Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره سیزدهم، شماره سه، پاییز ۹۰

بررسی تولید باطله خمیری درکارخانه فرآوری طلای آق دره و اثرات زیست محیطی آن

سجاد حقیرچهره‌قانی[۱]

حجت حسین‌زاده[۲]

رضا سمیعی فرد[۳*]

r_samifard@yahoo.com

عارف علیپور[٤]

تاریخ دریافت:۸۷/۴/۸ تاریخ پذیرش:۸۷/۷/۳۰

چکیده

افزایش حجم باطله‌های تولیدی، لزوم توجه به انباشت صحیح باطله، احداث و پایداری سد باطله و جلوگیری از آلودگی محیط زیست را ایجاب می‌کند. ایجاد باطله خمیری با درصد آب کمتر از اسلاری، دانسیته و ویسکوزیته بالاتر از آن یکی از راه‌های کاهش خطرات احتمالی آلودگی محیط‌زیست در منطقه سد باطله است. مکانیزم تولید و ذخیره باطله خمیری (PPSM[۵]) سیستم پیشرفته تغلیظ کننده است که در یک مرحله کار هر دو سیستم تغلیظ کننده و فیلتر را انجام می‌دهد و باطله خمیری با دانسیته بالا تولید می‌کند. با توجه به وجود سیانور و خطرات زیست‌محیطی ناشی از آن در باطله معادن طلا، در کارخانه فراوری معدن طلای آق‌دره اقدام به نصب یک دستگاه PPSM شده است که این مقاله به بررسی نحوه عملکرد این سیستم می‌پردازد. در یک دوره آزمایش ۲۰ روزه غلظت مواد منعقد کننده از ۲ تا ۷ گرم در لیتر با مقدار افزایش ۰/۵ گرم در لیتر در هر دو روز تغییر داده شده و میزان بازیابی آب و خروجی سیستم PPSM ثبت شده است. بر این اساس غلظت بهینه مواد منعقد کننده پنج گرم در لیتر تعیین شده است که منطبق با بالاترین کارایی سیستم است. همچنین بررسی های اجمالی مزایای حاصل از سیستم PPSM را کاهش ۳۴ درصدی در حجم مخزن مورد نیاز سد باطله، کاهش ۱۴ درصدی در مصرف آب تازه و سیانید سدیم مورد نیاز، صرفه‌جویی اقتصادی بالغ بر ۲۰ میلیارد ریال در هزینه ساخت سد باطله و کاهش آلایندگی زیست‌محیطی این کارخانه فرآوری نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: اثرات زیست محیطی، سیانید سدیم، مواد منعقد کننده، باطله خمیری، معدن آق‌دره، PPSM.

۱- عضو هیات علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه

۲- کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه یزد

۳- دانشجوی دکتری دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران*(مسئول مکاتبات).

۴- عضو هیات علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه.

5- PPSM (Paste Production and Storage Mechanism)

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نتیجه نهایی فرآیندهای مختلف کارخانه های صنایع معدنی علاوه بر تولید فلز مورد نظر مقدار متنابهی مواد باطله است که در هر صورت، بایستی به طریقی از کارخانه خارج و درمحلی ذخیره شوند. صنایع معدنی بیش از ۲/۳ میلیارد تن باطله معدنی در سال تولید می کنند. افزایش حجم باطله‌های تولیدی لزوم توجه به انباشت باطله، احداث و پایداری سد باطله و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و آب های زیرزمینی را ایجاب می‌کند. بی‌توجهی در انباشت باطله ممکن است موجب بروز مشکلات غیرقابل‌حل یا حوادث غیر مترقبه‌ای گردد، مثلاً زمانی که باطله حاوی یون‌های مضر باشد، موجب آلودگی محیط زیست می‌گردد و یا عدم پایداری خاکریز باطله سبب تخریب و فرسایش آن به‌وسیله عوامل فرسایش و ایجاد گرد و غبار سمی یا جریان‌های گل می‌شود. از طرفی ممکن است آن چه که امروز باطله تلقی می‌شود، در آینده به‌عنوان یک ماده اولیه مفید مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین سدهای باطله بایستی از زمان بهره‌برداری تا تعطیلی معدن حفاظت گردند(۱).

به‌طورکلی هرچه وزن مخصوص و گرانروی مواد باطله افزایش یابد به همان نسبت خطرات نفوذ آن به داخل زمین و جاری شدن مواد باطله کاهش می‌یابد، به‌خصوص در مواردی که مواد باطله سمی باشند، بایستی سعی گردد تا حد امکان جلوی نفوذ آن به داخل زمین و مخلوط شدن مواد سمی با آب های زیرزمینی گرفته شود. ایجاد باطله خمیری با درصد آب کم تر از اسلاری و وزن مخصوص و گرانروی بالاتر از آن، قدم موثری در راه کاهش خطرات احتمالی آلودگی محیط‌زیست و کاستن مشکلات بعدی در مرحله بازسازی و احیای منطقه سد است. راه‌های مختلف برای جداسازی آب از مواد باطله وجود دارد که استفاده از تغلیظ کننده (تیکنر) یکی از این روش‌ها است. با قرار دادن اسلاری در مخازن و ایجاد سکون، ذرات سنگین تر ته‌نشین و از کف مخازن خارج می‌شوند. استفاده از مواد منعقد کننده و ایجاد پل بین ذرات کلوئیدی باعث سنگین شدن ذرات همراه اسلاری و ته‌نشینی سریع تر آن ها می‌شود. استفاده از این مواد ظرفیت جداسازی آب را افزایش داده و می‌توان اسلاری با دانسیته بین ۴۵ تا ۵۵٪ مواد جامد از آن به دست آورد. در صورت نیاز به درصد مواد جامد بیش از این می‌توان با استفاده از فیلترهای خلأ دوار و یا تسمه های خلأ نسبت به جداسازی مقدار آب بیشتر و ایجاد خمیر با درصد مواد جامد بالا اقدام نمود. PPSM سیستم پیشرفته تغلیظ کننده است که در یک مرحله کار هر دو سیستم تیکنر و فیلتر را انجام می‌دهد و خمیری با وزن مخصوص بالا تولید می‌کند. فرق PPSM با تغلیظ کننده های معمول در ارتفاع مخزن ته‌نشینی است که در PPSM ارتفاع برابر قطر و یا بیشتر از آن است، در حالی که در انواع معمول، ارتفاع کم تر از قطر مخزن است(۲).

