز به دلیل ویژگی‌های سطحی خود به سرعت کلکتور را جذب می کنند، این بدان معناست که ذرات درشت‌تر تنها پس از اشباع شدن ذرات ریز، مواد شیمیایی را جذب و لذا بازیابی آنها سخت تر است. بنابراین، به اپراتورهای ماهر جهت تنظیم پارامترها خصوصاً مقادیر مناسب مواد شیمیایی جهت فرایند فلوتاسیون حاوی ذرات درشت نیاز است. در غیر اینصورت، تلفات یا هدرروی زغال می‌تواند قابل توجه باشد.

[1] Run Of Mine
[2] Frother
[3] Collector

استفاده از کفساز زیاد باعث پایداری بیش از حد کف شده و راندمان مدارهای دیگر در کارخانه را کاهش می‌دهد (کاهش کارایی جدایش مدار واسطه سنگین به دلیل حضور کف در مخازن واسطه، کف کردن و تلفات فشار، از دست دادن مگنتیت در جداکننده های مغناطیسی، کاهش راندمان سرند کنی به دلیل انتقال ذرات ریز به جریان سرریز، کیفیت پایین‌تر آب و غیره).

بنابراین محدود کردن بازه ابعادی و حذف ذرات درشت بالاتر از ۱۵۰ میکرون از خوراک فلوتاسیون و تغلیظ آنها توسط اسپیرال منجر به کاهش مصرف مواد شیمیایی و افزایش کارایی جدایش مدارهای تغلیظ ریزدانه (اسپیرال) و خیلی ریز (فلوتاسیون) می گردد.

نیاز به استفاده از سرندهای کوچکتر

با توجه به اینکه با ریزتر شدن ذرات نیاز به سرند با ابعاد بالاتر (جهت افزایش راندمان و کارایی سرندها) ضرورت پیدا می کند، بنابراین، سطح سرندی مورد نیاز برای دانه بندی و جدایش ذرات در حدود ۱-۲ میلی‌متر (بجای ۰/۵ میلیمتر)، به شدت کاهش می‌یابد. اگر اندازه ذرات ۰/۵ میلیمتر باشد، به ظرفیت تخلیه نسبتاً بزرگتری هم در بالادست (سرندهای آماده سازی زغال سنگ برای جدایش و تامین خوراک فلوتاسیون و سیکلون واسطه سنگین) و هم در مدار واسطه سنگین برای تخلیه و شستن مگنتیت از محصولات نیاز می- باشد.

لذا، در مرحله طراحی کارخانه و در نظر گرفتن مدار اسپیرال (بین مدار فلوتاسیون و واسطه سنگین)، سرندها با ابعاد کمتر انتخاب می شوند و سرمایه گذاری اولیه کاهش می‌یابد. در کارخانه‌ای که استفاده از مدار اسپیرال برای اصلاح مدار قبلی در نظر گرفته می شود، با تغییر روزنه سرندهای آماده سازی خوراک، امکان افزایش ظرفیت مدار بدون تغییر ابعاد سرندها وجود دارد.

کاهش یا حذف حساسیت تجهیزات سایزبندی (ناشی از سایش قطعات)

بیشتر ذرات درشت‌تر از ۰/۵ میلی‌متر زغال که به فلوتاسیون ختم می‌شوند، به احتمال زیاد در باطله از دست می‌روند. یک کارخانه جدید زمانی کارآمد عمل می کند که تمام قطعات استفاده شده (به ویژه توری‌های سرند و روزنه) مطابق طراحی باشند. بدیهی است که خرید و تامین توری سرندهای دانه بندی که به درستی طراحی و تولید شده اند گران هستند؛ اما مدیران کارخانه همیشه به کاهش هزینه‌های جاری تاکید دارند. توری سرندها معمولاً قبل از تعویض تا حد مجاز فرسوده می‌شوند (و معمولاً با توری‌هایی جایگزین می‌شوند که مشخصات را برآورده نمی کنند) از این رو عملکرد کلی کارخانه به طور کلی ضعیف است. برخی از زغال‌های استخراجی را می‌توان با کارایی کمتری (مخصوصاً نرمه ها) و بدون به خطر انداختن عملیات تغلیظ شستشو داد. برای مثال، زغال‌های سخت که مقادیر کمی نرمه تولید می کنند، نیازی به جدایش بالای خط ندارند، زیرا اثرات آن نیز کم است (مقادیر کمی از نرمه در جدایش مناسب زغال‌سنگ تولید شده). در برخی موارد، نرمه‌ها در هنگام تولید زغال سنگ حرارتی به دلیل محتوای رس و رطوبت زیاد (ذاتی و سطحی) دور ریخته می‌شوند. این گزینه در مورد زغال‌های متالورژیکی شکننده مانند طبس و منطقه پروده که در آن مقادیر زیادی نرمه تولید می‌شود و ماسرال‌های راکتیو در اندازه‌های ریز متمرکز می‌شوند صدق نمی‌کند، راندمان پایین در شستشوی زغال‌سنگ ریز معمولاً منجر به تلفات بسیار زیاد می‌شود. بنابراین با اضافه شده مدار اسپیرال، حساسیت مدار فلوتاسیون (به دلیل عدم حضور ذرات درشت و کاهش هدرروی) و واسطه سنگین (به دلیل حضور ذرات ریز و افزایش ویسکوزیته) برطرف می گردد.

