

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



اندازه گیری زمان ماند در مدار رافر فلوتاسیون مولیبدنیت سرچشمه و آزمایشهای سینتیک به منظور بهینه سازی عملیات



چکیده:

باتوجه به افزایش عمق معدن مس سرچشمه و تغییرات عیار، ترکیب کانی شناسی و بارورودی و نیز اجرای فاز اول و دوم طرح توسعه تغلیظ، تناژ و کیفیت بار ورودی به کارخانه فلوتاسیون مولیبدنیت تغییر یافته است. تغییرات مذکور باعث افت راندمان و در موارد متعددی سرریز کردن سلوهای رافر مدار کارخانه مولیبدنیت شده است. بر اساس فلوشیت موجود سلولهای پرعیار کنی اولیه نقش مهمی در بازیابی مولیبدنیت دارند و چنانچه بخشی از مولیبدنیت در این مرحله به باطله راه پیدا کند، بطور کلی از سیستم جدایش خارج شده و میزان بازیابی را کاهش می دهد. به منظور عیب یابی مدار فلوتاسیون رافر، در این تحقیق توزیع زمان ماند سلولهای رافر اندازه گیری شد و نتایج با طرح اولیه مقایسه گردید. در نتیجه این بررسیها مشخص شد که متوسط زمان ماند فعلی سلولهای رافر ۱۸/۲۴ دقیقه است که ۲ دقیقه بیشتر از طرح اولیه است و لذا افزودن سلول جدید به مدار رافر برای افزودن زمان ماند ضرورتی ندارد. در ادامه آزمایشهای سینتیک فلوتاسیون بر جریانهای مختلف پالپ ورودی به مدار رافر نشان داد که ثابت سرعت فلوتاسیون مولیبدنیت موجود در باطله کلینر ۱ به مراتب کم تر از ثابت سرعت فلوتاسیون مولیبدنیت موجود در خوراک تازه است و بر این اساس اصلاح چیدمان مدار و کاهش نوسانات با ورودی به کارخانه مولیبدنیت برای افزایش راندمان عملیات پیشنهاد گردید.

کلید واژه ها: فلوتاسیون، مولیبدنیت، سینتیک، زمان ماند، مجتمع مس سرچشمه



Residence time distribution and kinetics studies for the optimization of the rougher stage in molybdenite flotation plant of Sarcheshmeh copper complex

Abstract:

Due to the increase in the depth of Sarcheshmeh copper mine and consequently changes in the Cu and Mo content of the ore, the mineral composition and the tonnage of the feed stream to molybdenite flotation plant has been changed in recent years. These changes and also the expansion of the 2nd phase of the flotation plant caused the decrease in process efficiency. The rougher section of the process flowsheet in molybdenite flotation plant has a critical role in the total recovery of molybdenite. Therefore, in this research, the residence time distribution of materials in the rougher flotation cells was measured and the results were compared with the initial design criteria of the plant. The results showed that under current process condition, the average residence time in rougher cells (18.24 min) was 2 minutes more than that of the design criteria and it is not needed to add any flotation cell into this section of the circuit. However, the results of the kinetic flotation experiments on the different streams of the feed materials into the rougher cells showed that molybdenite flotation rate constant for the first cleaner tailings was less than the corresponding rate constants of the fresh feed. The reduced efficiency of the plant was related to the cell arrangement and the circulation of the tailing streams to the rougher stage.

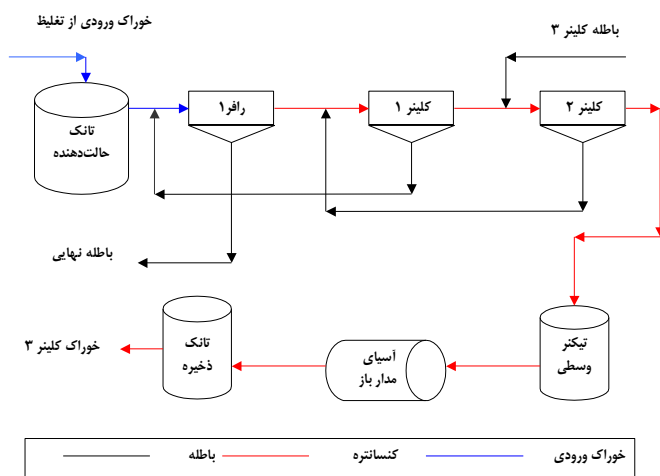
Keywords: Flotation, Molybdenite, Kinetic, Residence time, Sarcheshmeh copper complex