۱- سدهای باطله

در یک تعریف ساده، مکان‌هایی که برای دپو و یا ذخیرهٔ باطله‌های مواد معدنی ساخته می‌شوند، سدهای باطله نام دارند. هدف از ساخت این سدها انبار کردن مواد جامد (باطله) و جدا کردن آب از این مواد جامد است. سدهای باطله به سدهای رسوب‌گیر نیز معروفند. از آن جا که معمولاً هدف از ساخت این سدها ذخیرهٔ آب نیست، بنابراین در طراحی و بهره‌برداری سعی می‌شود، تا حد امکان از جمع شدن بیش از مقدار مورد نیاز آب در مخزن، جلوگیری شود زیرا آب این سدها سمی بوده و نباید سرریز شود. مقدار بار انتقالی از کارخانه به سد باطله تقریباً معادل خوراک ورودی به کارخانه است. باطله‌ها معمولا به صورت پالپ به سد باطله انتقال می‌یابند و ممکن است مقداری از بخش مایع آن (آب) به‌منظور استفاده مجدد به چرخه کانه‌آرایی برگشت داده شود. ایجاد سد باطله به‌خصوص برای کارخانه‌هایی که در نواحی خشک واقع هستند، ضرورت زیادی دارد زیرا در این مناطق کمبود آب موجب تعطیلی کارخانه و کاهش تولید خواهد شد(۲).

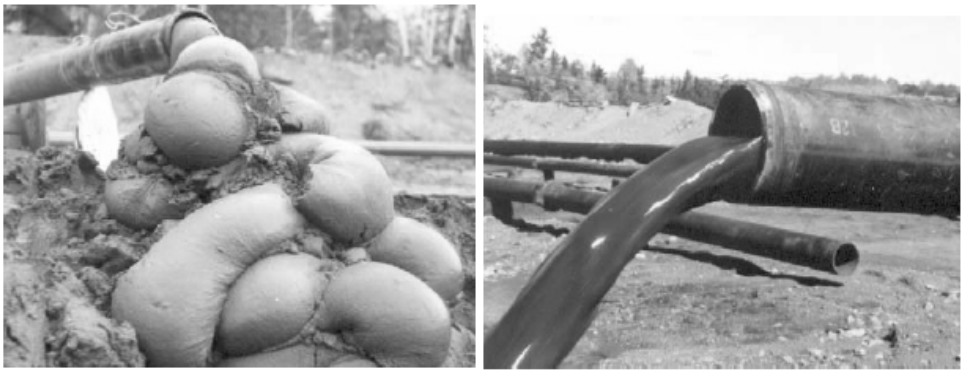
۲- باطله خمیری چیست؟

بر اساس تعاریف ارایه شده، خمیر (Paste) مخلوطی از آب و مواد جامد است که وقتی به حالت سکون در آید، جدایی آب از مواد جامد آن بسیار کم و یا اصلاً انجام نخواهد شد. در

www.SID.ir

Archive of SID

انتقال باطله خمیری از طریق پمپ و لوله، در صورت پایین بودن سرعت حرکت آن عمل جدایش آب و رسوب مواد جامد در لوله انجام نخواهد شد. حتی اگر عملیات پمپاژ متوقف و برای مدت طولانی (چند ساعت) مواد به حالت سکون در آید ته‌نشینی در لوله انجام نخواهد گرفت و مشکل گرفته شدن لوله بسیار کم خواهد بود. خاصیت جدا نشدن فازهای مایع و جامد در باطله خمیری بسیار با اهمیت است. به خصوص در مواردی که مواد باطله سمی هستند، جدا نشدن آب از مواد جامد، باعث کم شدن نفوذ در زمین و در نتیجه مخلوط نشدن آب سمی با آب های زیرزمینی خواهد بود. باطله خمیری را می‌توان از موادی با طیف وسیعی از اندازه ذرات به وجود آورد، اما معمولاً بایستی حداقل به میزان ۱۵٪ وزنی، ذراتی با ابعاد کوچک تر از ۲۰ میکرون داشته باشد. شکل ۱ نشان دهنده تفاوت آشکار باطله فراوری مواد معدنی به دو صورت اسلاری و خمیر است. سمت راست شکل باطله معمول خروجی از کارخانه های فراوری را نشان می‌دهدکه به صورت اسلاری و با میزان جامد حداکثر تا ۵۵٪ است که حالت روان آب داشته و بلافاصله بعد از تخلیه، همراه با ته نشست ذرات جامد، حجم قابل توجهی از آب را که پتانسیل جریان یافتن در سطح یا نفوذ به داخل زمین را دارد، آزاد می کند. در حالی که در سمت چپ شکل، باطله خمیری با میزان جامد تا ۷۵٪ نشان داده شده است که هیچ تراوش آبی را پس از تخلیه نخواهد داشت و یا میزان آن تا حد قابل توجهی کاهش می یابد و از این رو خطرات زیست محیطی ناشی از نفوذ مواد سمی به آب های زیرزمینی نیز تا حد زیادی برطرف خواهد شد (۳).