ساده شدن و بهبود آبگیری کنسانتره پایین دست

استفاده از فیلتراسیون دیسکی خلاء برای آبگیری کنسانتره فلوتاسیون و سایر فن‌آوری ها مانند سانتریفیوژهای سبدی برای آبگیری زغال سنگ درشت، معمول است. فیلترهای دیسکی به طور کلی با سانتریفیوژهای کاسه‌ای سرندی (SBC-Screen Bowl Centrifuge) جایگزین شده اند و برای آبگیری کنسانتره فلوتاسیون و اسپیرال کاملاً مناسب هستند. در واقع اگر این دو کنسانتره قبل از آبگیری مخلوط شوند، SBC عملکرد بهتری دارد. کنسانتره حاصل از اسپیرال قبلاً در سانتریفیوژهای نوع سبدی آبگیری می شدند، اما فناوری SBC در آبگیری این کسر اندازه بسیار برتر است. SBC همچنین در مقایسه با فیلترهای خلاء، رطوبت سطحی بسیار کمتری را برای کنسانتره فلوتاسیون به دست می‌آورد. نتیجه این است که زغال سنگ درشت‌تر را می‌توان با سانتریفیوژهای سبدی آبگیری کرد. گاهی اوقات فیلتر پرس‌ها به جای SBC در آبگیری زغال سنگ تمیز نصب می‌شوند. فیلتر پرس‌ها می‌توانند رطوبت سطحی پایین‌تری را به دست آورند، اما به طور کلی نصب و کارکردن آنها گران‌تر است. فیلترها همچنین در حالت ناپیوسته عمل می‌کنند که به تجهیزات اضافی برای تولید جریانی شبیه به کیک آب‌گیری شده‌ی پیوسته نیاز دارد تا با زغال سنگ درشت‌تر حاصل از سایر مدارها مخلوط شود. فیلتر پرس‌ها برای آبگیری ترکیبی از کنسانتره فلوتاسیون و کنسانتره اسپیرال کاملاً مناسب هستند، اما ذرات درشت تر باید در حالت تعلیق نگه داشته شوند (عملیات ناپیوسته) و لوله کشی به فیلتر باید طوری طراحی شود که از ته نشین شدن این ذرات جلوگیری کند. بنابراین حضور ذرات درشت حاصل از تغلیظ مدار اسپیرال در خوراک فیلترپرس کنسانتره و ترکیب با کنسانتره مدار فلوتاسیون، فرایند آبگیری کنسانتره ریزدانه بهبود می‌یابد.

انجام فرایند پایین دستی باطله اسپیرال با کسری از هزینه و دسترسی بسیار بالاتر

باطله های فلوتاسیون عموماً دارای محتوای جامد کم هستند و به سمت تیکنر باطله جریان می یابند. مواد شیمیایی (فلوکولانت) برای بهبود ته نشینی جامدات اضافه می شوند، سپس دوغاب غلیظ یا دور ریخته می‌شود (به حوضچه باطله پمپاژ می شود) و بخشی از آب بازیابی می شود یا به طور کامل معمولاً با فیلترها، برای بازیابی آب بیشتر آبگیری می شود. ذرات درشت تر در هر دو فرآیند (رسوب گذاری و فیلتراسیون) یک مشکل هستند.