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



مقدمه :

مدار ۲۴ ساعته‌ی کارخانه‌ی مولیبدنیت مس سرچشمه از ۴ ردیف سلول‌های رافر، کلینر ۱ و کلینر ۲ تشکیل شده است، (شکل ۱). با توجه به افزایش عمق معدن و تغییرات عیار، ترکیب کانی شناسی و بارورودی و نیز اجرای اول و دوم طرح توسعه کارخانه‌ی تغلیظ مس سرچشمه، تناژ و کیفیت بار ورودی به کارخانه مولیبدنیت تغییر یافته است. تغییرات مذکور در مواردی باعث افت راندمان و در موارد متعددی سرریز کردن پالپ از سلول‌های رافر شده است. جهت بررسی علت افت راندمان سلول‌های رافر و مشکلات موجود، به بررسی زمان ماند سلول‌های رافر و مقایسه آن با طرح اولیه و همچنین بررسی تاثیر نوع جریان ورودی به سلول‌های رافر بر روی سرعت شناور شونندگی مولیبدن در شرایط عملیاتی پرداخته شد.



شکل ۱- فلوشیت مدار ۲۴ ساعته کارخانه مولیبدنیت مجتمع مس سرچشمه [۱]



بحث و روش تحقیق:

به طور کلی در هر ظرفی که یک واکنش اتفاق می‌افتد الگوی اختلاط مواد و توزیع زمان ماند آنها دارای اهمیت می‌باشد [۲]. یک روش مناسب برای اندازه‌گیری توزیع زمان ماند، تزریق ضربه‌ای یک ماده ردیاب در خوراک ورودی به ظرف و اندازه‌گیری تغییرات آن در خروجی در طول زمان می‌باشد. برای سلول‌های رافر کارخانه‌ی مولیبدنیت از نمک به عنوان ردیاب استفاده شد. برای

بررسی توزیع زمان ماند، از سه مدل weller (معادله ۱)، N-Mixer (معادله ۲) و LSTS (معادله ۳) استفاده شد [۳].

$$RTD(t) = \left\{ -\frac{t - \tau_{pf}}{\tau_s} \exp\left(-\frac{t - \tau_{pf}}{\tau_s}\right) - A \exp\left(-\frac{t - \tau_{pf}}{\tau_s}\right) + A \exp\left(-\frac{t - \tau_{pf}}{\tau_l}\right) \right\} \left(\frac{A}{\tau_l}\right) \quad (1)$$

$$RTD(t) = \frac{n^n (t - \tau_{pf})^{n-1} \exp\left(-\frac{n(t - \tau_{pf})}{\tau_E}\right)}{(\tau_E)^n (n-1)!} \quad (2)$$

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



$$RTD(t) = \frac{1}{(\tau_s - \tau_L)} \cdot \left(\exp\left(-\frac{(t - \tau_D)}{\tau_s}\right) - \exp\left(-\frac{(t - \tau_D)}{\tau_L}\right) \right) \quad (3)$$

$$\tau = \tau_L + \tau_s + \tau_D, \quad t \geq \tau_D$$

جهت بررسی تاثیر نوع جریان ورودی به سلول های رافر بر روی سرعت فلوتاسیون مولیدن، ۹ تست سینتیکی فلوتاسیون و مشابه شرایط عملیاتی کارخانه بر روی خوراک تازه ی ورودی، باطله ی کلینر ۱ که به صورت جریان برگشتی وارد سلول های رافر می شود و مخلوط خوراک تازه و باطله ی کلینر ۱ انجام شد. سپس داده های حاصل بر روی معادله ی $R = Rinf(1 - e^{-kt})$ برازش گردید و مقدار ثابت سرعت فلوتاسیون و بازیابی بینهایت برای مولیدن بدست آمد [۴].