شکل ۱- مقایسه جریان و تخلیه باطله فرآوری مواد معدنی در دو حالت اسلاری و باطله خمیری

۳- مزایای استفاده از باطله خمیری

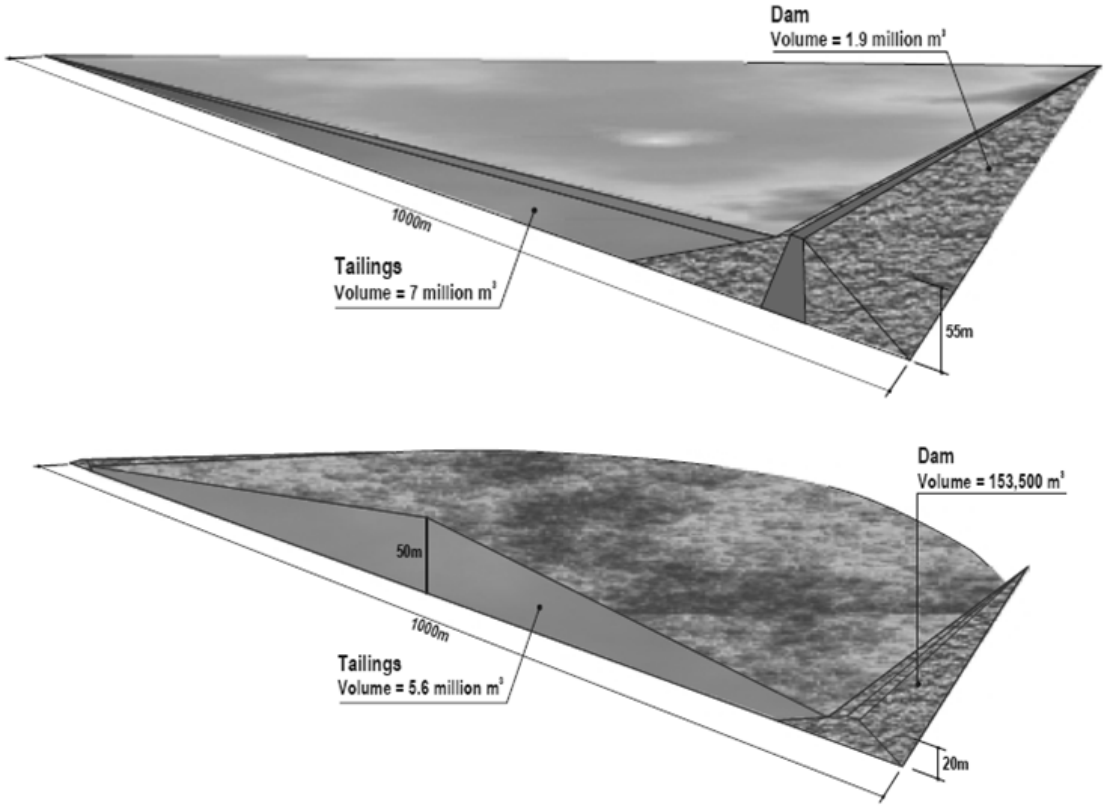
- کاهش حجم مواد ورودی به حوضچه سد و در نتیجه نیاز به سدی با حجم مخزن کم تر. این امر ارتفاع خاکریز سد و حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت سد باطله را تا حد زیادی کاهش می دهد و از این نظر صرفه جویی قابل توجهی را در هزینه ساخت سد به همراه دارد.

همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، اگر باطله معدن به صورت اسلاری معمول باشد، در این مثال مخزن سد باطله باید گنجایش ۷ میلیون مترمکعب مواد را داشته باشد و بدنه سد با مصالحی بالغ بر ۱/۹ میلیون تن و به ارتفاع ۵۵ متر ساخته شود، در حالی که با استفاده از فن آوری باطله خمیری، حجم کلی مواد تخلیه شده در سد باطله از ۷ میلیون مترمکعب به ۵/۶ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد و ارتفاع بدنه سد ۲۰ متر و مصالح مورد نیاز برای ساخت بدنه نیز تنها ۱۵۳۵۰۰ مترمکعب خواهد بود.

- در پمپاژ باطله خمیری خطر ته‌نشینی مواد به علت کمتر شدن سرعت جریان در لوله از حد سرعت بحرانی، وجود نخواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه ابعاد و حجم سد در دو حالت باطله خمیری و باطله اسلاری