عملیات ته نشینی: ذرات درشت تر مواد باطله باید به خوبی با ذرات کوچکتر لخته شوند تا غلظت بالایی در تخلیه حاصل شود و بدون مشکل در تیکنر و مسیر لوله کشی به حوضچه های آبگیری حمل شوند. خوراک کارخانه و در نهایت تیکنر ثابت نیست و در نتیجه مواد شیمیایی باید کنترل شوند. این ممکن است مشکلی به نظر نرسد، اما اشتباهات کوچک، به عنوان مثال عدم بازیابی زغال در فرایند فلوتاسیون برای چند دقیقه، منجر به افزایش ناگهانی تناژ به تیکنر با دوز ناکافی فلوکولانت و جدانشینی ذرات درشت و ذرات ریز می شود. در نهایت، اگر این ماده به سرعت تخلیه نشود، مقدار زیادی از ذرات درشت در نزدیکی محل ورود خوراک رسوب کرده و ته ریز تیکنر با انسداد و از دست دادن تولید همراه خواهد بود. مسدود شدن تیکنر بسیار پرهزینه است. اگر فقط ذرات ریزتر (مثلاً ۰/۲ میلی‌متر) وارد تیکنر شوند، احتمال مسدود شدن آن بسیار کاهش می‌یابد. حتی اگر غلظت دوغاب به‌دست‌آمده با ذرات ریزتر زیاد نباشد، می‌توان آن را به راحتی و با حاشیه‌های خطای کمتر کنترل کرد. اگر به هر دلیلی، دوغاب باید به حوضچه های ته نشینی پمپ

شود، تلفات آب به نصف کاهش می یابد. بعنوان نتیجه کلی، آبگیری مواد تا ۰/۵ میلی متر، منجر به مصرف بیشتر مواد شیمیایی برای ته نشینی می شود، ضریب دسترسی کارخانه کمتر است و به هزینه سرمایه گذاری بسیار بالاتر برای فرایند فیلتراسیون و تامین آب نیاز است.

عملیات فیلتراسیون: اگر ذرات درشت و ریز به درستی با هم لخته نشوند، فیلتراسیون دشوارتر و گاهی غیرممکن می شود. دوغاب های رقیق تر خوراک به ظرفیت بیشتری نیاز دارند (حجم بیشتری باید برای همان تناژ فیلتر شود) و هزینه به سرعت در فیلتراسیون باطله افزایش می یابد.

برای آبگیری باطله اسپیرال استفاده از سرند کاملاً مناسب است. این سرندها به طور ویژه برای دستیابی به رطوبت سطحی تقریباً ۲۵٪ یا کمتر با این نوع مواد طراحی شده اند. این رطوبت اجازه می دهد تا کیک سرند آبگیری مستقیماً روی نوار نقاله منتقل و تخلیه شود. نتیجه این است که یک سرند ساده جایگزین تیکنر، پمپ‌های تیکنر و لوله‌کشی، مخزن بافرتانک فیلتر و پمپ‌ها و لوله‌کشی مرتبط و در نهایت نوار نقاله جمع آوری کیک فیلتر (برای کسر اندازه پردازش شده) خواهد شد. درست است که فیلتر پرس ها می توانند رطوبت بسیار کمتری را برای کسر اندازه یکسان بدست آورند، اما بسیاری از اوقات هزینه های مربوطه توجیه پذیر نمی باشد. اگر مصرف آب برای پروژه حیاتی باشد، باطله های اسپیرال را می توان با سانتریفیوژهای سبدی به سطوح رطوبت بسیار پایین تری آبگیری کرد. این فناوری هنوز هم برای نصب و راه اندازی بسیار ارزان تر است و همچنین مهم است که عملیات می تواند در مواقع اضطراری به سادگی با Bypass سانتریفیوژ برای مدت محدودی با مزایای آشکار ادامه یابد.