زمان ماند سلول های رافر

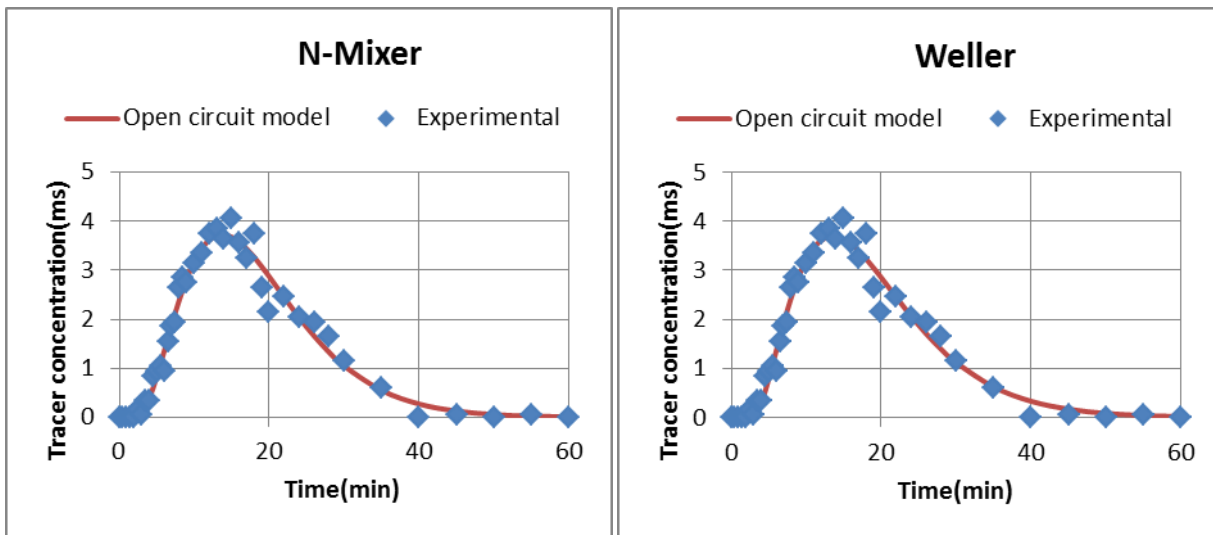
در تناژ ۴۳۵ تن در روز برای هر ردیف از سلول های رافر، و با استفاده از مدل های N-Mixer، Weller و LSTS، زمان ماند سلول های رافر به ترتیب ۱۸/۴۷، ۱۸/۹۴ و ۲۸/۳۶ دقیقه بدست آمد. پارامترهای آماری هر کدام از مدل ها در جدول (۱) آورده شده است. تغییرات غلظت نسبت به زمان نیز برای این سه مدل در شکل های (۲ و ۳) آورده شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری بدست آمده برای مدل های N-mixer، Weller، LSTS

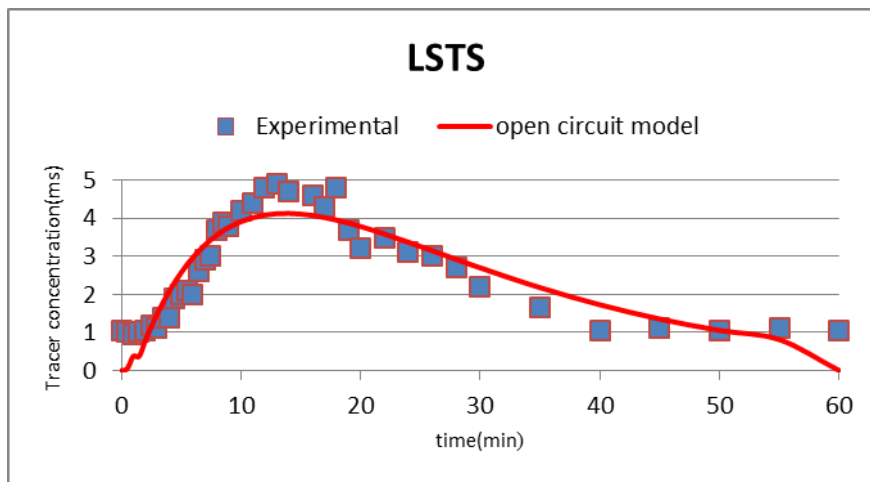
پارامترهای مدل					مدل
SSE	τ_{av}	τ_l	τ_s	τ_{pf}	Weller
۲	۱۸,۹۴	۵,۶۹	۵,۲۵	۲,۴۷	
SSE	τ_{av}	τ_s	N	τ_{pf}	N-Mixer
۱,۹	۱۸,۴۷	۱۶,۵۷	۳,۴۹	۱,۹	
SSE	τ_{av}	τ_D	τ_l	τ_s	LSTS
۱۴,۸۵	۲۸,۳۶	۱,۰۶	۱۸	۹,۳	

باتوجه به مقادیر بدست آمده برای مجموع مربعات خطا می توان نتیجه گرفت که N-Mixer در اینجا مدل معتبرتری است. زمان ماند سلول های رافر طبق طرح اولیه ۱۶/۴۲ دقیقه می باشد در حالی که زمان ماند اندازه گیری شده در کارخانه ۱۸/۴۷ دقیقه بدست آمد، که نشان می دهد زمان ماند سلول های رافر نسبت به طرح اولیه بیشتر است.

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی
و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین
۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

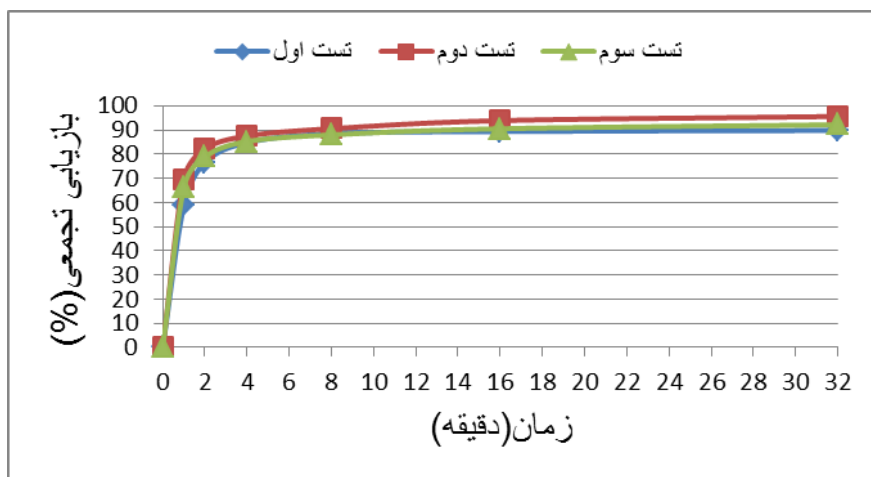


شکل ۲- تغییرات غلظت- زمان در نمونه برداری از باطله سلول های رافر کارخانه مولیبدنیت با استفاده از نرم افزار RTD برای مدل های Weller و N-Mixer



شکل ۳- تغییرات غلظت- زمان در نمونه برداری از باطله سلول های رافر کارخانه مولیبدن با استفاده از نرم افزار Excel برای مدل LSTS

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



شکل ۴- تغییرات بازیابی مولیدن بر حسب زمان از آزمایش سینتیک خوراک تازهی ورودی به سلول رافر

تاثیر نوع جریان ورودی به سلول های رافر بر روی سرعت فلوتاسیون مولیدن

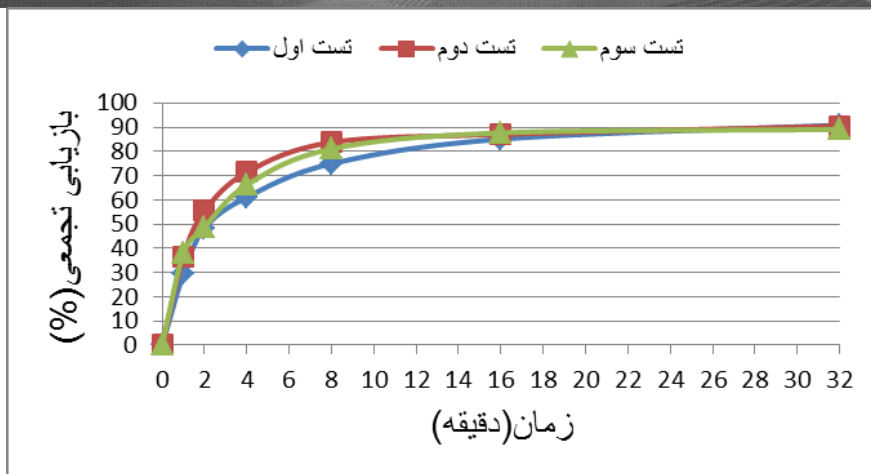
در شکل (۴) نتایج حاصل از سه تست فلوتاسیون به صورت سینتیکی بر روی خوراک تازهی ورودی (کنسانتره ی تغلیظ ۱ و ۲) به سلول های رافر و تاثیر آن بر بازیابی تجمعی مولیدن مشاهده می شود. همچنین در جدول (۲) ثابت سرعت و بازیابی بی نهایت مولیدن برای این ۳ تست آورده شده است.

جدول ۲- مقدار بازیابی بینهایت و ثابت سرعت فلوتاسیون مولیدن از آزمایش سینتیک خوراک تازهی ورودی به سلول رافر

شماره ی تست	ثابت سرعت (بر دقیقه)	بازیابی بی نهایت
تست اول	۱,۰۵	۸۸,۴۱
تست دوم	۱,۳۴	۹۱,۶۱
تست سوم	۱,۲۹	۸۸,۷۶
میانگین	۱,۲۳	۸۹,۶

در شکل (۵) نتایج حاصل از سه تست فلوتاسیون به صورت سینتیکی بر روی باطله ی کلینر ۱ و تاثیر آن بر بازیابی تجمعی مولیدن مشاهده می شود. همچنین در جدول (۳) ثابت سرعت و بازیابی بی نهایت مولیدن برای این ۳ تست آورده شده است.

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



شکل ۵- تغییرات بازیابی مولیبدن بر حسب زمان از آزمایش سینتیک باطله ی کلینر اول

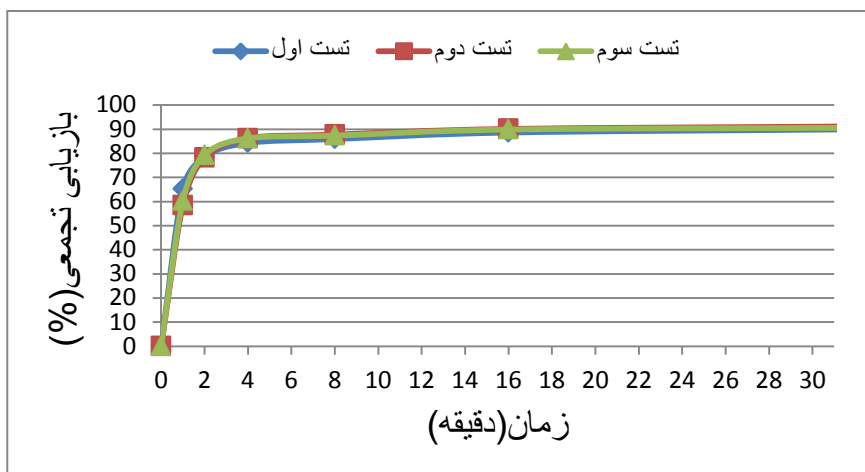
جدول ۳- مقدار بازیابی بینهایت و ثابت سرعت فلوتاسیون از آزمایش سینتیک باطله کلینر اول

شماره ی تست	ثابت سرعت (بر دقیقه)	بازیابی بی نهایت
تست اول	۰/۳۶	۸۵,۳۹
تست دوم	۰/۴۹	۸۷,۱۷
تست سوم	۰/۴۳	۸۶,۲۹
میانگین	۰/۴۳	۸۶,۲۸

با توجه به جدول های (۲) و (۳) و با توجه به ثابت سرعت فلوتاسیون خوراک تازه و باطله ی کلینر ۱ مشاهده می شود که متوسط ثابت سرعت فلوتاسیون مولیبدن در خوراک تازه ۱,۲۳ (بر دقیقه) می باشد در حالی که برای باطله ی کلینر ۱ به ۰/۴۳ (بر دقیقه) کاهش یافته است. این کاهش ۶۵ درصدی در ثابت سرعت فلوتاسیون مولیبدن باطله ی کلینر ۱ نسبت به خوراک تازه اهمیت توجه به نسبت مخلوط شدن باطله ی کلینر اول و خوراک تازه را در سلول های رافر مشخص می کند.

در شکل (۶) نتایج حاصل از سه تست فلوتاسیون به صورت سینتیکی بر روی مخلوط خوراک تازه و باطله ی کلینر ۱ با توجه به نسبت طرح اولیه یعنی ۷ درصد باطله ی کلینر اول و ۹۳ درصد خوراک تازه، انجام شده و تاثیر آن بر بازیابی تجمعی مولیبدن مشاهده می شود. همچنین در جدول (۴) ثابت سرعت و بازیابی بی نهایت مولیبدن برای این ۳ تست آورده شده است.

کارگاه های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین ۲ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران



شکل ۶- تغییرات بازیابی مولیدن بر حسب زمان از آزمایش سینتیک مخلوط باطله ی کلینر اول و خوراک تازه

جدول ۴- مقدار بازیابی بینهایت و ثابت سرعت فلوتاسیون از آزمایش سینتیک مخلوط باطله کلینر اول و خوراک تازه

شماره ی تست	ثابت سرعت (دقیقه/۱)	بازیابی بی نهایت
تست اول	۱,۳۲	۸۷,۰۳
تست دوم	۱,۰۵	۸۹,۱۸
تست سوم	۱,۱۳	۸۸,۷۵
میانگین	۱,۱۷	۸۸,۳۲

با توجه به نتایج بدست آمده، مشاهده می شود که چنانچه باطله ی کلینر ۱ و خوراک تازه با نسبتی که در طرح اولیه ی کارخانه آمده است با یکدیگر مخلوط شوند، باطله ی کلینر ۱ تنها باعث کاهش ۵ درصدی سرعت شناور شوندگی مولیدن نسبت به زمانی که کل خوراک ورودی به رافر، خوراک تازه ی ارسالی از تغلیظ ۱ و ۲ است، می شود. اما با توجه به نوسانات شدید در تناژ باطله ی کلینر اول، می تواند بر روی سرعت شناور شوندگی مولیدن در سلول های رافر تاثیر بسیار زیادی گذاشته باشد و بازیابی مولیدن را کاهش داده و همچنین می تواند یکی از عوامل مهم در ریخت و پاش ها در کارخانه بخصوص سلول های رافر باشد.



نتیجه گیری :

زمان ماند در سلول های رافر با استفاده از تغییرات هدایت الکتریکی اندازه گیری شد که زمان ماند سلول های رافر با تناژ ۴۳۵ تن در روز برای سلول های رافر ۱۸,۴۷ دقیقه بدست آمد که ۲ دقیقه بیشتر از زمان ماند در طرح اولیه می باشد.

کارگاه‌های آموزشی و سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین ۳ الی ۵ اسفند ۱۳۹۴ ایران - تهران

سرعت شناور شوندگی مولیبدن در خوراک تازه، باطله‌ی کلینرا و مخلوط خوراک تازه و باطله‌ی کلینرا به ترتیب ۱،۲۳، ۰/۴۳ و ۱،۱۷ (بر دقیقه) بدست آمد. چنانچه باطله‌ی کلینر اول و خوراک تازه با نسبتی که در طرح آمده با هم مخلوط شوند، باطله‌ی کلینر اول تنها باعث کاهش ۵ درصدی سرعت شناور شوندگی مولیبدن می‌شود. اما چنانچه میزان تناژ بار برگشتی از باطله‌ی کلینرا افزایش یابد باعث کاهش بازیابی مولیبدن می‌شود و می‌تواند یکی از عوامل مهم در افت راندمان و سرریز کردن سلولها در مدار رافرکارخانه باشد.



منابع فارسی:

- [۱] م. بهجت جباری و م. یاراحمدی، "بررسی وضعیت بالانس متالورژیکی مواد در مدار فلوتاسیون کارخانه مولیبدن مجتمع مس سرچشمه،" تابستان ۱۳۹۰.

References:

- [۲] c. bazin and p. melanie, "Distribution of reagents down a flotation bank to improve the recovery of coarse particles," *mineral processing*, vol. 61, no. Department of Mining and Metallurgy, LaAl University, Quebec, Canada, pp. 1-12, 2001.
- [3] J. Yianatos, I. Bergh, I. Vinnett, I. Panire and f. Díaz, "Modelling of residence time distribution of liquid and solid in mechanical flotation cells," *minerals engineering*, vol. 78, pp. 69-73, 12 decembe 2014.
- [4] Yianatos, J.B.; Henri'quez. F.D.; 2006; "Short-cut method for flotation rates modeling of industrial flotation Banks", *Minerals Engineering* 19, 1336-1340.