- پس از خاتمه بهره برداری و بسته شدن سد، مشکلات بازسازی سد پر شده با باطله خمیری به مراتب کم تر از سد محتوی اسلاری خواهد بود.
- در صورت سمی بودن باطله، چون در باطله خمیری درصد بیشتری از آب همراه با مواد سمی از مواد باطله جدا و به کارخانه برگشت داده می‌شود لذا میزان مواد سمی در باطله کاهش می یابد. ضمن این که باطله خمیری تراوش آب نداشته و یا بسیار کم دارد و لذا خطرات احتمالی بعدی بسیار کم تر از باطله‌های اسلاری خواهد بود.
- به خاطرعدم جدایی آب از جامد و در نتیجه عدم نفوذ آب به زمین، نیاز به صرف هزینه آب‌بند کردن بدنه و مخزن سد نخواهد بود.
- در مناطق خشک وکم آب، جداسازی حجم بیشتری از آب در باطله‌های خمیری باعث می‌شود که کارخانه بتواند ازآب برگشتی استفاده و به میزان زیادی نیاز آب کارخانه از خارج مرتفع شود.
- در معادن طلا، برگشت حجم بیشتری از آب باعث برگشت حجم بیشتری از سیانور و سایر مواد شیمیایی مصرفی به کارخانه و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه مواد شیمیایی خواهد شد.
- در صورت استفاده از باطله خمیری، با توجه به خاصیت خمیری آن و اشباع مواد، فرسایش، ایجاد گرد و غبار و آلودگی محیط به مراتب کم تر از اسلاری خواهد بود.
- در صورت وجود سولفور در مواد باطله، احتمال ایجاد اسید در محیط سد وجود دارد. استفاده از باطله خمیری در این مورد نیز بسیار سودمند خواهد بود، زیرا میزان اکسیداسیون مواد در سد تا حد بسیار زیادی کاهش خواهد داشت.

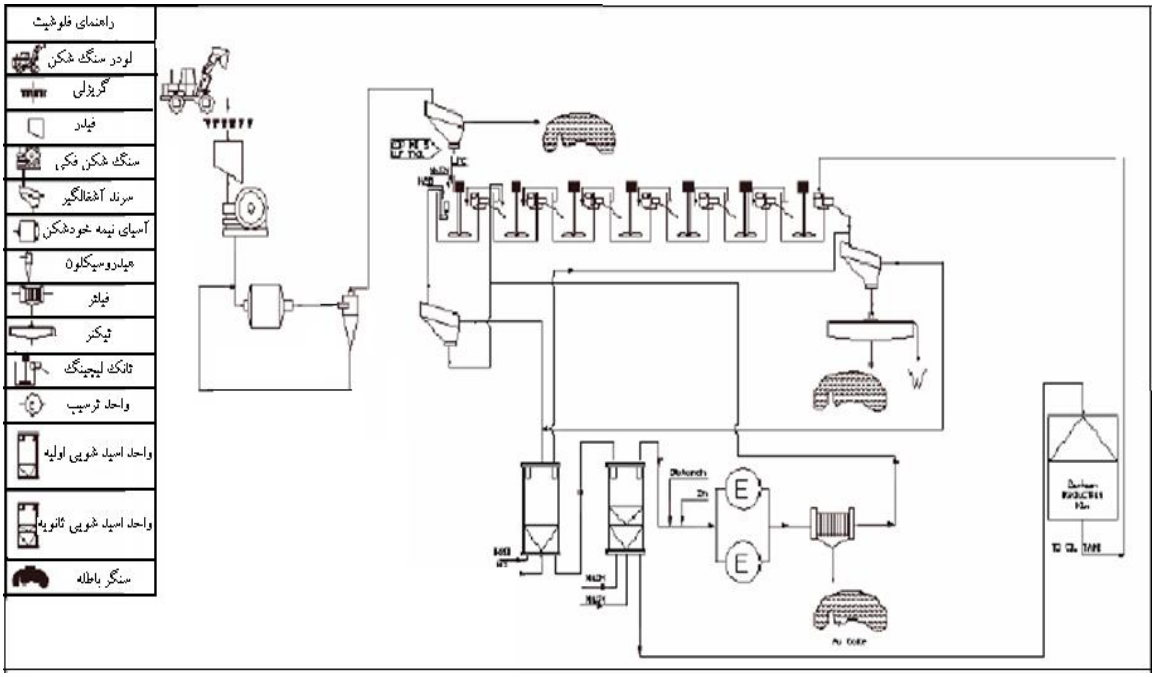
www.SID.ir

Archive of SID

- هر چه رطوبت مواد باطله را بیشتر کاهش دهیم، میل به ایجاد حرکت و جریان در آن را کاهش، قابلیت مایع شدن و به حرکت درآمدن آن را کم تر و در نهایت، فشار اعمال شده به دیواره سد را کاسته به طور کلی خطر خرابی و انهدام سد را کاهش داده‌ایم (۴ و ۵).

منطقه مورد مطالعه

کارخانه فراوری طلای آق‌دره در ۳۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان تکاب در استان آذربایجان واقع شده است. مطابق فلوشیت کارخانه که در شکل ۳ نشان داده شده است، خوراک کارخانه با عیار ppm ۳ طلا مسیر گریزلی، سنگ‌شکن فکی، آسیای نیمه‌خودشکن، سرند ترومل، هیدروسیکلون، مخازن لیچینگ، واحد اسید شویی و واحد سمنتاسیون را طی می‌کند و در نهایت پس از فیلتراسیون محلول خروجی از مخازن ترسیب، کیک طلا دار با عیار ۱/۵٪ طلا، به‌عنوان محصول نهایی کارخانه تولید می‌شود. پسآب خروجی از کارخانه فراوری حاوی حجم قابل توجهی از مواد سمی و فلزات سنگین است. این مواد قابل بازیابی نبوده و بخشی از باطله را تشکیل می‌دهند. مهمترین فرایندهای فیزیکی و شیمیایی برای حذف کاتیون‌های فلزی از محلول آبی شامل رسوب شیمیایی، فیلتراسیون، اسمز معکوس و الکترودیالیز، تبادل یونی و جذب سطحی است؛ که معایبی از قبیل گرانی، تولید لجن و مواد سمی، نیاز به انرژی و صرف زمان اضافی و ... دارند. هزینه های بالای اجرا و بزرگی مقیاس فرایند و عدم حذف کامل کاتیون های فلزی و سایر مواد از محلول های آبی منجر به بهره گیری از سد باطله در کنار معادن می شود که خود مشکلات محیط زیستی و هزینه های قابل توجهی را درپی دارد. در این تحقیق، فن آوری و مزایای تولید باطله خمیری معرفی و کارایی آن در کاهش صدمات محیط زیستی کارخانه فراوری طلای آق دره بررسی شده است.



شکل ۳- فلوشیت کارخانه فرآوری معدن طلای آق دره

مواد و روش‌ها

در حین خردایش کانسنگ طلا در مراحل سنگ شکنی، آسیا و نیز در اثر وجود کانی‌های رسی، نرمه های رس نیز تولید می‌شود که ورود دوباره آن ها به کارخانه فراوری مشکلات فراوانی را در مراحل مختلف به‌وجود می آورد. ته نشینی نرمه‌ها

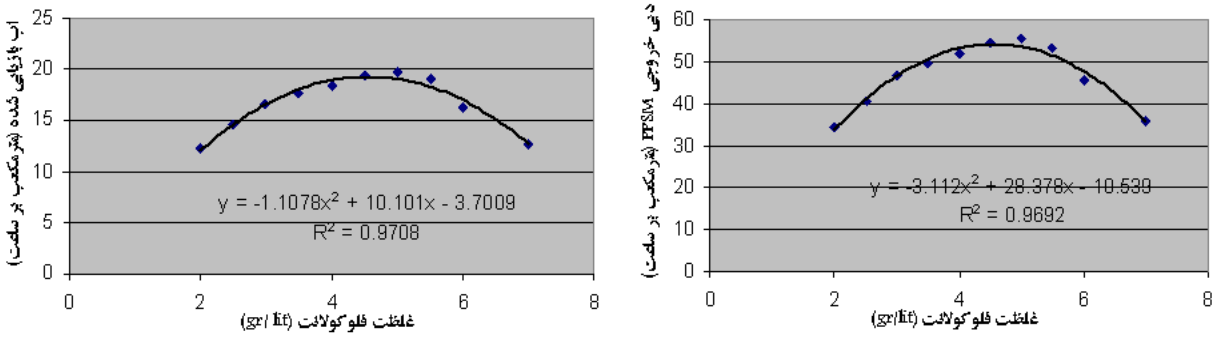
www.SID.ir

Archive of SID

در تغلیظ کننده توسط مواد منعقد کننده (فلوکولانت‌ها) انجام می‌گردد. منعقد کننده ها مواد شیمیایی هستند که از آن ها برای جمع‌آوری کلوئیدها و دیگر ذرات جامد در پالپ استفاده می‌کنند و در فرایند تصفیه آب برای بهبود ته نشینی موادریز به کار می‌روند. در ابتدای شروع به کار کارخانه فراوری آق‌دره از نشاسته به عنوان ماده منعقد کننده استفاده می‌شد. با توجه به این که وظیفه مواد منعقد کننده کاهش خاصیت دفع الکتراستاتیکی بین ذرات و به وجود آوردن خاصیت جذب بین ذرات است، منعقد کننده مورد مصرف در آق‌دره بایستی از نوعی باشد که بیشتر دارای بار مثبت باشد، زیرا درصد زیادی از سنگ ورودی را خاک رس تشکیل می‌دهد که دارای بار منفی است. از این رو برای افزایش بازیابی آب در کارخانه فراوری آق‌دره اقدام به استفاده از مواد منعقد کننده نوع AQUISOL شده است که رسوب جامدات با استفاده از این مواد در داخل سد باطله نیز ادامه می‌یابد. برای به دست آوردن میزان مواد منعقد کننده بهینه در کارخانه آق‌دره ظرفیت قابل خروج PPSM برای ۱۰مقدار مختلف از مواد منعقدکننده اندازه‌گیری شده است. در این تحقیق استفاده از مواد منعقد کننده از مقدار ۲ تا ۷ گرم در لیتر با دامنه تغییر ۰/۵ گرم در لیتر مورد آزمایش قرار گرفته و در هر مرحله میزان خروجی سیستم PPSM و مقدار آب بازیابی شده اندازه گیری شده است. لازم به توضیح است که ظرفیت اندازه‌گیری شده به صورت میانگین خروجی در بازه زمانی دو روز برای آزمایش با مقدار مواد منعقد کننده مورد نظر است. کل دوره آزمایش شامل ۲۰ روز کاری است که در هر دو روز مقدار مواد منعقد کننده ۰/۵ گرم در لیتر تغییر داده شده و نتایج برای ده مرحله مختلف آزمایش ثبت شده است. نتایج این آزمایش در جدول۱ و روند تغییرات دبی خروجی PPSM و مقدار آب بازیابی شده به ازای مقدار مواد منعقد کننده مصرفی در نمودار ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ظرفیت سیستمPPSM برای ۱۰ مقدار مختلف از فلوکولانت آزمایش شده

غلظت فلوکولانت (gr/L)	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۷
دبی خروجی PPSM (m^3/h)	۳۴/۴۵	۴۰/۷۸	۴۶/۷۲	۴۹/۵۰	۵۱/۸۷	۵۴/۲۴	۵۵/۴۳	۵۳/۴۵	۴۵/۵۱	۳۵/۶۳
آب بازیابی شده (m^3/h)	۱۲/۳۰	۱۴/۵۶	۱۶/۶۹	۱۷/۶۸	۱۸/۵۳	۱۹/۳۷	۱۹/۷۰	۱۹/۰۹	۱۶/۲۵	۱۲/۷۳