مدار پیشنهادی جهت آرایش ابعاد زیر ۱ میلی متر

در مدار واسطه سنگین برای بالا بردن کارایی سیکلون جهت آرایش ذرات زیر ۱ میلیمتر زغال به دلیل قطر بالای سیکلون (۹۰ سانتیمتر) امکان بهینه سازی وجود ندارد. علاوه براین، هدرروی ذرات ریز در مدار فلوتاسیون را می‌توان تنها با کاهش محدوده ابعادی ذرات خوراک در سلولهای مکانیکی (از ۰/۵-۰ میلیمتر به ۰/۱۵-۰ میلیمتر) کاهش داد، بطوریکه بخش کمتری از خوراک کارخانه توسط مدار فلوتاسیون که مشکلات و پیچیدگی های عملیاتی زیادی دارد، پرعیار گردد. از طرفی، استفاده از فرآیندهای ثقلی برای ذرات درشت تر از ۰/۱۵ میلیمتر خوراک، علاوه بر سادگی و کنترل راحت‌تر تنظیمات، منجر به کاهش گوگرد (گوگرد پیریتی) در محصول می گردد. بنابراین، جهت اصلاح مدار کارخانه و افزایش کارایی آن، دو طرح قابل اجرا می باشد:

۱- مدار جدید با ترکیبی از TBS و اسپیرال به ترتیب بعنوان رافر و کلینر.

۲- مدار جدید با دو مرحله اسپیرال (یک مرحله رافر و یک مرحله کلینر).

با توجه به اینکه کلیه تنظیمات اسپیرال‌ها به صورت دستی می‌باشد و از طرفی جدایش ذرات در این تجهیزات در دانسیته بالاتر از ۱/۸ گرم بر سانتیمتر مکعب انجام می‌شود، مداری متشکل از TBS و اسپیرال مناسب‌ترین نتایج را با هزینه منطقی به همراه خواهد داشت. با توجه به خواص زغال سنگ طبس و تنوع خوراک ورودی، فلوشیت پیشنهادی،کارایی کارخانه زغالشویی شرکت ممرادکو را در آرایش زغال سنگ ریز و درشت با مزایایی از نظر کیفیت محصول و بازیابی، بسیار بهبود خواهد بخشید. ترکیبی از TBS و اسپیرال

برای شستن زغال‌های متالورژیکی و دستیابی به خاکستر کم در بازیابی بهینه استفاده می‌شود. این راه حل برای زغال های سخت شستشو مانند زغال سنگ طبس به شدت کمک کننده خواهد بود. برای به حداکثر رساندن کارایی مدار با هزینه مناسب، استفاده از اسپیرال ترکیبی دو مرحله ای برای آرایش مجدد زغال سنگ تمیز خروجی از TBS پیشنهاد می‌شود. این ترکیب اجازه می دهد تا مواد ریزتر با چگالی کمتری جدا شوند. مرحله کلینر اسپیرال، دانسیته جدایش کلی را کاهش می‌دهد، حتی اگر جداسازی در مرحله اول با دانسیته نسبتاً بالاتری انجام شود. اسپیرال‌ها نوع متفاوتی از جداسازی را ایجاد می کنند و مواد ریز با چگالی کمتر جدا می‌شوند. لذا، ذرات درشت زغال سنگ تولید شده از TBS عملاً تحت تأثیر قرار نمی گیرند، در حالی که بهبود قابل توجهی در مواد ریز اتفاق می‌افتد که شستشوی ابعاد مذکور در TBS دشوار است.

