



مرکز تحقیقات مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1231P-NWWCE

افزایش بازیابی آب در تیکنرها با اصلاح چاهک خوراک‌دهی سازگار با تیکنرهای نسل جدید (مطالعه موردی: تیکنرهای مس-مولیبدن مجتمع مس سرچشمه)

فرهاد ملحم^۱، غلامعباس پارساپور^{۲*}، حمیدرضا منتظری^۳، احسان ارغوانی^۳، غلامرضا بی نیاز^۴ و صمد بنیسی^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فراوری مواد معدنی-دانشگاه شهید باهنر، کرمان

۲*- استادیار فراوری مواد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان،

۳- کارشناس ارشد فراوری مواد معدنی، مرکز تحقیقات فراوری مواد کاشی‌گر

۴- سرپرست کارخانه تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه

۵- استادیار فراوری مواد، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

G.Parsapour@vru.ac.ir

خلاصه

در سطح جهانی حدود یک چهارم آب مصرفی در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر صنایع از آب به عنوان یک ورودی اساسی در فرآیند تولید بهره می‌گیرند. کمبود آب تاثیر مستقیمی بر عمر معادن و فعالیت‌های معدنی دارد، از این رو برای افزایش بازدهی معادن مخصوصاً در مناطق خشک، استفاده حداکثری از آب و بازیابی حداکثری آن امری حیاتی می‌باشد. در مجتمع مس سرچشمه حدود ۸۵٪ آب مورد استفاده کارخانه آب بازیافتی می‌باشد که سرریز تیکنرها عمده‌ی آن را تشکیل می‌دهد. یکی از مشکلات موجود در استفاده از آب برگشتی وجود مواد جامد معلق در آن می‌باشد که عامل آن وجود کف در سطح تیکنر می‌باشد که باعث ایجاد مشکلاتی از جمله گرفتگی لوله‌ها و کاهش عملکرد فلو تاسیون مواد می‌شود. در این تحقیق روشی برای جلوگیری از انتشار کف در سطح تیکنر مس-مولیبدن تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه پیشنهاد و اجرا گردید. در این روش ابتدا چاهک خوراک‌دهی تیکنر از نوع معمولی به چاهک خوراک‌دهی نسل جدید از نوع پره‌ای تغییر یافت و سپس روی آن دوش‌های کف شکن نصب گردید. مجموعه‌ی این تغییرات باعث افزایش ۷ درصدی بازیابی آب و کاهش ۶۳ درصدی کدورت آب سرریز تیکنر گردید.

کلمات کلیدی: تیکنر، چاهک خوراک‌دهی، دوش کف شکن

۱. مقدمه

مسئله آب در طی سالیان اخیر به یکی از مهم‌ترین مسائل کشور و به تبع آن کارخانه‌های فراوری تبدیل شده است. محدود بودن منابع آبی و کاهش آنها باعث شده است که بازیابی حداکثری آب در کارخانه‌هایی از دغدغه‌های اصلی بیشتر مدیران باشد [۱]. استفاده از تیکنر یکی از روش‌های متداول برای آبگیری در یک کارخانه فراوری می‌باشد. در فرآیند تیکنر کردن کارایی غلیظ کردن وابسته به چگونگی حرکت نسبی ذرات جامد و آب است. نظریه‌ی تیکنر کردن بر اساس نظریه‌ی Coe و Clevenger در سال ۱۹۱۶ بنا نهاده شده است [۲،۳]. فرآیند ته نشینی در تیکنر به این ترتیب است که ابتدا پالپ وارد چاهک خوراک‌دهی می‌شود. انرژی پالپ در چاهک خوراک‌دهی گرفته و پس از آن که آرام شد، به آرامی و بدون ایجاد تلاطم وارد تیکنر می‌شود.