نمودار ۱- روند تغییرات دبی خروجی PPSM و مقدار آب بازیابی شده به ازای فلوکولانت مصرفی در کارخانه آق‌دره

همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت فلوکولانت از ۲ تا ۵ گرم در لیتر، ظرفیت PPSM و میزان آب بازیافتی نیز افزایش می‌یابد؛ اما در غلظت های بالاتر به علت حبس آب در بین ذرات، انفصال مجدد ذرات و چسبیدن خمیر به ریک (پاروی PPSM)، ظرفیت PPSM و بازیابی آب کاهش می‌یابد. لذا بر اساس نتایج یک آزمایش ۲۰ روزه، بهترین

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت مواد منعقد کننده در کارخانه آق‌دره پنج گرم در لیتر تعیین شده است.

پالپ خروجی از ته‌ریز مخزن لیچینگ، پس از بازیابی کربن باقی مانده در پالپ، وارد تغلیظ کننده می‌شود. سرریز تغلیظ کننده به عنوان آب بازیافتی، وارد مخزن ذخیرهٔ آب شده و ته‌ریز آن نیز با درصد جامد بین ۴۵ تا ۵۵٪ وارد PPSM می‌گردد (قبل از نصب PPSM ته‌ریز تغلیظ کننده مستقیماً وارد سد باطله می‌شد). با توجه به وجود سیانور در باطله کارخانه فرآوری طلای آق‌دره و به منظور کاهش میزان سیانور در باطله نهایی و استفاده از آب برگشتی برای استفاده در فرآیند تولید، نسبت به عقد قرارداد طراحی و ساخت PPSM اقدام شده و هم اکنون این سیستم به عنوان اولین سیستم تولید باطله خمیری ایران در حال فعالیت است. در این سیستم تا حد ممکن آب ته‌ریز مورد بازیابی قرار گرفته و درصد جامد مواد خروجی به حدود ۶۵ تا ۷۵٪ می‌رسد که این مواد به عنوان باطله نهایی وارد سد باطله می‌شوند.

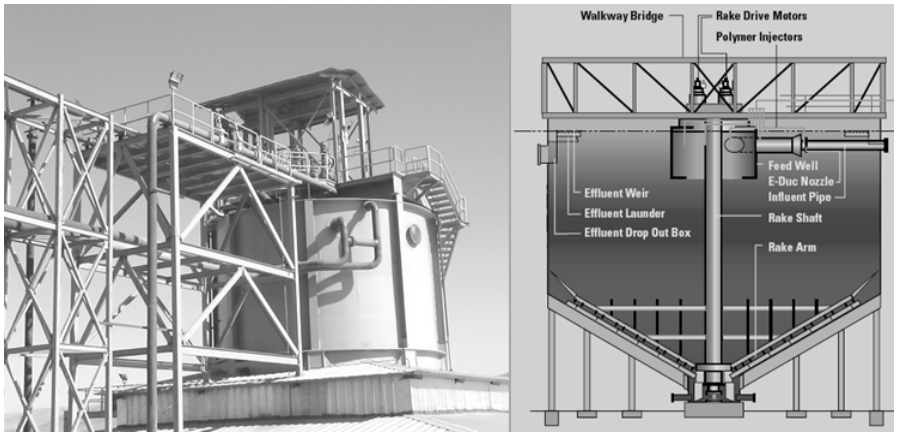
سیستم اصلی PPSM در کارخانه فراوری آق دره از یک تانک مدور با کف نیم کره ای فلزی از جنس فولاد ساخته شده است که دارای قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۴ فوت است. نمایی از کارخانه PPSM معدن طلای آق دره در شکل ۴ نشان داده شده است. اسلاری از طریق فیدوِل (Feed well) وارد مخزن PPSM می گردد. جریان ورود اسلاری و مواد منعقد کننده از طریق فیدوِل به صورتی طراحی شده است که دو جریان ورودی با مسیر حرکت مخالف به یکدیگر برخورد نموده و انرژی خود را از دست می دهند. دو دستگاه پمپ اندازه گیری (Metering Pump) میزان فلوکولانت مورد نیاز را در محل فیدوِل به اسلاری ورودی اضافه می نمایند تا عمل اختلاط به خوبی انجام شده و مخلوط حاصل وارد مخزن PPSM گردد. مواد منعقد کننده اضافه شده به اسلاری بایستی به مقداری تنظیم و تزریق گردد که سرعت ته نشینی مواد را در حد مطلوبی نگه دارد. در PPSM حرکت حلزونی وسط آن همراه با دروان ریک و مکانیزم آشفته سازی، باعث حرکت اسلاری به سمت بالا در وسط مخزن و به طرف پایین در کناره های داخلی دیواره مخزن می شود که باعث حرکت ذرات به طرف یکدیگر و آزاد سازی آب بین ذرات می گردد. مواد جامد تحت تاثیر نیروی ثقل در قسمت پایین تانک انباشته می شوند. در کف مخزن یک مکانیزم پارو نصب شده است که با حرکت آرام و متغیر خود گل های ته نشین شده در کف مخزن را به طرف مرکز نیم کره که مجرای خروجی باطله خمیری است هدایت می کند. شکل سیلندری محفظه تخلیه در زیر مخزن با میله های دوار از کیپ شدن و گرفتگی محل خروج پِیست جلوگیری می نماید. غلظت مواد تولیدی بستگی به ویسکوزیته آن ها دارد، پیست تولیدی توسط سیستم PPSM دارای غلظت وزنی تقریبی ۶۵٪ و غلظت حجمی در حدود ۰/۸۵ خواهد بود (۶). انجام کالیبراسیون و تنظیم‌های کنترلی روی دستگاه‌های کنترل کننده PPSM بر اساس اطلاعات جدول ۲ انجام می‌گیرد:

جدول ۲- مشخصات عملیاتی کارخانه فراوری طلای آق دره

دبی خوراک کارخانه	۱۰۰(ton/h)	عمر مفید کارخانه	۲۰ سال
وزن مخصوص کانسنگ	۲/۸ (ton/m^3)	روزهای کاری در سال	۳۳۰ روز
دبی خوراک تیکنر	۱۵۴ (m^3/h)	تعداد ساعات کاری روزانه	۲۴ ساعت
درصد جامد خوراک تیکنر	۳۶ درصد	میزان مصرف سیانید سدیم	۱/۷ (kg/ton)
درصد جامد خوراک PPSM	۵۵ درصد	درصد جامد باطله خمیری خروجی PPSM	۷۲ درصد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نمایی از کارخانه PPSM در معدن طلای آق دره

مواد باطله تا زمانی که مقاومت کافی در مقابل جـــریان آن ها وجود نداشته باشد، به حرکت سیال مانند خود ادامه خواهند داد. بنابراین هر چه رطوبت مواد باطله را بیشتر کاهش دهیم، میل به حرکت و جریان در آن را کاهش و در نهایت فشار اعمال شده به دیواره سد را کاسته وکلاً خطر خرابی و انهدام سد را کاهش داده‌ایم. دانسیته یک اسلاری به علت زیاد بودن آب آن کم است و لذا در هنگام پمپاژ آن بایستی همیشه یک حد سرعت بحرانی را در نظر بگیریم که در سرعت‌های بیشتر از آن جریان به صورت مغشوش (آشفته) صورت گرفته و جریان مواد جامد را با خود جابه‌جا خواهد نمود. اما در سرعت پایینتر از حد بحرانی، مواد جامد در لوله ته‌نشین خواهد شد؛ بنابراین بایستی همیشه چنین ضعفی را در هنگام پمپاژ اسلاری در نظر گرفت. اگرچه با افزایش درصد جامد، اسلاری غلیظ شده و در دانسیته بالاتر، باطله خمیری تولید خواهد شد که برای پمپاژ آن نیاز به پمپ‌های بسیار قوی است (به خاطر اصطکاک داخلی باطله خمیری و اصطکاک با دیواره لوله) اما در پمپاژ باطله خمیری سرعت بحرانی وجود نداشته وحتی در اثر توقف جریان، جدایش فازهای مایع و جامد انجام نخواهد شد و خمیر در هنگام تخلیه آب موجود را از خود نرانده و در ساختمان خود نگه می‌دارد(۷).

نتایج

مزایای سیستم PPSM در کارخانه فرآوری معدن طلای آق دره با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۲ و به صورت زیر قابل بررسی است.

۱- افزایش بازیابی آب و کاهش حجم مخزن سد باطله

در کارخانه فراوری آق دره مرحله اول بازیابی آب در تغلیظ کننده های مرسوم (تیکنر) انجام شده و ادامه بازیابی آب از اسلاری در سیستم PPSM انجام می‌گیرد. این عمل ضمن کاهش نیاز به آب تازه مصرفی، حجم مخزن سد باطله مورد نیاز برای انباشت مواد باطله در طول عمر کارخانه را نیز کاهش می‌دهد. نحوه محاسبه میزان آب بازیابی شده و کاهش حجم مخزن سد باطله به صورت زیر است:

وزن مخصوص خوراک تغلیظ کننده اولیه $\rho_{TF} = 2.8*0.36+1*0.64 = 1.65 \quad ton/m^3$

وزن مخصوص خروجی تغلیظ کننده و خوراکPPSM $\rho_s = 2.8*0.55+1*0.45 = 1.99 \quad ton/m^3$

وزن مخصوص خروجی PPSM $\rho_P = 2.8*0.72+1*0.28 = 2.3 \quad ton/m^3$

مقدار جامد خروجی تغلیظ کننده اولیه $S = 154.55*1.65*0.36 = 91.8 \quad ton/h$

مقدار آب خروجی تغلیظ کننده اولیه $\frac{0.45*91.8}{0.55} = 75.1 \quad ton/h$

www.SID.ir

Archive of SID

دبی خروجی تغلیظ کننده اولیه و خوراک PPSM $\frac{91.8+75.1}{1.99}=83.97 \quad m^3/h$

مقدار آب باطله خمیری PPSM $\frac{91.8*0.28}{0.72}=35.7 \quad ton/h$

دبی خروجی باطله خمیری $\frac{91.8+35.7}{2.3}=55.43 \quad m^3/h$

میزان بازیابی آب در سیستم PPSM $75.1-55.43=19.7 \quad m^3/h \quad or \quad ton/h$

حجم مواد انباشت شده در سد باطله بدون استفاده از PPSM $83.87*24*330*20=13,285,000 \quad m^3$

حجم مواد انباشت شده در سد باطله با استفاده از PPSM $55.43*24*330*20=8,780,000 \quad m^3$

میزان کاهش حجم مخزن مورد نیاز برای سد باطله $\frac{13,285,000-8,780,000}{13,285,000}*100=34\% \quad m^3/h$

برای بیان مزیت اقتصادی این اثر سیستم PPSM ذکر این مطلب کافی است که برای احداث سد باطله کارخانه فرآوری معدن طلای آق‌دره هزینه‌ای بالغ بر ۱۱۰ میلیارد ریال، براورد شده است که کاهش ۳۴ درصدی حجم مخزن سد با استفاده از سیستم PPSM و کاهش ارتفاع دیواره سد و حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت آن، بر اساس اعلام امور تحقیق و توسعه این واحد منجر به حداقل ۲۰ میلیارد ریال کاهش هزینه ساخت و صرفه‌جویی شده است. این درحالی است که هزینه کلی طراحی، نصب و راه‌اندازی سیستم تولید باطله خمیری در این معدن در حدود چهار میلیارد ریال بوده است.

۲- بازیابی مواد شیمیایی

مصرف مواد مختلفی مانند سیانید سدیم، آهک، نیترات سرب، کربن فعال، دیاتومیت و .... در فراوری کانسنگ طلا هزینه های زیادی را در پی دارد. از آن جا که این مواد به عنوان عامل شیمیایی واسطه و به صورت محلول در آب مورد استفاده قرار می گیرند، بازیابی آب در سیستم PPSM و بازگشت آن به کارخانه فراوری به منزله برگشت سیانید سدیم به عنوان پرارزش ترین ماده شیمیایی مصرفی و سایر مواد به چرخه فراوری و کاهش نیاز به مصرف این نوع مواد است. میزان کاهش مصرف این مواد متناسب با صرفه جویی به عمل آمده در مصرف آب تازه کارخانه خواهد بود. میزان مصرف آب کارخانه فراوری طلای آق‌دره در شرایط بدون استفاده از سیستم PPSM، ۱۴۳/۵ مترمکعب بر ساعت بوده است که با بازیابی ۱۹/۷ مترمکعب بر ساعت در سیستم تولید باطله خمیری، ۱۴٪ صرفه‌جویی در مصرف آب تازه و به همین مقدار صرفه‌جویی در مصرف سیانید سدیم خواهیم داشت. این در حالی است که اگر این مقدار کاهش ورود سیانید سدیم به محیط نیز مورد توجه قرار گیرد، میزان آلایندگی زیست محیطی این کارخانه فراوری و صرفه جویی‌های ناشی از این مقوله، مزایای اقتصادی سیستم تولید باطله خمیری را دوچندان خواهد نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

در منطقه آق‌دره با توجه به لزوم بازیابی حداکثر آب مصرفی در کارخانه، ضرورت عدم آلوده‌سازی منابع آب زیرزمینی به علت منطقه کشاورزی بودن ناحیه استقرار کارخانه و همچنین ایجاد شرایط بسیار سخت برای ساخت سد باطله بزرگ تر و یا جدیدتر به علت کوهستانی بودن منطقه، کارخانه فراوری معدن طلای آق‌دره اقدام به نصب سیستم PPSM نموده است که هم اکنون این سیستم در حال تولید آزمایشی باطله خمیری بوده و نتایج حاصل از سیستم بسیار رضایت بخش است. به طوری که کاهش ۱۴ درصدی در میزان سیانید سدیم و آب مصرفی (به علت استفاده از آب برگشتی)، ۳۴٪ کاهش حجم مخزن و صرفه جویی ۲۰ میلیارد ریالی در ساخت

www.SID.ir

Archive of SID

سد باطله به همراه کاهش قابل توجه سطح آلایندگی و خطرات زیست‌محیطی کارخانه فرآوری، از مزایای سیستم تولید باطله خمیری بوده است. براساس نتایج به دست آمده، کاربرد این سیستم در پروژه‌های مشابهی مانند فراوری نفلین سینیت برای تولید آلومینا، بسیاری از کارخانجات فراوری مس و... که خطرات زیست‌محیطی، چالش‌ها و موانع فراوانی را برای آن ها ایجاد کرده است، می‌تواند راهگشا باشد.

منابع

1. Cincilla, W.; Landriault, D.; Newman, P. and Verburg, R. (1998). Paste Disposal., Mining Environmental Management, May 1998
2. Verburg, R.B.M.; (1997). Environmental Benefits Associated with the Use of Paste for Surface Disposal of Tailings. Proceedings of the 50th Canadian Geotechnical Conference of the Canadian Geotechnical Society. 20-22 October 1997, Ottawa, Canada. pp. 484-491.
3. Brackebusch, F.; Shillabeer, J.; (1998). Use of paste for tailings disposal. In: Bloss, M. (Ed.), Minefill ’98, Proceedings of the Sixth International Symposium on Mining with Backfill. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Brisbane, Australia, pp. 53– 58.
4. Newman, P.; Landriault, D.; (1997). The use of paste technology in the surface disposal of mineral waste. Waste Minimisation and Recycle, Birmingham.
5. Sofra, F.; Boger, D.V.; (2001). Slope prediction for thickened tailings and pastes. Tailings and Mine Waste ’01, Proceedings of the Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste, Fort Collins. Balkema, Rotterdam, pp. 75– 83.
6. Cincilla, W.A..; Landriault, D.A..; Verburg, R.; (1997). Application of paste technology to surface disposal of mineral wastes., Tailings and Mine Waste ’97, Proceedings of the Fourth International Conference on Tailings and Mine Waste ’97, Fort Collins, Colorado. Balkema, Rotterdam, pp. 343– 356.
7. Crowder, J.J.; (2004). Deposition, consolidation, and strength of a non-plastic tailings paste for surface disposal. PhD thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto.

www.SID.ir