فلوشیت اصلاحی کارخانه با اضافه شدن مدار جدید TBS و اسپیرال

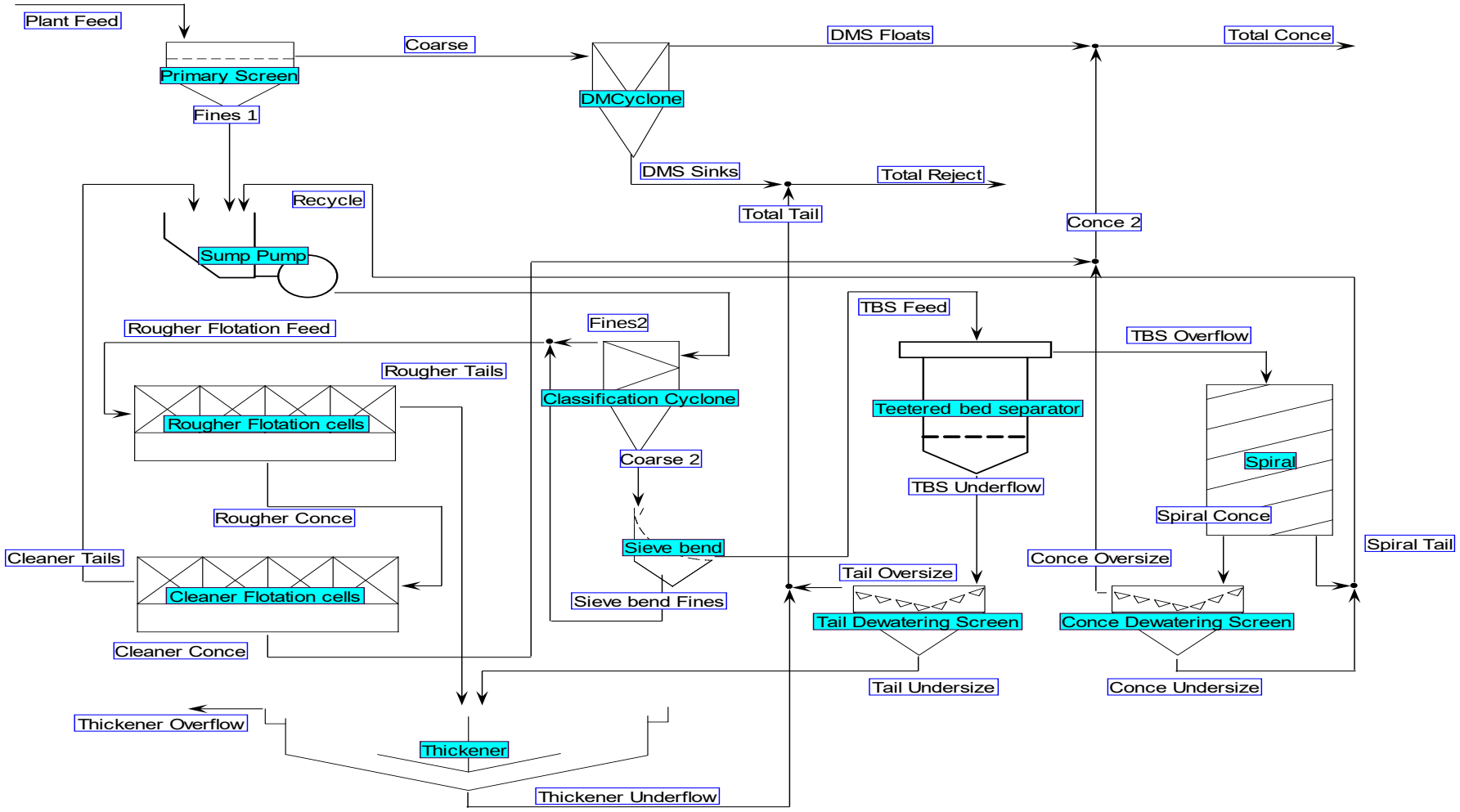
نمودار جریان فرآیند اصلاح شده کارخانه در ادامه، ارائه شده است. فلوشیت مربوطه، مدار TBS و Spiral را به عنوان یک مدار کمکی و تکمیلی به کارخانه اصلی نشان می دهد. در طرح اصلاحی مدار، جدایش ابعادی ذرات در سرند آماده سازی موجود برای نرمه های زغالسنگ از ۰/۵ میلیمتر به ۱ میلیمتر تغییر کرده است. بخش ابعادی زیر ۱ میلیمتر در مخزن موجود جمع آوری و با پمپ موجود خوراک فلوتاسیون، به مدار جدید TBS و اسپیرال منتقل می‌شود. این مدار در حد فاصل بین مدار فلوتاسیون و واسطه سنگین نصب خواهد شد. حذف نرمه توسط هیدروسیکلون نصب شده در مدار جدید و برای جداسازی و تأمین خوراک فلوتاسیون انجام می گردد. سرریز سیکلون‌ها (ذرات کمتر از ۰/۱۵ میلیمتر) توسط نیروی گرانشی به سمت مخزن آماده سازی خوراک فلوتاسیون هدایت و به سلول‌های فلوتاسیون خوراک دهی می‌شود. با توجه به پایین بودن راندمان هیدروسیکلون‌ها و قرارگیری بخش کمی از ذرات نرمه (کمتر از ۰/۱۵ میلیمتر) در جریان ته‌ریز، این جریان قبل از خوراکدهی به TBS، توسط سرند قوسی نرمه‌گیری می‌شود. ذرات عبوری از سرند به صورت ثقلی به خوراک مدار فلوتاسیون اضافه شده و جریان روسرندی به TBS منتقل و به عنوان خوراک این دستگاه در نظر گرفته می شود.