شود. در مخزن تیکتر به دلیل دانسیته بالا، ذرات جامد ته نشین می‌شوند و آب شفاف از سرریز خارج می‌شود. پس از فرآیند ته‌نشینی، ذرات جامد وارد بستر تیکتر می‌شوند و در آنجا تحت تاثیر فشردگی و نیروهای برشی قرار می‌گیرند. فرآیند فشردگی در اثر وزن مواد ته‌نشین شده که در افق‌های بالاتر درون بستر تیکتر قرار گرفته‌اند، اتفاق می‌افتد. عامل ایجاد نیروهای برشی نیز تیغه‌ها و میله‌های عمودی پاروها، شیب بخش مخروطی و دیواره‌های تیکتر است. طراحی تیکترها بر این مبناست که سرعت رو به بالای آب در حدی باشد که کوچکترین ذرات نیز امکان ته‌نشینی پیدا کنند [۳،۴].

ورود پالپ به تیکتر معمولاً با فشار زیادی همراه است و همراه پالپ مقداری هوا نیز وارد تیکتر می‌شود و باعث تشکیل حباب‌های هوا در زیر سطح آب در تیکتر می‌گردد. از طرفی معمولاً همواره بخشی از جامدات ورودی به تیکتر آبران می‌باشند و در نتیجه قابلیت اتصال به حباب‌های هوا را دارند. علاوه بر این در بیشتر کارخانه‌های فرآوری مواد از مواد شیمیایی برای آبران کردن مواد در واحد فلو تاسیون استفاده می‌شود که در نتیجه سهم مواد با قابلیت شناوری زیاد را افزایش می‌دهد. از این رو معمولاً در سطح تیکترها فلو تاسیون طبیعی رخ می‌دهد و همواره مقدار زیادی کف حاوی مواد جامد وجود دارد. با توجه به این که دانسیته این کف کمتر از آب است، این کف بر روی تیکتر شناور شده و به سرریز (آب بازیابی شده) منتقل می‌شود. این موضوع یکی مشکلات مرسوم در تیکترها است. انتقال کف حاوی مواد جامد به آب سرریز تیکتر باعث افزایش کدورت آن می‌شود. بنابراین استفاده از آب بازیابی شده در تیکترها را با محدودیت مواجه می‌کند. برای شکستن این کف معمولاً در محیط تیکترها، دوش‌های آبی قرار دارد که با فشار زیاد آب کف‌ها را از بین می‌برند. اما به دلیل این که شکستن کف در نزدیک محیط تیکتر رخ می‌دهد، ذرات جدا شده از کف‌ها فرصت کافی برای ته‌نشینی ندارند و در نتیجه بیشتر این کف‌ها به آب سرریز منتقل می‌شوند و باعث آلوده کردن آب بازیابی شده می‌شوند و استفاده از این آب را با محدودیت مواجه می‌کنند.

۱-۱- چاهک خوراک‌دهی

چاهک خوراک‌دهی در مرکز تیکتر برای آرام کردن دبی ورودی قبل از ورود به مخزن و توزیع یکنواخت و شعاعی از جریان به درون تیکتر طراحی شده است. طرح چاهک خوراک‌دهی تأثیر بسیار زیادی بر فرآیندهای ته‌نشینی در تیکتر دارد. مهم‌ترین ملاک‌ها در طراحی چاهک خوراک‌دهی و سیستم خوراک‌دهی به آن شامل موارد زیر است [۵،۶،۷]:

- توزیع بیشینه انرژی در چاهک خوراک‌دهی
- افزایش دادن زمان ماند پالپ در چاهک خوراک‌دهی
- جلوگیری از ورود مستقیم پالپ به ناحیه ته‌نشینی
- به حداکثر رساندن رقیق‌سازی طبیعی خوراک با استفاده از آب شفاف بازیابی شده

غلظت مواد جامد معلق در چاهک خوراک‌دهی، و زیر آن، حد واسط بین غلظت در جریان خوراک و غلظت ناحیه ته‌نشینی است. به عبارت دیگر، بین چاهک خوراک‌دهی و ناحیه ته‌نشینی، پیوستگی جریان وجود دارد. در سالهای گذشته تلاش‌های بسیاری برای طراحی چاهک خوراک‌دهی مناسب برای تیکترها صورت گرفته است. در نهایت چاهک خوراک‌دهی پره‌ای (Vane feedwell)، به‌عنوان چاهک مناسب برای قرن ۲۱ طراحی گردیده است [۸]. پره‌ها، چاهک را به دو منطقه با نرخ برش زیاد (قسمت بالایی چاهک) و نرخ برش کم (قسمت پایینی چاهک) تقسیم می‌کنند [۹]. مفاهیمی که در طراحی چاهک پره‌ای نقش داشته‌اند عبارتند از:

- حداکثر توزیع ذرات در محیط چاهک
- حداکثر نرخ برش در بالای چاهک
- رقیق‌سازی خوراک
- وجود منطقه با نرخ برش کم در پایین چاهک
- عملکرد مناسب در نرخ‌های جریان پایین

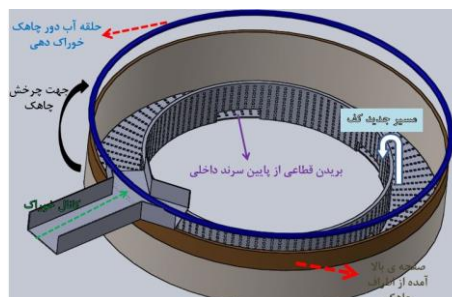
۱-۲- مدار آبیگری از کنسانتره مس-مولیبدن مجتمع مس سرچشمه

در مجتمع مس سرچشمه ۴ تیکنر برای آبیگری از کنسانتره مس-مولیبدن وجود دارد. سرریز این تیکنرها باید به حوضچه آب برگشتی کارخانه فرستاده شود و به مصرف کارخانه رسانده شود [۸]. درصد جامد کنسانتره مس-مولیبدن به طور متوسط ۱۶/۲ و دانسیته جامد آن ۴۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دبی ورودی به هر یک از تیکنرها ۱۸۵ متر مکعب بر ساعت است. ته ریز این تیکنرها خوراک کارخانه مولیبدن و سرریز آن‌ها طبق طرح باید به حوضچه آب برگشتی کارخانه ارسال شود. طبق طرح اولیه کارخانه، سرریز این تیکنرها باید آب شفاف و درصد جامد ته ریز این تیکنرها ۵۰ باشد [۱۰].

خوراک تیکنرهای کنسانتره (خصوصاً تیکنرهای مس-مولیبدن) محصول شناور شده کارخانه تغلیظ است و در نتیجه حاوی بخش زیادی کف است و همچنین با توجه به آبران بودن مواد موجود در آن و وجود مواد شیمیایی، در مکان‌های ریزش (مانند چاهک خوراک دهی تیکنر) که به صورت طبیعی کف تشکیل می‌گردد، این ماده به راحتی به حباب‌های هوا متصل شده و کف پایداری را تشکیل می‌دهد. از این رو برای شکستن کف‌هایی که بر روی این تیکنرها تشکیل می‌شود، دوش‌هایی در محیط تیکنر نصب شده است. اما در عمل این دوش‌ها کارایی لازم را در شکستن کف‌ها ندارند و در نتیجه یکی از جدی‌ترین مشکلات فعلی این تیکنرها وجود کف بسیار زیاد بر روی سطح این تیکنرها و در نتیجه کدورت بیش از حد سرریز این تیکنرها می‌باشد (شکل ۱). انتقال این کف‌ها به سرریز تیکنر علاوه بر هدر روی محصول با ارزش کارخانه، باعث گیر کردن لوله‌های انتقال و ایجاد مشکل در مصرف این آب می‌نماید. این مشکلات باعث شده است که در سالیان گذشته آب سرریز این تیکنرها از حوضچه آب برگشتی کارخانه قطع و به تیکنرهای باطله ارسال شود. بنابراین هر طرحی که بتواند از انتقال این کف‌ها به سرریز تیکنرها جلوگیری کند بسیار با اهمیت است. از این رو در مقاله پیشین این مرکز [۱۱] روشی برای حذف این کف‌ها و کاهش کدورت سرریز و در نتیجه کاهش هدرروی محصول با ارزش در این تیکنرها پیشنهاد و اجرا گردیده است که منجر به کاهش کدورت آب سرریز تا در حدود ۷۰ درصد گردید. در شکل ۲ شمایی از طرح پیشنهادی که در تیکنر جنوبی مس-مولیبدن به اجرا در آمد مشاهده می‌شود.



شکل ۱- وجود کف روی سطح تیکنر و کارایی نامناسب دوش‌های کف‌شکن برای مانع شده از راه‌یابی کف به کانال سرریز



شکل ۲- اصلاحات پیشنهادی برای از بین بردن کف در چاهک خوراک دهی تیکنر جنوبی مس-مولیبدن

۲. مواد و روش‌ها

برای تعیین میزان جامد منتقل شده به سرریز این تیکنرها، از سرریز این تیکنرها نمونه ای تهیه گردید. نمونه مورد نظر بعد از توزین فیلتر و خشک گردید. بعد از خشک شدن و استفاده از محاسبات متالورژیکی و موازنه جرم مدار مشخص شد که سالیانه حدود ۲۰۰۰ تن کنسانتره نهایی کارخانه پرعیارکنی از طریق کف به سرریز این تیکنرها منتقل شده و هدر می‌رود که علاوه بر هدرروی این میزان کنسانتره باعث آلودگی آب سرریز تیکنرها شده و استفاده مجدد از این آب را با مشکل مواجه می‌کند. بنابراین شکستن کف روی این تیکنرها بسیار با اهمیت است. طبق طرح اولیه کارخانه، برای شکستن این کف‌ها دور تا دور تیکنر حلقه پاششی آب وجود دارد که بر روی آن تعدادی دوش نصب شده است. این دوش‌ها آب را با فشار روی سطح تیکنر می‌پاشند و باعث شکستن کف‌های روی سطح می‌شود. ولی به دلیل حجم زیاد این کف‌ها دوش‌ها قادر به از بین بردن تمام کف‌ها نیستند و بخشی از کف به کانال سرریز تیکنر راه می‌یابد (شکل ۱). علاوه بر این، با توجه به این که کف‌های روی تیکنر از مرکز تیکنر به اطراف منتشر می‌شوند، در صورتی که بتوان در مرکز تیکنر از انتشار این کف‌ها جلوگیری کرد، قطعاً از هدرروی کنسانتره و آلودگی آب سرریز جلوگیری می‌شود. لازم به ذکر است که حتی اگر دوش‌های اطراف تیکنر بتوانند کف‌ها را بشکنند، با توجه به ریز بودن مواد متصل شده به کف‌ها و با توجه به نزدیکی به محیط تیکنر این ذرات فرصت ته‌نشینی در تیکنر را ندارند و در نهایت بخش زیادی از آن‌ها به سرریز منتقل می‌شوند.

۲-۱- چاهک خوراک دهی تیکنرهای کنسانتره مجتمع مس سرچشمه

در سالیان اخیر بیشترین تغییرات در تیکنرها در چاهک خوراک دهی آنها انجام شده است. چاهک خوراک دهی این تیکنرها از طرح‌های قدیمی بوده و عملکرد مناسبی ندارد (شکل ۳). بنابراین با توجه به فناوری‌های جدید می‌توان عملکرد این چاهک‌ها را افزایش داد. چاهک خوراک دهی تیکنر فاز یک تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه (شکل ۳) از استوانه‌ای به قطر ۲ متر و ارتفاع ۱ متر تشکیل شده است که به وسیله‌ی یک صفحه مشبک با روزه‌های یک سانتی متری به هم متصل شده‌اند و خوراک توسط کانالی به مرکز آن وارد می‌شود.

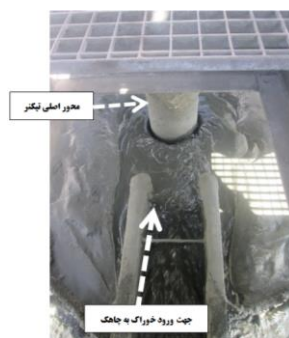


شکل ۳- چاهک خوراک دهی قدیمی تیکنر فاز ۱ تغلیظ ۲ مجتمع مس سرچشمه

بازرسی فرآیندی این واحد نشان می‌دهد که کف همواره در مرکز تیکنر تشکیل و سپس به محیط تیکنر منتقل می‌گردد. بنابراین در این تحقیق سعی گردید که روشی پیشنهاد و اجرا شود که از انتشار کف در سطح تیکنر جلوگیری کند. این روش شامل طراحی چاهک پره‌ای در نرم افزار SolidWork، ساخت و نصب آن توسط کارکنان مجتمع مس سرچشمه و نصب یک حلقه دوش کف شکن در محیط آن بود که به مسیر آب پرفشار متصل گردید.

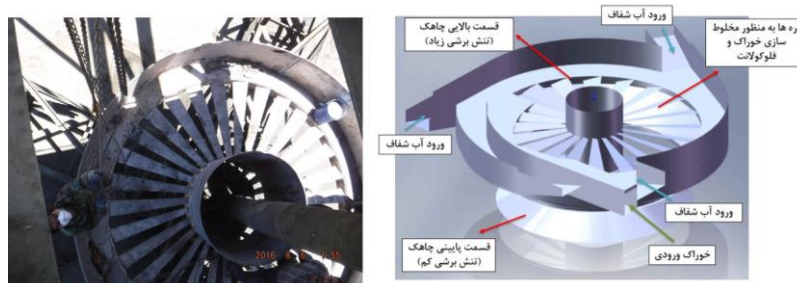
۳. ارائه یافته‌ها و تحلیل نتایج

بازرسی فرآیندی [۴] تیکنرهای مس-مولیبدن مجتمع مس سرچشمه نشان داد که به مرور زمان با تجمع ذرات شبکه‌های چاهک خوراک دهی مسدود می‌شوند. در نتیجه با مسدود شدن شبکه‌ها، چاهک پر شده و پالپ به طور مستقیم به تیکنر راه می‌یابد و عملاً چاهک خوراک دهی حذف می‌شود. برای مقابله با این مسئله، چاهک به صورت ماهیانه شستشو داده می‌شود (شکل ۴) و در هر شستشو باید ۵۰ درصد تیکنر تخلیه شود که علاوه بر توقف یک روزه تیکنر باعث هدر روی مقدار زیادی آب و کنسانتره می‌شود ولی حداکثر دو هفته پس از تمیز کردن، مجدداً شبکه‌ها مسدود می‌شوند و پالپ خوراک از چاهک سرریز کرده و به درون تیکنر (شکل ۴) منتقل شده و باعث کاهش کارایی آن می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که تغییر طراحی چاهک برای افزایش کارایی تیکنر امری ضروری می‌باشد.



شکل ۴- مسدود شدن چشمه‌های سرند و سرریز کردن پالپ و کف از چاهک به داخل تیکنر

به منظور افزایش کارایی چاهک خوراک دهی باید تا حد امکان از تجمع ذرات جامد در آن جلوگیری شود. اما به دلیل وجود سرند در چاهک این امکان وجود ندارد، از طرفی از این شبکه‌ها در طرح‌های جدید استفاده نمی‌شود. در نتیجه برای بازتر شدن مسیر جریان پالپ به درون چاهک تیکنر، چاهک پره‌ای نصب شد (شکل ۵). چاهک خوراک دهی پره‌ای تیکنرها (شکل ۵) شامل یک دیواره حلقوی به شعاع ۲ متر است که به وسیله پره‌هایی با زاویه مشخص نسبت به افق و یک طاقچه به هم متصل شده است. و خوراک هم جهت با جهت قرارگیری پره‌ها به آن وارد می‌شود. ارتفاع دیواره آن نیز ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. لازم به ذکر است که برای جلوگیری از ورود آشغال‌ها و ضایعات احتمالی به تیکنر یک سرند مناسب در ورودی تیکنر نصب شد (شکل ۶). وجود این سرند در خارج از تیکنر و دسترسی آسان برای تمیزکاری و بیرون آوردن آشغال‌های گرفته شده، موجب شد تا توقفات مربوط به تمیز کردن سرند درون چاهک خوراک دهی که هر ماه به مدت یک روز بود حذف شود.



شکل ۵- طرح شماتیک (داست) طرح واقعی اجرا شده (چپ) چاهک خوراک دهی جدید



شکل ۶- نصب سردآب آشغال گیر در ورودی تیکنرهای مس-مولبیدن

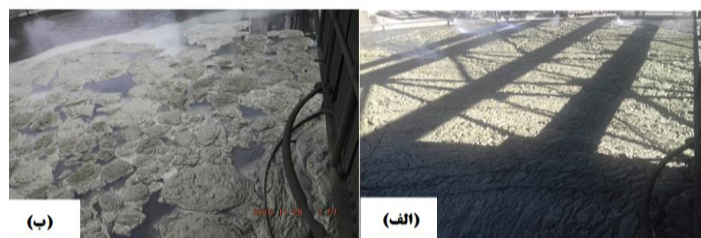
یکی دیگر از مشکلات این تیکنرها راه یابی کف به سرریز به دلیل کارایی نامناسب دوش‌های تیکنر و چاهک خوراک دهی نامناسب است. این کف‌ها به همراه خود ذرات کنسانتره را به سرریز می‌برند. برای جلوگیری از هدرروی این ذرات باید طرح چاهک خوراک دهی و دوش‌های آن را تغییر داد. طرح مناسب برای این بین بردن کف قرار دادن دوش روی چاهک خوراک‌دهی تیکنر است که محل اصلی تولید کف است و در نتیجه می‌توان با مصرف کمتر آب (چون محیط چاهک بسیار کمتر از محیط تیکنر است، در نتیجه مصرف آب بسیار کمتر است) این کف‌ها را از بین برد. همچنین، به منظور جلوگیری از انتشار کف از چاهک به سمت محیط تیکنر و توقف کف‌ها در مسیر دوش جدید، چاهک خوراک دهی به نوع پره‌ای تغییر یافت (شکل ۷).



شکل ۷- تغییرات انجام شده برای از بین بردن کف در چاهک خوراک دهی

۳-۱- نتایج اعمال اصلاحات در کارخانه

تغییر چاهک خوراک دهی از نوع معمولی به چاهک نسل جدید پره‌ای و نصب دوش بر روی چاهک خوراک دهی باعث شد که میزان کف موجود در سطح تیکنر بسیار کاهش یابد (شکل ۸) و علاوه بر آن با نمونه‌گیری‌های انجام شده قبل و بعد از اعمال تغییرات، مشخص شد که میزان ذرات جامد موجود در آب سرریز از ۰/۳۵ به ۰/۱۳ گرم بر لیتر کاهش یافت و به عبارت دیگر شفافیت آب سرریز در حدود ۶۳ درصد افزایش یافت (شکل ۹).

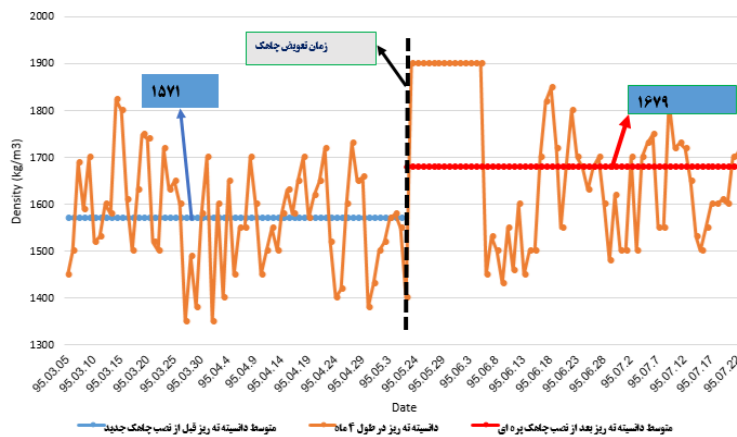


شکل ۸- کف در چاهک و سطح تیکنر (الف) قبل از تغییرات (ب) پس از تغییرات



شکل ۹- نمایی از شفافیت آب سرریز (الف) قبل از تغییرات (ب) پس از تغییرات

همچنین پس از اعمال تغییرات متوسط دانسیته ته ریز تیکتر از ۱۵۷۱ به ۱۶۷۹ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت که در نتیجه آن میزان بازیابی آب در این تیکتر حدود ۷ درصد افزایش پیدا کرد که باعث افزایش عملکرد کارخانه جدایش مولیدن می گردد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- تغییرات دانسیته ته ریز تیکتر قبل و بعد از اعمال تغییرات

۴. نتیجه گیری

- ✓ وجود کف حاوی کنسانتره مس-مولیدن در سطح تیکترهای مس-مولیدن باعث هدرروی سالانه حدود ۲۰۰۰ تن کنسانتره از طریق سرریز تیکترها به باطله می شود و که علاوه بر هدر روی این مواد، کدورت آب سرریز را زیاد و استفاده مجدد از آن را محدود می کند.
- ✓ به منظور بهبود کارآیی چاهک خوراک دهی تیکترهای مس-مولیدن مجتمع مس سرچشمه اصلاحاتی (تعویض چاهک خوراک دهی به نوع پره ای و نصب دوش کف شکن روی آن) بر روی آن پیشنهاد و اجرا شد.
- ✓ نصب دوش آب کف شکن بر روی چاهک خوراک دهی تیکتر باعث شکستن کف در مرکز با استفاده از آب کمتری نسبت به دوش های موجود در محیط تیکتر گردید و از انتشار کف در سطح تیکتر جلوگیری کرد.
- ✓ وجود پره ها و طاقچه در چاهک خوراک دهی پره ای باعث چرخش بیشتر و به طبع آن زمان ماند بیشتر مواد می شود و در نتیجه مواد جامد در همان مرکز تیکتر ته نشین می شوند و شانس کمتری برای راهیابی به سرریز تیکتر را دارند. که در نتیجه استفاده از آن بازیابی آب ۷٪ افزایش یافت و کدورت سرریز تیکتر نیز ۶۳٪ کاهش یافت.



۵. تقدیر و تشکر

از تمامی کارکنان واحدهای امور تحقیق و توسعه، مهندسی و امور تغلیظ مجتمع مس سرچشمه که صمیمانه در اجرای این پروژه ما را یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

۶. مراجع

- [1] Gh. Parsapour, E. Arghavani, S. Banisi and S. Mousavi (2014), "Improving performance of the Gol-E-Gohar iron ore concentration plant thickener", IMPC2014, Santiago, Chile.
- [2] Coe H.S., Clewenger G.H. (1916), "Methods for determining the capacities of slime settling tanks", Trans, AIME 55, P.P. 356-384.
- [3] Wills B.A., Finch J.A (2016), "Wills' Introduction to Mineral Processing Technology", Eighth ed., Elsevier Science & Technology Books Publisher.
- [4] گرمسیری، م. (۱۳۸۷) "بررسی کارایی تیکنرهای باطله مجتمع مس میدوک و امکان سنجی بهبود کارایی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد فراوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش مهندسی معدن
- [5] Parsapour Gh., Hossininasab M., Yahyaei M., and Banisi S. (2012), "Effect of Mode of Flocculation on Flocs sedimentation Behavior in Various Regions of Thickeners", IMPC2012, NewDelhi.
- [6] Parsapour Gh., Hossininasab M., Yahyaei M., and Banisi S. (2014), "Effect of settling test procedure on sizing thickeners", Separation and Purification Technology, Vol. 122, p.p. 87-95.
- [7] A. R. Hasankhoei, M. Yahyaei, A. Mahdavi, S. Banisi (2012), "Improving efficiency of the Shahre-Babak copper complex deep cone thickeners", IMPC2012, NewDelhi.
- [8] پارساپور غ، بنیسی ص.، (۱۳۹۱) "افزایش کارایی تیکنرهای معمول با اصلاح ساختار سازگار با تیکنرهای نسل جدید مطالعه موردی: کارخانه فرآوری مگنتیت شرکت معدنی و صنعتی گل گهر"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش مهندسی معدن.
- [9] C Loan¹, G Showers² and R Triglavcanin³. (2009), "operational results from the vane feedwell – cutting- edge modelling Turned into Reality", Tenth Mill Operators' Conference, Adelaide, SA
- [10] NATIONAL IRANIAN COPPER INDUSTRIES COMPANY (1977), "Concentrate Thickening and Filtering", User Manual.
- [11] منتظری نائینی، ح.م. پارساپور، غ. ارغوانی، ا. بنیسی، ص. "روشی برای کاهش کدورت آب بازیابی شده در تیکنرها-مطالعه موردی: تیکنرهای مس-مولیبدن مجتمع مس سرچشمه" ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب، ۱ تا ۳ اردیبهشت ۱۳۹۵، دانشگاه کردستان.