Research Article

DOI: 10.22034/ijche.2022.348558.1218

DOR: 20.1001.1.17355400.1402.22.129.4.9

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license(CC BY-NC-ND 4.0).

Effect of Surfactants on the Vacuum Filtration in the Dewatering Process from Iron Concentrate Slurry

S. Habibi Nejad[1], S. Ghaffarinejad[1], R. Rezazadeh[1], A. Hajizadeh[1], M. M. Afsahi[2*]

1- M. Sc. in Mineral Processing, Processing Affairs, Gol Gohar Mining and Industrial Company

2- Associate Professor of Chemical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

Email: Afsahi@uk.ac.ir

Abstract

One of the ore dressing steps in Gol Gohar Mining and Industrial Company is dewatering from slurry containing 60 weight percent of the iron concentrate. At present, this dewatering step is carrying out by a continuous strip filter, which is a kind of vacuum filter. At the present research the role of ionic and non-ionic surface activators in reducing the moisture, content of the iron ore particles, after filtration, has been investigated. Surface activators used were sodium dodecyl sulfate (SDS), polyethylene glycol 4000 (PEG4000), sodium dodecyl ether sulfate (SLES) and acetyl tri methyl ammonium bromide (CTAB). In this work amount of 30, 45, 60, 75 and 90 g/ton of the mentioned surfactants were added to the slurry. To evaluate effect of each surfactant, in addition to amount of filter cake humidity, other experiments including filtration kinetics, Zeta potential, contact angle measurement, and FTIR analysis on the samples were carried out. The results showed that SDS and SLES anionic surface activators have a significant effect on the reducing cake moisture. The best results obtained at 75 g /ton of the surfactants and the average moisture reduction in filter cake obtained about 2%. On the other hand, polyethylene glycol 4000 had a negligible effect, 0.5%, on the final cake humidity. The results from addition of acetyl tri methyl ammonium bromide (CTAB) showed that using this chemical reagent does not help to the slurry dehumidification.

Received: 25 June 2022
Accepted: 14 September 2022
Page Number: 39-49

Keywords:
Surfactant,
Filtration Cake,
Moisture Reduction,
Iron Ore Concentrate

Please Cite this Article Using:

Habibi Nejad, S., Ghaffarinejad, S., Rezazadeh, R., Hajizadeh, A., & Afsahi, M. M. (2023). Effect of Surfactants on the Vacuum Filtration in the Dewatering Process from Iron Concentrate Slurry. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 22(129), 39-49, [In Persian].

مقـــالـــه پـــژوهشی

DOI: 10.22034/ijche.2022.348558.1218
DOR: 20.1001.1.17355400.1402.22.129.4.9

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license(CC BY-NC-ND 4.0).

اثر مواد فعال سطحی بر فیلتراسیون خلأ در فرایند آب‌گیری از دوغاب حاوی کنسانترهٔ آهن

سعید حبیبی‌نژاد[۱]، سعید غفاری[۱]، روح‌الله رضازاده[۱]، امیرحاجی‌زاده[۱]، محمدمهدی افصحی[۲*]

۱- کارشناس ارشد فراوری مواد معدنی، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر

۲- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

پیام نگار: Afsahi@uk.ac.ir

چکیده

یکی از مراحل تغلیظ در مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر، مرحلهٔ آب‌گیری از دوغاب حاوی ۶۰ درصد وزنی ذرات کنسانتره است. درحال حاضر این مرحلهٔ آب‌گیری با استفاده از یک فیلتر نواری با کارکرد مداوم، که در زمرهٔ فیلترهای تحت خلأ است، انجام می‌گیرد. در پژوهش حاضر، نقش فعال‌کنندهٔ سطح یونی و غیریونی در کاهش میزان رطوبت ذرات سنگ‌آهن، پس از فیلتراسیون، بررسی شده است. فعال‌کننده‌های سطحی مورد استفاده، سدیم دو دسیل سولفات (SDS)، پلی اتیلن گلیکول ۴۰۰۰ (PEG4000)، سدیم دودسیل اتر سولفات (SLES) و ستیل تری متیل آمونیوم برمید (CTAB) بود. در این تحقیق مقدار ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ گرم بر تن از هر یک از مواد فعال‌کنندهٔ سطح ذکرشده، به دوغاب اضافه شد. برای ارزیابی میزان تأثیر هر یک از مواد فعال سطحی، میزان رطوبت کیک پس از فیلتراسیون، جنبش‌شناسی آب‌گیری از دوغاب، آزمایش پتانسیل زتا، آزمایش مربوط‌به تعیین زاویهٔ تماس سطح و آنالیز FTIR بر روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که مواد فعال‌کنندهٔ سطح آنیونی SDS و SLES تأثیر معناداری بر کاهش رطوبت کیک دارند. بهترین مقدار این مواد ۷۵ گرم بر تن و میانگین کاهش رطوبت در کیک فیلتراسیون حدود ۲٪ به‌دست آمد. از سوی دیگر پلی‌اتیلن گلیکول ۴۰۰۰ تأثیر بسیار جزئی، به‌مقدار ۰/۵٪، بر میزان رطوبت نهایی داشت. نتایج به‌دست‌آمده از افزودن ستیل تری‌متیل آمونیوم برماید به دوغاب نشان داد که استفاده از این مادهٔ شیمیایی کمک چندانی به رطوبت‌گیری از دوغاب نمی‌کند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳
شماره صفحات: ۳۹ تا ۴۹

کلیدواژه‌ها:
فعال‌کنندهٔ سطحی،
کیک فیلتراسیون،
کاهش رطوبت،
کنسانترهٔ سنگ آهن

* کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی

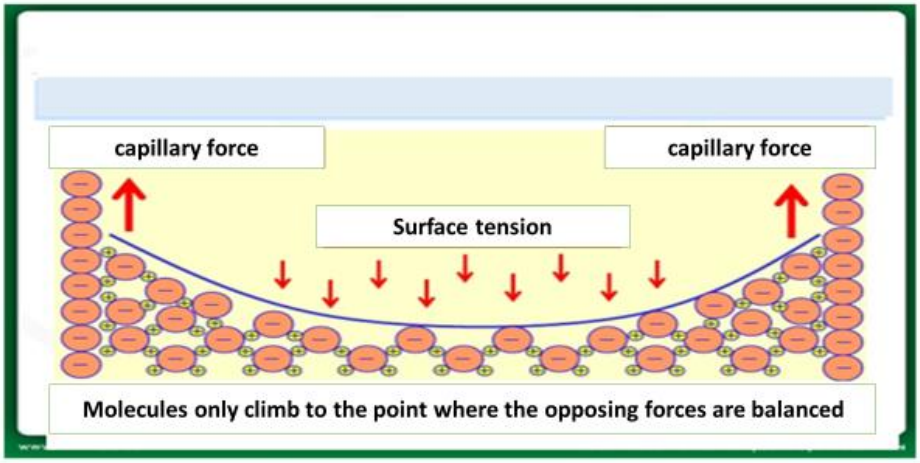
استناد به مقاله:
حبیبی‌نژاد، سعید، غفاری، سعید، رضازاده، روح‌الله، حاجی‌زاده، امیر، و افصحی، محمدمهدی. (۱۴۰۲). اثر مواد فعال سطحی بر فیلتراسیون خلأ در فرایند آب‌گیری از دوغاب حاوی کنسانترهٔ آهن، *نشریه مهندسی شیمی ایران*، ۲۲(۱۲۹)، ۳۹-۴۹.

۱. مقدمه

یکی از خواص ذاتی سطح ذرات مواد معدنی در مقیاس میکرو، که امروزه در گرایش فراوری مواد معدنی، مطالعه و پژوهش مستقلی می‌طلبد، میزان آب‌گریزی یا آب‌دوستی است. میزان آب‌گریزی یا آب‌دوستی این مواد، تابع شدت میدان الکتریکی سطح ذرات است. پدیدهٔ موییننگی زمانی اتفاق می‌افتد که نیروی چسبندگی سطح نسبت‌به نیروی کشش سطح مایع در تماس با سطح یک جامد بیشتر باشد (شکل (۱)).

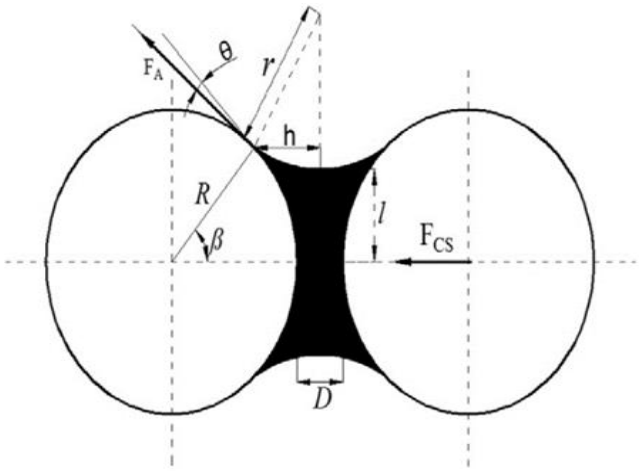
آب‌گیری در صنعت، به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد. سازوکارهای مختلف آب‌گیری مانند فیلتر پرس، فیلترهای نواری، تیکنرها و فیلترهای دیسکی در صنایع مختلف به‌کار می‌رود. تقریباً تمام صنایعی که در آن‌ها دوغاب ذرات ریز تولید می‌شود، از فیلتراسیون به‌عنوان عملیات واحد استفاده می‌کنند.

در حال حاضر یکی از مشکلات ایجادشده در کارخانهٔ تغلیظ مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر، فرایند فیلتراسیون خلأ دوغاب حاوی ذرات پرعیار شده است که منشأ این مشکل نیز همین خاصیت بالای آب‌دوستی سطح ذرات پرعیار شده است. پدیدهٔ موئینگی سبب می‌شود که حجم آب بین ذرات باطله کاهش پیدا کند و در عوض روی سطح ذرات بیشتر شود (شکل (۲)).



شکل ۱. مولکول‌های آب تحت تأثیر نیروی چسبندگی سطحی.

Figure 1. Water molecules under the influence of surface adhesion force.



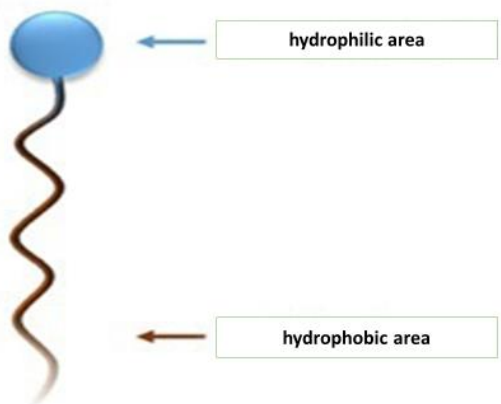
شکل ۲. پل مایعی بین دو ذرهٔ آب‌دوست.

Figure 2. Liquid bridge between two hydrophilic particles.

این پدیده در فیلتراسیون سبب می‌شود زمانی که جریانی از مولکول‌های هوا در منافذ بین ذرات حرکت می‌کند و به مولکول‌های آب در پل مایعی فضای بین ذرات نیرو وارد می‌کند، نتوانند مقدار بیشینهٔ آب را حمل کند و رطوبت‌زدایی کامل انجام شود. هرگاه مقدار مایع در پل مایعی فضای بین دو ذره بیشتر باشد، حجم آب بیشتری از پل بین مایعی در هنگام اعمال فشار هوا، از منافذ بین ذرات حمل می‌شود. امروزه با استفاده از دسته‌ای از مواد شیمیایی هیدروکربنی که به‌عنوان کمک‌فیلتر[1] نام گذاری شده‌اند، می‌توان ظرفیت رطوبت‌زدایی فرایند فیلتراسیون را افزایش داد. این مواد زنجیره‌های هیدروکربنی هستند که در طول زنجیره‌شان دسته‌ای محل فعال وجود دارد که حاوی گروه‌های عاملی با قطبیت الکتریکی است. زمانی‌که ذرات کنسانترهٔ آهن در حضور مولکول‌های دوقطبی آب و این مواد کمک‌فیلتر قرار می‌گیرند، از آنجایی‌که شدت میدان الکترواستاتیکی محل‌های فعال گروه‌های عاملی مواد کمک‌فیلتر از میدان الکترواستاتیکی مولکول‌های دوقطبی آب بیشتر است، سبب جذب هیدروکربن کمک‌فیلتر در سطح ذره می‌شود. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت که سطح ذره برای جذب کمک‌فیلتر نسبت‌به مولکول‌های آب ظرفیت بیشتری دارد. بر همین اساس با ایجاد یک لایه از کمک‌فیلتر مورد نظر، می‌توان ظرفیت میدان سطح ذرات پرعیارشده و درنتیجه پتانسیل زتا را کاهش داد و در سطح ذره خاصیت آب‌رانی ایجاد کرد.

امروزه استفاده از کمک‌فیلتر به‌خوبی شناخته‌شده است؛ اما باوجود استفادهٔ جهانی این مواد به‌عنوان کمک آب‌گیر، کاربرد آن‌ها در ایران از اهمیت کمی برخوردار است. جداسازی جامد و مایع یک بخش جدایی‌ناپذیر بیشتر فرایندهای معدنی و عملیات هیدرومتالورژی است[۱،۲]. به‌طور کلی در این زمینه دو نوع افزودنی شیمیایی برای استفاده های صنعتی موجود است: یکی کمک‌آبگیر فلوکولانت و دیگری کمک‌آبگیر فعال کنندهٔ سطح[۳،۴]. در تحقیق حاضر از فعال‌کننده‌های سطح استفاده شد.

مواد فعال‌کنندهٔ سطحی ترکیبات غیرپلیمری آمفی‌فیلیک شبیه‌به کلکتورهای فلوتاسیون هستند. فعال کننده های سطح معمولاً ترکیباتی آلی هستند که از دو قسمت تشکیل شده‌اند. یک گروه آب‌ران که نقش دم و دنباله را دارند و معمولاً دارای یک زنجیرهٔ بلند هیدروکربنی هستند و یک گروه آب‌دوست (سولفونات، کربوکسیلات، اتوکسیلات) که نقش سر را دارند. این مواد به‌دلیل طبیعت دوگانه در ساختار مولکولی به‌عنوان مواد فعال سطحی عمل می‌کنند؛ بنا بر این معمولاً به‌طور ناچیز در آب و حلال‌های آلی حل می‌شوند. نوع و تعداد گروه‌های آب‌دوست بر میزان جذب فعال کننده و طول زنجیرهٔ هیدروکربنی برروی انحلال یا تفرق آن در آب تأثیرگذار است. مواد فعال‌کنندهٔ سطحی معمولاً براساس گروه‌های باردار به ۴ گروه آنیونی، کاتیونی، غیریونی و آمفوتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. مواد فعال سطحی غیریونی در قسمت سرخود بی بار هستند. اگر بار منفی باشد مادهٔ فعال سطحی آنیونی و اگر مثبت باشد، مادهٔ فعال سطحی، کاتیونی است. گاهی قسمت سر دارای هر دو بار منفی و مثبت است که به آن آمفوتریک گویند (شکل (۳))[۵].



شکل ۳. طرحواره از یک فعال‌کنندهٔ سطحی.

Figure 3. Schematic of a surfactant.

1. Filter Aid

خطوط شمارهٔ ۵، ۶ و ۷ کارخانهٔ تغلیظ مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر، اختصاص به فرایند پرعیارسازی کانسنگ آهن به‌روش تر دارد. در این روش با استفاده از فیلترهای نواری و به‌کمک خلأ، آب از دوغاب جدا می‌شود. یکی از فرایندهای تولید گندلهٔ اکسید آهن در کارخانهٔ گندله‌سازی، مرحلهٔ بعد از پرعیارسازی، مرحلهٔ افزایش بلین ذرات کنسانترهٔ آهن است. در این مرحله، کنسانترهٔ خروجی از فرایند فیلتراسون باهدف افزایش بلین ابتدا وارد تجهیز HPGR می‌شوند. یکی از مؤلفه‌های بسیار مؤثر در فرایند افزایش بلین میزان درصد رطوبت باقی‌ماندهٔ ذرات کنسانترهٔ خوراک است. طبق بررسی‌های انجام‌شده میزان رطوبت کنسانترهٔ خروجی از فیلترهای نواری بین ۹ تا ۱۰ درصد است؛ درحالی‌که رطوبت برای تأمین خوراک ورودی به تجهیز HPGR باید کمتر از ۷ درصد باشد. بر این اساس استفاده از روشی که بتوان شدت آب‌دوستی ذرات کنسانتره را کاهش دهد، از اهمیت بسیار زیادی برای فرایند افزایش بلین برخوردار است. در تحقیق حاضر برای بررسی اثر مواد فعال‌کنندهٔ سطحی در آب‌گیری ذرات پرعیارشدهٔ کانسنگ آهن در فرایند فیلتراسیون از چهار فعال‌کنندهٔ سدیم دودسیل سولفات با ماهیت آنیونی، ستیل تری‌متیل آمونیوم بروماید با ماهیت کاتیونی، سدیم لوریل اتر سولفات ماهیت آنیونی و پلی‌اتیلن گلیکوژن با ماهیت خنثی استفاده شد. هنگامی‌که یک فعال‌کنندهٔ سطح به دوغاب ذرات پرعیارشدهٔ آهن اضافه می‌شود، به‌دلیل قوی‌تر بودن میدان الکترواستاتیکی‌اش نسبت‌به مولکول‌های آب، می‌تواند با میدان الکترواستاتیکی سطح ذره برهمکنش کند، سطح ذره را پوشش دهد، آب‌ران کند و در نهایت از حضور مولکول‌های آب در سطح ذره جلوگیری کند. مواد شیمیایی کمک‌فیلتر می‌توانند به دوغاب ذرات کنسانترهٔ قبل از ورود به فرایند فیلتراسیون و یا به‌صورت محلول در هنگام فیلترشدن مواد روی تجهیز فیلتر اضافه شوند[۶].

- در سال ۱۹۹۱ ام وابا[1] تأثیر سورفکتانت‌های سدیم دی‌اتیل هگزیل سولفوسوکسینات را در بهبود آب‌گیری سوسپانسیون گرافیت و هماتیت بررسی کردند. نتایج آزمایشها نشان داد که وجود سورفکتانت سدیم دی(۲-اتیل گزیل) سولفوسوکسینات منجربه کاهش چشم‌گیری در رطوبت نهایی کیک فیلتر می‌شود و متوسط سرعت فیلتراسیون را افزایش می‌دهد[۷].

- در سال ۲۰۰۳ بسرا[2] و همکاران آب‌گیری سوسپانسیون کائولین را با فلوکولانت کاتیونی پلی‌آکریل‌آمید در حضور سورفکتانت‌ها بررسی کردند. سورفکتانت‌های مورد مطالعه شامل سدیم دودسیل سولفات آنیونی، ستیل تری‌متیل آمونیوم برمید کاتیونی و تریتون X100 غیریونی (یک ترکیب پلی‌آکسی اتیلنیک اتر) بود. آنان مشاهده کردند که استفاده از سورفکتانت در کنار فلوکولانت میزان ته‌نشینی را افزایش و در مواردی کاهش می‌دهد. هم‌چنین ترکیب‌کردن سدیم دودسیل سولفات با نسبت یک‌به‌یک با فلوکولانت بیشترین کاهش رطوبت کیک فیلتر نسبت را ایجاد کرد[۸].
- در سال ۲۰۰۸ اسماتولو[3] اثر آب‌رانی سطح روی فیلتراسیون و آب‌گیری ذرات ریز زغال سنگ (ذرات زیر ۰/۵ میلی‌متر) را مطالعه کرد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که عوامل آب‌ران‌کننده، زاویهٔ تماس یا به‌عبارتی آب‌گریزی را افزایش و کشش سطحی فیلتریت را کاهش می‌دهند. در اثر افزودن این مواد به دوغاب، زمان تشکیل کیک فیلتر و نیز محتوای رطوبت ذرات ریز کاهش می‌یابد[۹].
- در سال ۲۰۱۶ لیو[4] و همکارانش اثر سورفکتانت CTAB روی ترک‌های انقباضی کیک فیلتر را طی فیلتراسیون فشاری ذرات پرعیارشدهٔ سنگ آهن بررسی کردند. در طی فرایند آب‌گیری از ذرات پرعیارشدهٔ آهن، مشخص شد که تشکیل ترک‌های انقباضی به‌مقدار زیادی در فرایند فیلتراسیون مزاحمت ایجاد کرده، باعث رطوبت بالای کیک فیلتر می‌شود. در این تحقیق مشخص شد که مقدار این ترک‌ها پس از اضافه‌کردن سورفکتانت CTAB کاهش یافت[۱۰].
- پاترا[5] و همکارانش در سال ۲۰۱۶ اثر مواد شیمیایی را در کاهش رطوبت ذرات ریز سنگ آهن بررسی کردند. آن‌ها در مقالهٔ خود تأثیر سورفکتانت‌های آنیونی، کاتیونی و غیریونی را بر آب‌گیری ذرات سنگ آهن با محدودهٔ اندازهٔ زیر ۶ میلی‌متر و هم‌چنین آزمایش مقیاس صنعتی با سورفکتانت را بررسی کردند. در این تحقیق مشخص شد که همهٔ سورفکتانت‌ها رطوبت نهایی کیک فیلتر را کاهش می‌دهد؛ ولی سورفکتانت

1. Mwaba

2. Besra
3. Asmatulu
4. Liu
5. Patra

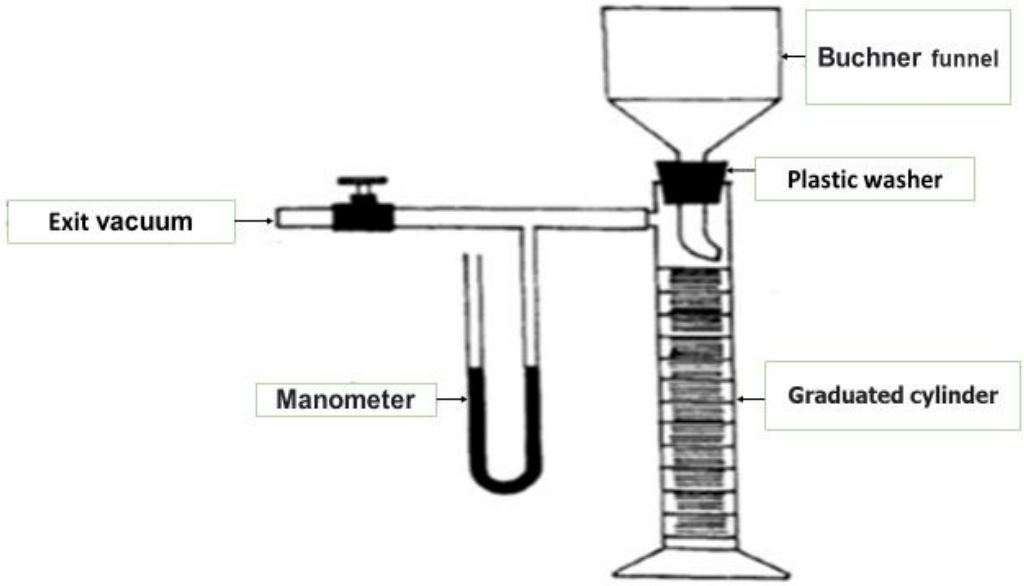
سدیم دودسیل سولفات نسبت‌به بقیه، بیشترین میزان کاهش را بـه‌وجـود آورد. میـزان کـاهش رطوبـت در اثـر افـزودن کمک‌فیلتر سدیم دودسیل سولفات ۲ تا ۴ درصد بود[۱۱].

۲. مواد و روش تحقیق

در تحقیق حاضر بـرای بررسـی اثـر مـواد فعـال کننـدۀ سـطحی بـر آب‌گیری ذرات پرعیارشدۀ کانسنگ آهـن در فراینـد فیلتراسـیون از چهار فعال‌کنندۀ سدیم دودسیل سولفات، ستیل تری‌متیـل آمونیـوم بروماید، سدیم لوریل اتر سولفات و پلی‌اتیلن گلیکوژن استفاده شـد. هنگامی‌که یک فعال‌کنندۀ سطح به دوغـاب ذرات پرعیارشـدۀ آهـن اضافه می‌شود، به‌دلیـل قـوی‌تـر بـودن میـدان الکترواسـتاتیکی‌اش، می‌تواند با میدان الکترواستاتیکی سطح ذره، برهمکنش کند و سطح ذره را پوشش دهد و درپایان از حضور مولکول‌های آب درسـطح ذره جلوگیری کند.

در پژوهش حاضر مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت های آلدریچ و مرک خریداری و بدون خـالص‌سـازی اسـتفاده شـد. در ایـن کـار فیلتراسـیون صـنعتی (فیلتراسـیون نـواری تحـت شـرایط خـلأ) در آزمایشگاه شبیه‌سازی شد (شکل (۴)). وسایل مربوطبه این آزمـایش شامل یک قیف بوخنر، استوانۀ مدرج جمع‌آوری فیلتریت، پمپ خـلأ و شلنگ اتصال پمپ به استوانه بود (شکل (۴)). در این تحقیق تأثیر چهار فعال‌کنندۀ سطح ذکرشده بـر عمـل‌کـرد فیلتراسـیون خـلأ در غلظت‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ گرم بر تن، بررسی شد. سعی شد تا حد ممکن کارهای مربوطبه این تحقیق، مشـابه آنچـه در صـنعت اتفاق می‌افتد باشد. به همین منظور ضخامت کیک فیلتر در مقیاس صنعتی اندازه‌گیری و در آزمایشگاه، مقدار دوغاب در حدی تهیه شد که پس از فیلتراسیون همان ضخامت کیـک در مقیـاس صـنعتی را به‌وجود آورد. در گام بعد دوغاب‌ها با درصد جامد یکسان و درحضور مواد شیمیایی کمک‌فیلتر با غلظت‌های متفاوت بـه‌مـدت دو دقیقـه فیلتر شدند. لازم به ذکر است که مدت زمـان فیلتراسـیون براسـاس زمان ماند مواد برروی فیلترهای نواری کارخانه مشخص شد. درآخـر میزان رطوبت باقی‌مانده از هر کدام از نمونه‌ها با خشک‌کردن با آون اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به‌مدت ۵ تا ۶ ساعت در آون بـا دمـای ۹۰ درجـۀ سلسـیوس قـرار گرفـت و کـاهش وزن نمونـه‌هـا بـا تـرازو اندازه‌گیری شد.

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر افزودن هـر یـک از مـواد فعـال سـطحی، علاوه‌بر میزان رطوبت کیـک، جنـبش‌شناسـی آب‌گیـری از دوغـاب، آزمایش پتانسیل زتا، زاویـۀ تمـاس سـطح و آنـالیز FTIR بـر روی نمونه‌ها نیز انجام شد.



شکل ۴. چیدمان آزمایشگاهی تجهیز آب‌گیری.

Figure 4. Laboratory arrangement of the dewatering equipment.

سرعت آب‌گیری برای دوغاب حاوی ذرات کنسانتره درحضور و عدم حضور مواد شیمیایی کمک‌فیلتر اندازه‌گیری شد. این جنبش‌شناسی برای ۹۰ گرم بر تن از مواد کمک‌فیلتر تعیین شد. بر این اساس ابتدا نمونه‌های دوغاب ۶۰ درصد از ذرات کنسانتره تهیه و درنهایت دوغاب حاصل از ذرات کنسانتره به‌مدت دو دقیقه در تجهیز قیف بوخنر درحضور کمک‌فیلتر آزمون شد. به این صورت که هر ۳۰ ثانیه یک نمونه از کیک فیلتر برداشته و مقدار رطوبت آن اندازه‌گیری شد. مواد فعال‌کنندهٔ سطح معمولاً موجب تغییر پتانسیل زتا می‌شوند. برای تعیین مقدار بهینهٔ فعال‌کنندهٔ سطح از دستگاه اندازه‌گیری پتانسیل زتا (با دستگاه Zetasizer Nano ZS مدل ZEN3600، ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. معمولاً با افزایش فعال‌کنندهٔ سطح، پتانسیل زتا افزایش یا کاهش می‌یابد، تا جایی‌که در یک نقطه این روند تغییر کند که همان نقطه، مقدار بهینه است.

برای بررسی تأثیر مواد شیمیایی فعال‌کنندهٔ سطح SDS ,PEG4000 SLES, CTAB بر آب‌رانی از تجزیهٔ شکل قطره و به‌طور غیرمستقیم اندازه‌گیری زاویهٔ تماس استفاده شد. بدین منظور برای اندازه‌گیری میزان تغییرات زاویهٔ تماس ذرات پرعیارشدهٔ سنگ آهن از دستگاه اندازه‌گیری زاویهٔ تماس (با دستگاه Drop Shape Analyzer مدل DSA100 ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. با استفاده از سامانهٔ اندازه‌گیری زاویهٔ تماس می‌توان میزان آب‌دوستی و آب‌گریزی سطح را بررسی کرد. هرچه زاویهٔ تماس به صفر نزدیک‌تر باشد ترشوندگی بیشتر و هرچه زاویهٔ تماس به ۱۸۰ درجه نزدیک‌تر باشد، آب‌گریزی افزایش می‌یابد. اساس کار اندازه‌گیری زاویهٔ تماس، نشاندن یک قطره آب روی سطح ذره‌ای به مساحت حد اقل یک سانتی‌متر مربع است. به‌عبارت دیگر برای این‌که بتوان زاویهٔ تماس را برای یک جسم بررسی کرد، باید آن جسم، سطحی برابر با یک سانتی‌متر مربع داشته باشد تا بتوان یک قطره آب به آن اضافه کرد. از طرف دیگر سطح ذرات کنسانتره به‌صورت پودر با قطر متوسط ۱۰۰ میکرون در برابر یک قطره آب بسیار کم بود. درنتیجه این امکان وجود نداشت که بتوان یک قطره آب را روی سطح ذرات کنسانتره نشاند. برای حل این مشکل ابتدا باید یک دوغاب از ذرات کنسانتره درست کرد، سپس به آن محلول کمک‌فیلتر را افزود تا به‌خوبی مخلوط شوند. در مرحلهٔ بعد دوغاب را با قیف بوخنر آب‌گیری کرد و ذرات را درون یک آون در دمای ۹۰ درجه گذاشت تا خشک شود. در گام آخر مقداری از این ذرات را که با مادهٔ کمک‌فیلتر در تماس بوده و خشک شده را در رینگ‌های پرس دستگاه XRF ریخت، تحت فشار هیدرولیک پرس کرد و این‌گونه سطح مناسبی برای انجام تست‌های تعیین زاویهٔ تماس ایجاد می‌شود.

به‌منظور مشخص‌کردن پیوندهای برقرارشده بین مادهٔ فعال سطحی و سطح جامد، آنالیز طیف‌سنجی زیر قرمز[1] تبدیل فوریهٔ مواد خام و مواد آغشته به فعال‌کنندهٔ سطحی (با دستگاه مدل FT/IR-4600) انجام شد.

۳. ارائهٔ نتایج و تحلیل داده‌ها

۳-۱ اثر نوع فعال‌کننده بر درصد رطوبت کیک

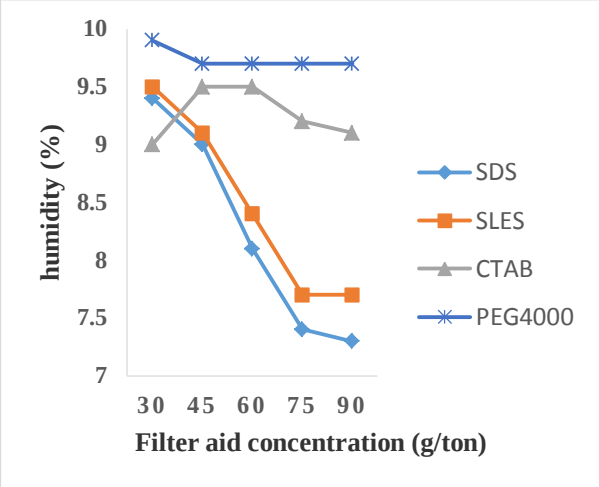
شکل (۵) تأثیر فعال‌کنندهٔ سطح CTAB SDS, PEG4000, SLES را بر رطوبت کیک حاصل از فیلتراسیون نشان می دهد. همان‌گونه‌که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش غلظت فعال‌کنندهٔ سطح برای SDS, PEG و SLES رطوبت کیک ابتدا کاهش یافته و پس از رسیدن به حد اقل مقدار، ثابت می‌ماند. درحقیقت با افزایش غلظت فعال‌کنندهٔ سطح، به‌دلیل برهمکنش بیشتر مادهٔ فعال‌کنندهٔ سطح با جامدات آب‌گیری‌شده، یک کاهش در کشش دوغاب پیش از رسیدن به غلظت بحرانی مایسل (CMC)، به‌وجود می‌آید. پس از رسیدن به (CMC)، دیگر تغییر قابل ملاحظه‌ای در کشش سطحی وجود ندارد، از این رو تغییر چشم‌گیری در رطوبت کیک به‌وجود نمی‌آید. در مورد CTAB با افزایش غلظت ابتدا مقدار رطوبت افزایش و سپس کاهش می یابد. طبق نتایج ارائه‌شده در شکل (۵) مناسب‌ترین فعال‌کنندهٔ سطح با غلظت بهینه ۷۵ گرم پر تن SDS و SLES است. میزان رطوبت نهایی برای ذرات کنسانتره در عدم حضور مادهٔ شیمیایی کمک‌فیلتر ۹/۸ درصد به‌دست آمد.

۳-۲ تأثیر فعال‌کنندهٔ سطح بر جنبش‌شناسی آب‌گیری

شکل (۶) نشان می‌دهد که سرعت آب‌گیری در حضور افزودنی بسیار سریع است. در شکل رطوبت اشباع پایدار برای مواد فعال مختلف قابل مشاهده است. این زمان برای مؤثرترین افزودنی فعال‌کنندهٔ سطح حدود ۹۰ ثانیه

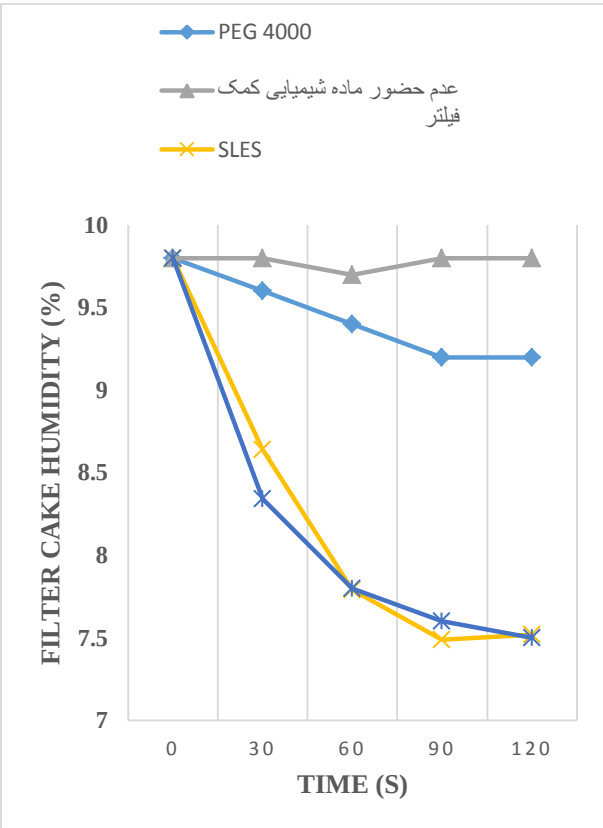
1. FTIR

به‌دست آمد. همان‌گونه‌که در این شکل ملاحظه می‌شود زمان آب گیری، وقتی که از مواد فعال سطحی استفاده می‌شود در مقایسه با دوغاب فاقد این افزودنی‌ها، کاهش چشم گیری پیدا می‌کند.



شکل ۵. اثر نوع مادهٔ فعال سطحی بر میزان رطوبت باقی‌ماندهٔ کیک.

Figure 5. Kind of the surfactant effect on the residual moisture of the cake.



شکل ۶. تأثیر غلظت کمک‌فیلتر بر جنبش‌شناسی آب‌گیری از دوغاب.

Figure 6. Effect of filter aid concentration on the kinetics of the slurry dewatering.

با توجه به فشار موییننگی کاهش‌یافتهٔ ناشی از استفاده از فعال‌کنندهٔ سطح، پتانسیل برای آب‌گیری افزایش می‌یابد. درنتیجهٔ این بهبود، جنبش‌شناسی آب‌گیری بهبود می‌یابد، سرعت فیلتراسیون و درنتیجه کارایی فیلتراسیون بیشتر می‌شود. هم‌چنین با کاهش میزان رطوبت ذرات جامد، قابلیت عبوردهی هوا افزایش می‌یابد.

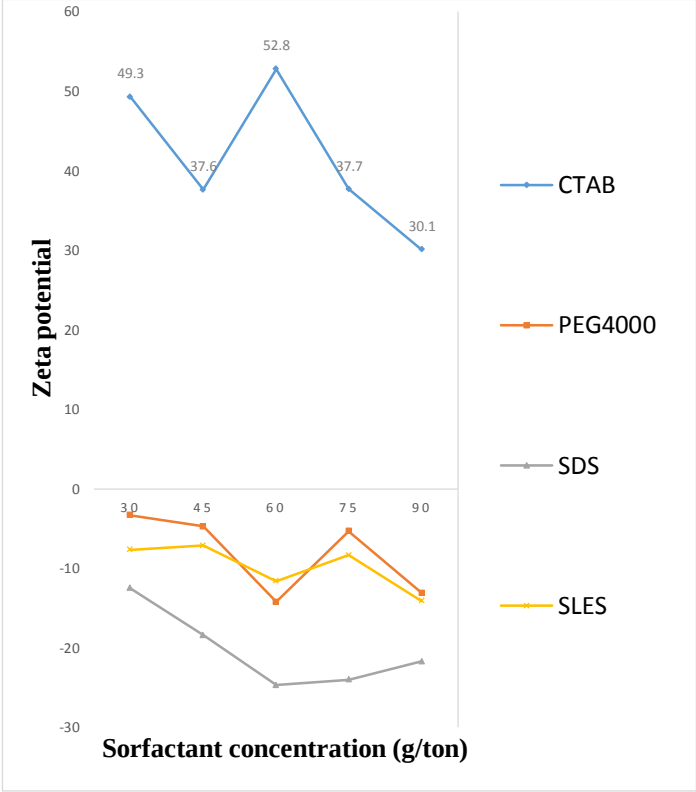
۳-۳ پتانسیل زتا

در شکل (۷) تغییر پتانسیل زتا نسبت‌به غلظت فعال کنندهٔ سطح رسم شده است.

براساس نتایج حاصل، مقدار بهینهٔ فعال کنندهٔ سطح SDS و SLES در غلظت ۶۰ گرم بر تن است. در مورد فعال کنندهٔ سطح PEG و CTAB، به‌علت یکسان‌بودن بار سطحی ذرات و مادهٔ فعال سطح و هم‌چنین به‌علت نداشتن برهمکنش مناسب فعال‌کننده‌های سطح با ذرات پرعیارشده، پتانسیل زتا دارای نظم مشخصی نیست.

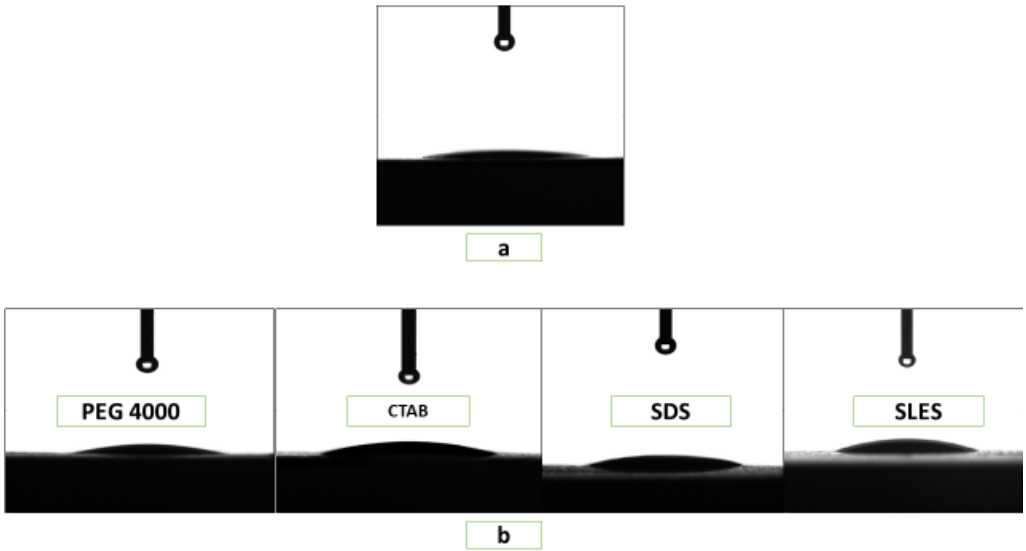
۳-۴ زاویهٔ تماس

تصویر زاویهٔ تماس ذرات پرعیارشده در عدم حضور و درحضور سورفکتانت در شکل (۸) به‌ترتیب در قسمت الف و ب نشان داده شده است. برطبق شکل ارائه‌شده، قطرهٔ آب به‌دلیل آب‌دوست بودن ذرات پرعیارشده روی سطح مورد نظر، نسبت‌به ذرات پرعیارشده در حضور سورفکتانت ها پهن‌شوندگی بیشتری دارد. به‌عبارت دیگر به‌دلیل آب‌ران شدن ذرات پوشش داده شده با سورفکتانت، میزان پهن‌شوندگی کاهش یافته است. کمترین میزان پهن‌شوندگی برای ذرات درحضور مواد شیمیایی سدیم دودسیل سولفات و سدیم دودسیل اتر سولفات و سپس برای مواد ستیل تری‌متیل امونیوم برماید و PEG4000 به‌دست آمد. درنتیجه بیشترین میزان آب‌رانی در مواد SDS و SLES اتفاق افتاد.



شکل ۷. اثر غلظت مادهٔ فعال سطح بر پتانسیل زتا.

Figure 7. Effect of surfactant concentration on the zeta potential.

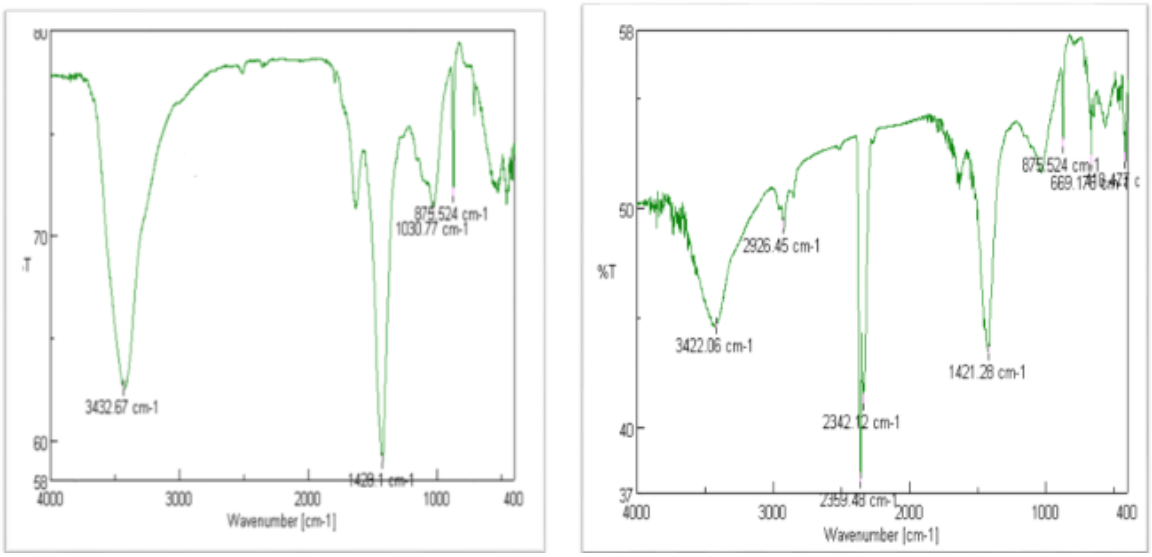


شکل ۸. زاویهٔ تماس ذرات پرعیارشدهٔ آهن (a) در عدم حضور مواد شیمیایی کمک‌فیلتر (b) درحضور مواد فعال سطح مختلف.

Figure 8. Contact angle of the concentrated iron particles (a) in the absence and (b) in the presence of the surface activator.

۳-۵ طیف زیر قرمز

مقایسهٔ طیف زیر قرمز ذرات، قبل و بعد از واکنش با مادهٔ فعال سطحی در شکل (۹) نشان داده شده است. حضور پیک های جذبی متفاوت در طیف‌ها نشان‌دهندهٔ واکنش مادهٔ فعال سطح با ذرات پرعیارشده است. پیک موجود در ناحیهٔ cm^{-1} ۱۴۲۱/۲۸ مربوطبه ارتعاش کشش نامتقارن پیوند دوگانه=S و پیک موجود در ناحیهٔ $2926/45 cm^{-1}$ مربوطبه ارتعاشات کششی CH_2 موجود در ساختار SDS است.



(a) (b)

شکل ۹. طیف زیر قرمز ذرات پرعیارشده (a) بدون پوشش با SDS (b) پوشش‌داده با SDS.

Figure 10. FT-IR spectrum of the concentrated particles (a) uncoated with SDS (b) coated with SDS

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر فعال کنندهٔ سطح آنیونی، کاتیونی و خنثی بر رفتار آب‌گیری ذرات پرعیارشدهٔ آهن در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد. قسمت آب‌دوست مولکول فعال‌کننده روی سطح مواد معدنی جذب می‌شود؛ درحالی‌که بخش آب‌گریز آن دور از ذرات معدنی قرار می‌گیرد. با استفاده از یک فعال‌کنندهٔ سطح مناسب، می‌توان بهبود چشم‌گیری در سرعت فیلتراسیون و محتوای رطوبت کیک ایجاد کرد. جذب فعال کنندهٔ سطح برروی سطح ذرات به‌صورت تک‌لایه‌ای است. در این تحقیق پس از افزودن چهار نوع مادهٔ فعال سطحی به دوغاب حاوی کنسانتره، آزمایش فیلتراسیون انجام و مشخص شد که مناسب‌ترین فعال‌کنندهٔ سطح، ترکیبات SDS و SLES هستند. غلظت بهینه برای افزودن این مواد به دوغاب ۷۵ گرم بر تن به‌دست آمد. براساس آزمایش‌های انجام‌شده در شرایط بهینه، رطوبت ذرات فیلترشده دو درصد کاهش یافت. برای بررسی دقیق‌تر موضوع، جنبش‌شناسی آب‌گیری نیز بررسی و از آزمایش‌هایی مانند پتانسیل زتا، اندازه‌گیری زاویهٔ تماس و تست FTIR استفاده شد. نتیجهٔ این تحقیق این است که به‌منظور رطوبت‌گیری بیشتر از دوغاب، ترکیبات SDS و SLES مواد ایده‌آلی هستند؛ اما برای استفاده از آن‌ها در مقیاس صنعتی نیاز به بررسی بیشتر وجود دارد.

۵. تشکر و قدردانی

از مسئولان محترم شرکت معدنی و صنعتی گل گهر به‌ویژه مسئولان پژوهشکدهٔ سنگ آهن و فولاد که در انجام این تحقیق، صمیمانه همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] Dahlstrom, D. A. (1985). Thickening, filtering, Drying, SEM Mineral Processing Handbook, Vol 1, Section 9, N.L.Weiss group, New York.

[2] Dahlstrom, D. A., & Emmett, R. C. (1985). Solid liquid Separation, SEM Mineral Processing Handbook, Vol 2, Section 13 (Hydrometallurg), N.L.Weiss group, New York.

[3] Pears, M. J., & Allen, A. P. (1981). Chemical treatments for optimum filtration performance, proceeding of the Filtech Conference, London, 39-57.

[4] Krum, W. R. (1995). Cost reduction in slurry dewatering by optimizing addition of chemicals. *Aufbereitungs Technik*, 36(2), 64-68.

[5] Schramm, L. L., Stasiukb, E. N., & Marangoni, D. G. (2003). Surfactants and their Applications. Annual Reports Section C (Physical Chemistry), 99: 3-48.

[6] Koster, R., Burg, B., & Kaiser, M. (1992). Surfactants as dewatering aids for fine grained solid material. *Aufbereitungs Technik*, 33(5), 267-273.

[7] Mwaba, C. C. (1991). Surfactant-enhanced dewatering of graphite and hematite suspensions. *Minerals Engineering*, 4(1), 49-62.

[8] Besra, L., Sengupta, D. K., & Roy, S. K. (2003). Influence of surfactants on flocculation and dewatering of kaolin suspensions by cationic polyacrylamide (PAM-C) flocculant. *Separation and Purification Technology*, 30, 251-264,

[9] Asmatulu, A. (2008). Improving the dewetability characteristics of hydrophobic fine particles by air bubble entrapments. *Powder Technology*, 186, 184–188.

[10] Liu, L., Wu, F., & Tan, W. (2016).Effect of cetyl trimethyl ammoniumbromide on shrinkage cracks in filter cakes during pressure filtration of iron ore concentrate. *Powder Technology*, 297, 239–246.

[11] Patra, A. S., Makhija, D., Mukherjee, A. K., Tiwari, R., Sahoo, C. R., & Mohanty, B. D. (2016). Improved dewatering of iron ore fines by the use of surfactants. *Powder Technology*, 287, 43–50.