ته ریز یا باطله TBS توسط یک شوت یا لوله به سرند آبگیری هدایت و پس از کاهش رطوبت سطحی ذرات در نهایت به نوار نقاله انتقال باطله موجود در کارخانه تحویل می گردد. TBS در این مدار در سیستم رافر قرار دارد و کنسانتره تولیدی این بخش به جداکننده اسپیرال که بعنوان کلینر در نظر گرفته شده است، انتقال می یابد. باطله اسپیرال به همراه باطله TBS توسط سرند فرکانس بالا، آبگیری می‌شوند. برای آبگیری کنسانتره اسپیرال نیز ۲ راه حل وجود دارد:

۱- استفاده از مخزن و پمپ و انتقال پالپ کنسانتره به سانتریفیوژ سبدی موجود (در صورتیکه روزنه سبد کمتر از ۰/۱۵ میلیمتر باشد).

۲- استفاده از سرند فرکانس بالا مشابه سرند استفاده شده برای آبگیری باطله.

جریان میانی اسپیرال نیز به صورت ثقلی به مخزن خوراکدهی هیدروسیکلون ها اضافه شده و به صورت بار درگردش قرار می گیرد.



شکل ۸ فلوشیت پیشنهادی و اصلاحی کارخانه زغالشویی ممرادکو با نصب TBS و اسپیرال

لیست تجهیزات اصلی:

لیست تجهیزات اصلی مورد نیاز کارخانه که بر اساس فلوشیت و موازنه جرم تهیه شده است در جدول زیر قابل مشاهده است. داده های ارائه شده در لیست تجهیزات عبارتند از: نام تجهیزات، اطلاعات فنی مختصر (نوع و اندازه).

جدول ۳: لیست تجهیزات مدار اصلاحی کارخانه زغالشویی شامل تیتربد- اسپیرال

تجهیزات	نوع و اندازه/ابعاد
Raw Coal Desliming Cyclones Cluster	2+1 Places, Carbon Steel rubber lined Shore 65, Overflow Launder, Underflow Launder, Steel Structure
Raw Coal Desliming Cyclone A	15" Alumina Lining
Raw Coal Desliming Cyclone B	15" Alumina Lining
Raw Coal Desliming Cyclone C	15" Alumina Lining
Sieve Bend Screen	Wedge Wire Screen-Approx Assembly Dimensions (width*depth*height mm) 2040*1400*2100
Rougher Stage Teetered Bed Separator	Capacity; 80 t/h
Teetered Bed Discharge Chute	Painted Carbon steel Thickness 6mm, Rubber Lined Shore 65
Cleaner Stage Spirals Bank	Spiral Bank (4 Installed+2 available space) Spirals Product Launder, Spirals Middling Launder, Spirals Reject Launder, Distributor, Carbon steel rubber lined
Cleaner Stage Spiral A	3 Start, 7 turn (rougher/cleaner)
Cleaner Stage Spiral B	3 Start, 7 turn (rougher/cleaner)
Cleaner Stage Spiral C	3 Start, 7 turn (rougher/cleaner)
Cleaner Stage Spiral D	3 Start, 7 turn (rougher/cleaner)
Cyclones O/F Slurry Tank	Effecitve Volume 32,9 m3, Max Volume 54,3m3, Painted Mild steel Thickness 6mm, FRP lined 6 mm
Desliming Cyclone Overflow Slurry Pump	Horizontal Centrifugal Pump, Rated Flow 665 m^3/h, Max Flow 850 m^3/h, Total Delivery Head 25 (m), Model 10/8, Impeller & Casing Material High Chrome
TBS water tank	Effecitve Volume 9 m^3, Max Volume 10 m^3 , Painted Mild steel Thickness 6mm, Internal surface coated by Epoxy Base Paint.
TBS Fluidification Water Pump	Horizontal Centrifugal Pump, Rated Flow 85 m^3/h, Max Flow 150 m^3/h, Total Delivery Head 10 (m), Model 4/3, Impeller & Casing Material High Chrome
Concentrate Dewatering Screens	Vibrating Screen, Screeining area 5,6m^2,deck dimension 1,5 x 3,6 m, 6 poles motors, TeePee Panels installed

Vibrating Screen, Screeining area 5,6m2,deck dimension 1,5 x 3,6 m, 6 poles motors, TeePee Panels installed	Tail Dewatering Screens
Carbon steel rubber lined Shore 65 10 mm	Dewatering Screens Feed Box*2
Carbon steel rubber lined Shore 65 10 mm	Dewatering Screens Underpan*2
Carbon steel, Lining Tivar 1000	Dewatering Screens Discharge Chute*2
Material handled 30 t/h, 0.15 to 1 mm, Belt width 900mm, Belt speed 1m/s	Reject Belt Convejor
Carbon steel, Lining Tivar 1000	Reject Belt Conveyor Discharge Chute
Material handled 30 t/h, 0.15 to 1 mm, Belt width 900mm, Belt speed 1m/s	Concentrate Belt Convejor
Carbon steel, Lining Tivar 1000	Reject Belt Conveyor Discharge Chute
Sump Pump, Design Flow 75 m3/h, Total Delivery Head 13 mcl, Discharge DN 65, Shaft lenght 900 mm	Floor Sump Pump
Sump Pump, Design Flow 75 m3/h, Total Delivery Head 13 mcl, Discharge DN 65, Shaft lenght 900 mm	Spiral Middlings, Rejects and Screen Underflow Floor Slurry Pump
100 x Size 305 x 305 x 30 mm, aperture 0.035x8 mm	Polyurethane panels- TeePee Panels

نتیجه گیری نهایی

- فرایندهای ثقلی به دلیل سادگی عملیات و پایین بودن خطای جدایش، عملکرد بهتری نسبت به فلوتاسیون در بازه های ابعادی درشت (۰/۱۵+ میلیمتر) دارند. بنابراین، استفاده از تجهیزاتی نظیر اسپیرال، تیتربد (TBS)، ریفلاکس کلاسیفایر (RC)، سیکلون واسطه سنگین با قطر کم برای تغلیظ ذرات ۰/۷-۰/۱۵+ میلیمتر خوراک، منجر به افزایش ۳ درصدی راندمان کارخانه خواهد شد. شایان ذکر است با اضافه شدن مدار سوم، انعطاف‌پذیری کارخانه برای تولید محصولی با کیفیت و بازیابی بالاتر، امکانپذیر می گردد.
- با توجه به افزایش ۲۲۵۰۰ تنی کنسانتره تولیدی در سال، ۸۵۵ میلیارد ریال سود حاصل از افزایش راندمان کارخانه زغالشویی به دلیل اصلاح مدار کارخانه با نصب مدار تیتربد- اسپیرال خواهد بود.

منابع

Yang, Meng, "*Evaluation of ultrafine spiral concentrators for coal cleaning*" (2010). Graduate Theses, Disser tations, and Pr oblem Reports. 2126. https://researchrepository.wvu.edu/etd/2126.

Che, Zhuping, "*Application and evaluation of spiral separators for fine coal cleaning*" (2009). Graduate Theses, Disser tations, and Problem Reports. 2064. https://researchrepository.wvu.edu/etd/2064.

Seyed Hassan Amini, *ultra-clean coal production using Dense Medium separation for the silicon market*, Master's Thesis, University of Kentucky, 2014.

Vicky van Schalkwyk, *The evaluation of ultra-fine coal treatment options at the western coal complex*, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, 2011.

GJ de Korte, *Fine Coal Processing with Dense-Medium Cyclones*, Fine Coal Symposium "Challenges in Fine Coal Processing, Dewatering and Disposal" to be held by the Coal Preparation Society of America, Pittsburgh Section Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., and Pittsburgh Coal Mining Institute of America in Pittsburgh, USA from 23 – 25 October 2012.

by M. Lundt and G.J. de Korte, *Leeuwpan fine coal dense medium plant*, The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol (110), 2010.

Jiang Chen, *Dense Medium Cyclone: from fundamental simulation to process application*, A thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Science, The University of New South Wales March 2014.

- رضایی، بهرام، تکنولوژی زغالشویی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۴.
- بنیسی، صمد، کازرانی نژاد، رضا، جاوری، محمد، "بهینه سازی عملکرد مدار فلوتاسیون-مارپیچ کارخانه زغالشویی زرند"، پایان نامه کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷.