بررسی تاثیر درصد جامد خوراک بر نرخ ته‌نشینی و تراکم‌پذیری تیکنر باطله خط یک کارخانه فرآوری سنگ آهن گهرزمین

حامد سلیمانی دامنه*[۱]، محمود اسکندری‌نسب[۲]
سیرجان، معدن شماره ۳ مجتمع گل‌گهر، شرکت سنگ آهن گهرزمین
*نویسنده مخاطب: hamedsoleymani1987@yahoo.com

چکیده:

در اغلب فرآیندهای فرآوری مواد معدنی از آب زیادی استفاده می‌شود. با توجه به کمبود شدید آب، بازیابی آب و استفاده مجدد در کارخانه‌های فرآوری امری ضروری است. ارزان ترین روش جداسازی ذرات جامد از مایع، استفاده از روش ته‌نشینی و تیکنر می‌باشد. یکی از مهمترین عوامل موثر بر انتخاب و کارایی تیکنر، درصد جامد خوراک ورودی آن است. در تحقیق حاضر تأثیر درصد جامد خوراک ورودی بر سرعت ته‌نشینی و تراکم پذیری ذرات جامد تیکنر باطله خط یک تولید کنسانتره مجتمع سنگ آهن گهر زمین با استفاده از آزمایش‌های ته نشینی ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور آزمایش‌ها با استفاده از فلوکولانت A26 با نرخ مصرف ۲۰ گرم بر تن در درصد جامدهای متفاوت خوراک انجام شد. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین سرعت ته نشینی و تراکم‌پذیری در درصد جامد ۵ حاصل شد که نشان می‌دهد با کاهش درصد جامد، سرعت ته‌نشینی و تراکم‌پذیری افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تیکنر- درصد جامد- تراکم‌پذیری- سرعت ته‌نشینی

۱- مقدمه

مسئله آب در طی سالیان اخیر به یکی از مهم‌ترین مسائل کشور و به‌تبع آن کارخانه‌های فرآوری تبدیل‌شده است. محدود بودن منابع آبی و کاهش آن‌ها باعث شده که بازیابی حداکثری آب در کارخانه‌ها یکی از دغدغه‌های اصلی بیشتر مدیران باشد [۱].

اغلب روش‌هایی که در فرآوری مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به صورت تر می‌باشند. بنابراین کنسانتره و باطله مواد معدنی نیز حاوی مقدار زیادی آب خواهد بود. در مورد کنسانتره، مقدار آب محتوی آن را باید تا حدی کاهش داد که حمل آن تسهیل شده و برای فرایند بعدی آماده گردد. همچنین باید تلاش شود که کانی باارزش همراه آب هدر نرود. در مورد باطله مواد معدنی ازآنجاکه باطله‌ها در محلی انباشته می‌شوند، در صورت آبدار بودن آن‌ها اول اینکه مقدار زیادی آب از دست می‌رود که جبران آن هزینه‌های عملیاتی فرآیند را بالا می‌برد و دوم اینکه وجود آب در این مرحله باعث ایجاد خسارات زیست‌محیطی می‌شود. به‌طورکلی فرایندهای آبگیری مواد به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند [۲].

- ته‌نشینی
- فیلتر کردن

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، مجتمع آموزش عالی زرند
۲- استادیار گروه مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرند

www.SID.ir

- خشک‌کردن

در شرایطی که اختلاف دانسیته مایع و جامد زیاد باشد، روش ته‌نشینی بیشترین بازدهی را خواهد داشت. ته‌نشینی ثقلی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در فرآوری مواد معدنی هست و ظرفیت بالا و هزینه نسبی کم از خصوصیات آن است. تیکنر، معمول‌ترین تجهیز در فرآوری مواد است که برای افزایش غلظت پالپ به روش ته‌نشینی مورداستفاده قرار می‌گیرد [۲].

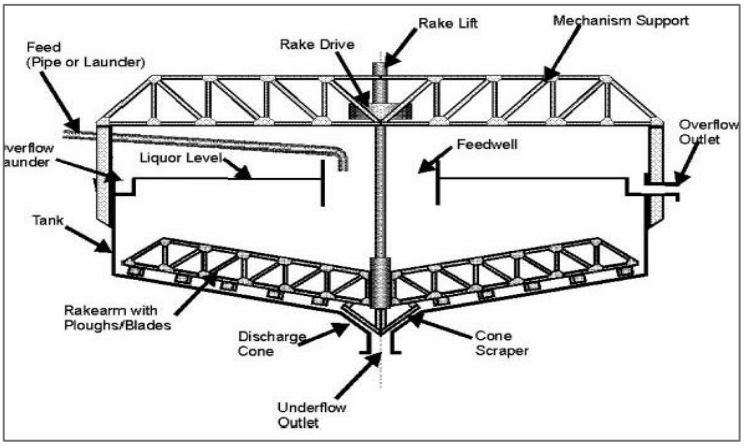
۱-۱- ته‌نشینی:

ته‌نشینی فرآیند پیوسته جداسازی مایع از جامد آن است که در آن ذرات در اثر نیروی ثقل، ته نشین می‌شوند. ته‌نشینی سریع ذرات جامد در یک مایع باعث تشکیل دو فاز کاملا مشخص شفاف (بدون ذرات جامد) و کدر (تجمع ذرات جامد) می‌شود. ذرات ریز سرعت ته‌نشینی بسیار پایینی دارند و برای بهبود سرعت این ذرات از تجمع ذرات ریز (کواگولاسیون[۳]) و لخته‌سازی (فلوکولاسیون[۴]) استفاده می‌شود. ته‌نشینی به دوصورت سقوط آزاد و ته‌نشینی با مانع می‌باشد.

۱-۲- تیکنر:

تیکنرها تانک های بزرگ با قطر ۲۰۰-۲ متر و عمق ۷-۱ متر می باشند که آب شفاف در بالا و پالپ غلیظ شده در پایین جمع می شود [۳](شکل ۱).

در همه تیکنرها، دو فرآیند ته‌نشینی و فشردگی انجام می‌شود که در فرآیند ته‌نشینی بخش عمده آب از جامد جدا می‌شود و در فرآیند فشردگی بیشترین آب ممکن از دوغاب بازیابی می‌شود [۴]. به همین دلیل بایستی دو فرآیند ته‌نشینی و تراکم‌پذیری به طور همزمان مدنظر قرار گیرد. فرآیند ته‌نشینی به‌این‌ترتیب است که ابتدا پالپ وارد چاهک خوراک‌دهی می‌شود. انرژی پالپ در چاهک خوراک‌دهی گرفته و پس از آرام شدن وارد تیکنر می‌شود. در مخزن تیکنر به دلیل دانسیته بالا، ذرات جامد ته‌نشین شده و آب شفاف از سرریز خارج می‌شود. پس از فرآیند ته‌نشینی، ذرات جامد وارد بستر تیکنر شده و در آنجا تحت تأثیر فرآیند فشردگی و نیروهای برشی قرار می‌گیرند. فرآیند فشردگی و تراکم‌پذیری در اثر وزن مواد ته‌نشین شده که در افق‌های بالاتر درون بستر تیکنر قرارگرفته‌اند، اتفاق می‌افتد. عامل ایجاد نیروهای برشی نیز تیغه‌ها و میله‌های عمودی پاروها، شیب بخش مخروطی و دیواره‌های تیکنر است [۵]. طراحی تیکنرها بر این مبناست که سرعت رو به بالای آب در حدی باشد که کوچک‌ترین ذرات نیز امکان ته‌نشینی پیدا کنند [۵].



[3] Coagulation
[4] Flocculation

www.SID.ir

شکل ۱- شمای تیکنر و اجزای آن

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود اجزای اصلی و متداول تیکنرها شامل مخزن، موتور محرک، مکانیزم پارویی و چاهک خوراک‌دهی می‌باشد.

۱-۳- ته‌نشینی ذرات در تیکنر:

ذرات ممکن است به چهار حالت مشخص و متفاوت در تیکنر ته‌نشین شوند. هرکدام از این حالت‌ها خصوصیات متفاوتی دارند بنابراین هر ظرف ته‌نشینی باید طوری طراحی شود که با هر حالت ته‌نشینی موردنظر برای کاربرد خاص هماهنگ باشد. این حالت‌ها بیشتر توسط نسبت رقت خوراک و تمایل نسبی ذرات برای چسبیدن به یکدیگر کنترل می‌شوند. چهار حالت رسوب‌گذاری عبارت‌اند از: ته‌نشینی انفرادی ذرات، ته‌نشینی فلوکولانتی، ته‌نشینی توده‌ای و ته‌نشینی متراکم [۶].

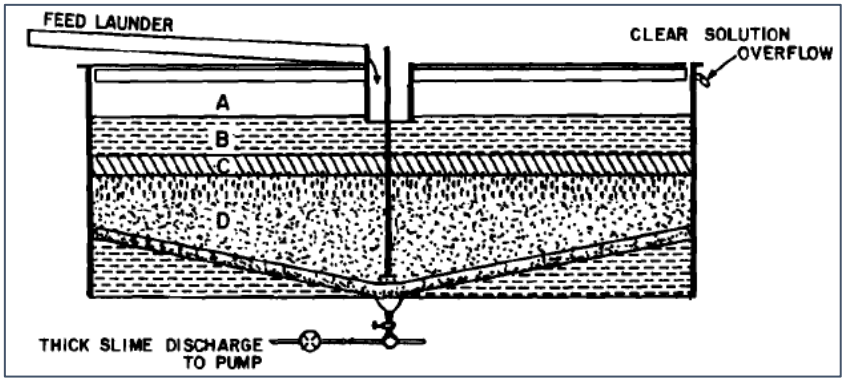
ته‌نشینی انفرادی در رقت بالای خوراک اتفاق می‌افتد. در این حالت ذرات نسبتاً از یکدیگر دورند و به‌صورت انفرادی ته‌نشین می‌شوند. وقتی ذرات بتوانند با یکدیگر برخورد کنند، سرعت ته‌نشینی ذرات کاهش خواهد یافت، چون در این وضعیت رقت خوراک کاهش می‌یابد. ذراتی که سرعت ته‌نشینی آن‌ها کمتر از سرعت جریان بالارو است، عمدتاً در داخل این جریان به بیرون از ظرف منتقل می‌شوند. بنابراین ظرف رسوب‌گذاری طوری طراحی می‌شود که درشت‌ترین ذره مجاز در سرریز دارای سرعت ته‌نشینی کمتری نسبت به‌سرعت جریان بالارو باشد. وقتی هدف ما به دست آوردن یک مایع شفاف است، سرعت جریان بالارو باید به‌گونه‌ای باشد که حتی ریزترین ذرات نیز در جهت مخالف این جریان ته‌نشین شوند. اگر جداسازی ذرات از مایع در یک اندازه مشخص مدنظر باشد، به این کار جداسازی هیدرولیکی گفته می‌شود و سرعت جریان بالارو باید طوری طراحی شود تا این جداسازی محقق شود [۶].

ذرات ریز به دلیل وزن کمشان سرعت ته‌نشینی بسیار پایینی دارند و ازآنجاکه در تیکنرها ابعاد تیکنر نسبت عکس با سرعت ته‌نشینی دارد، لازم است سرعت ته‌نشینی ذرات جامد افزایش یابد که در عمل این کار فقط از طریق افزایش ابعاد ذرات امکان‌پذیر است. بنابراین با به هم پیوستن ذرات به یکدیگر، می‌توان سرعت ته‌نشینی آن‌ها را افزایش داد. برای این کار از دو روش کواگولاسیون و لخته‌سازی استفاده می‌شود. در حالتی که سطح ذرات دارای بار الکتریکی باشند، با اضافه کردن بار مخالف، سطح ذره بدون بار می‌شود و با از بین رفتن نیروی دافعه الکترواستاتیکی، ذرات به هم نزدیک شده و تحت تأثیر نیروی جاذبه واندروالسی به هم می‌چسبند. این عمل کواگولاسیون نام دارد. ولی در لخته سازی با اضافه کردن مولکول‌های پلیمر با زنجیره بلند به یک محلول دوغاب رقیق، عامل اتصال بین ذرات ایجاد می‌شود. بدین ترتیب لخته‌ها شکل می‌گیرند. لخته‌ها اشکال پیچیده‌ای داشته و مقداری مایع را نیز در خود به تله می‌اندازند [۷]. ممکن است ذرات براثر برخورد به یکدیگر بچسبند که بازهم پدیده لخته سازی شکل می‌گیرد. درنتیجه ته‌نشینی با توجه به‌اندازه لخته‌ها صورت می‌گیرد و ته‌نشینی فلوکولانتی نامیده می‌شود. در هر دو مورد، مرز مشخصی بین پالپ در حال ته‌نشینی و آب شفاف وجود ندارد. فقط می‌توان شاهد پیشروی ناحیه شفاف به سمت پایین بود که در این حالت حتی ذرات ریز هم در ناحیه شفاف وجود ندارد. پس باید سرعت جریان بالارو برای دستیابی به شفافیت مطلوب کنترل شود [۶].

با غلیظ‌تر شدن پالپ، ذرات یا لخته‌ها در تماس با ذرات مجاور خود قرار می‌گیرند. در این حالت ذرات با یک ساختار پلاستیکی به هم مرتبط شده و به‌ناچار با یک سرعت یکسان ته‌نشین می‌شوند [۸]. معمولاً ذرات ریز نیز بر جای نمی‌مانند و در نتیجه یک خط جدایش مشخص بین پالپ و آب شفاف پدیدار می‌شود [۹]. این حالت، ته‌نشینی توده‌ای است که در آن سرعت ته‌نشینی تابعی از غلظت مواد هست.

www.SID.ir

در غلظت‌های بالاتر، ساختار پالپ به‌قدری مقاوم می‌شود که به‌وضوح، یک ساختار پلاستیکی را نمایش داده و موجب افزایش مقاومت فشاری پالپ می‌شود. درنتیجه سرعت ته‌نشینی هر لایه به‌واسطه مقاومت مکانیکی لایه‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد و ساختار مواد جامد در برابر از هم گسیختن مقاومت می‌کند. درنتیجه برای افزایش غلظت مواد جامد باید از یک نیروی فشاری کمک گرفت. این نیرو می‌تواند در اثر وزن خود مواد جامد تأمین شود و در صورت کفایت نیروی وزن مواد جامد به‌تدریج سیال از درون مواد جامد خارج‌شده که به آن ته‌نشینی تراکمی گویند. در هر تیکنر ممکن است همه این حالت‌ها اتفاق نیفتد. اگر در تیکنری همه این حالت‌ها رخ دهد، توزیع نواحی که این حالت‌های ته‌نشینی در آن‌ها رخ می‌دهد، مانند شکل۲ است [۶].



شکل۲- نواحی مختلف در یک تیکنر

(A) ناحیه محلول شفاف،(B) ناحیه ته‌نشینی توده‌ای،(C) ناحیه انتقال، (D) ناحیه تراکم [۶].

۱-۴- سرعت ته‌نشینی و تراکم‌پذیری

سرعت ته‌نشینی یک پالپ لخته شده در غلظت‌های متفاوت را می‌توان در یک آزمایش ساده ته‌نشینی ناپیوسته اندازه‌گیری کرد. این آزمایش، معمولی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آزمایش برای ارزیابی قابلیت ته‌نشین شدن یک سوسپانسیون است. برای این منظور یک نمونه پالپ با درصد جامدی مشابه کارخانه و ذراتی از جنس و دانه‌بندی ذرات کارخانه تهیه و سپس تست ته نشینی در یک استوانه مدرج با حجم مشخص به عنوان المان عمودی از تیکنر اجرا می‌شود. فصل مشترک پالپ و آب شفاف (خط گل) در حال سقوط در زمان‌های مختلف ثبت و منحنی‌های ته‌نشینی براساس ارتفاع خط گل در زمان های مختلف رسم می‌گردد که شیب نمودار در قسمت خطی بیانگر سرعت ته‌نشینی و ارتفاع نهایی خط گل بیانگر تراکم‌پذیری می‌باشد. آزمایش ته‌نشینی ناپیوسته برای بررسی فلوکولانت‌های جدید و یا بررسی تأثیر عوامل مختلف بر رفتار ته‌نشینی سوسپانسیون‌های معدنی به کار می‌رود [۱۰].

۱-۵- مروری بر تحقیقات گذشته

کاربخش و همکاران [۱۰] تاثیر خوراک تیکنر بر کارایی تیکنر باطله کارخانه هماتیت مجتمع گل گهر را در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند که مشخص گردید استفاده از دوغابی با دانسیته بالا، سرعت ته نشینی را کاهش می‌دهد.

محمدرضا گرمسیری و مرضیه حسینی‌نسب [۴] تاثیر غلظت جامد بر رفتار آبگیری نمونه باطله مجتمع مس شهربابک را در مقیاس صنعتی مورد بررسی قرار دادند که ایشان نشان دادند که با کاهش غلظت دوغاب نه تنها مصرف فلوکولانت به ازای جرم واحد کاهش می‌یابد بلکه شار ته‌نشینی و تراکم پذیری دوغاب نیز بهبود می‌یابد.

ذوالفقاری و همکاران [۱۱] تاثیر درصد جامد خوراک ورودی بر سرعت ته‌نشینی ذرات جامد در تیکنر باطله خط ۷ تولید

www.SID.ir

کنسانتره مجتمع گل گهر را مورد بررسی قرار دادند که مشخص گردید با کاهش درصد جامد ورودی به تیکنر، کارایی افزایش می-یابد

۲- روش تحقیق

در این پژوهش از خوراک تیکنر باطله خط یک تولید کنسانتره مجتمع سنگ آهن گهرزمین استفاده شد. بدین منظور از خوراک تیکنر نمونه برداری مکرر انجام شد. نمونه ها خشک و سپس همگن شدند. با استفاده از تقسیم کننده شیاری نمونه معرفی با دانسیته نسبی جامد $3/05\ gr/cm^3$ و اندازه ذرات ۸۰ درصد عبوری از ۱۱۵ میکرون برای انجام آزمایش به دست آمد.

جهت ارزیابی نرخ ته‌نشینی و تراکم‌پذیری پالپ از آزمایش های ته‌نشینی ناپیوسته با استفاده از استوانه مدرج ۱۰۰۰ میلی لیتری (ارتفاع ۳۴۶میلی متر و قطر ۶۰ میلی متر) استفاده شد.

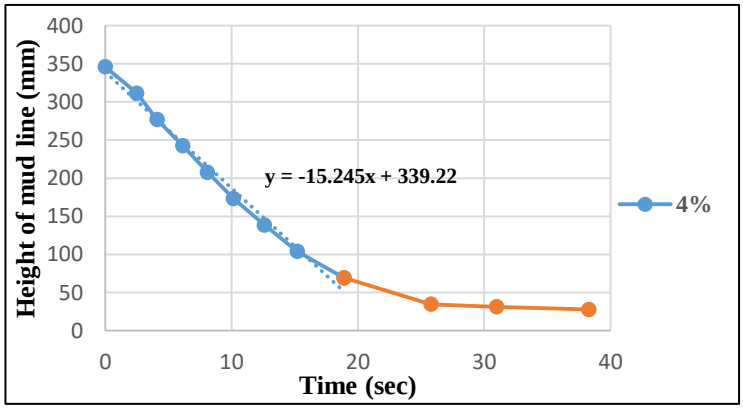
ابتدا نمونه باطله با آب فرآیند ترکیب شده تا غلظت جامد مدنظر حاصل شود، سپس محلول فلوکولانت پلی آکریل آمید با نام تجاری A26 به مدت ۲ ساعت با غلظت ۱ گرم بر لیتر با همزن الکتریکی با دور ۲۳۵ دور بر دقیقه آماده‌سازی شد و قبل از اضافه شدن به محتوای پالپ تا غلظت ۲۰ گرم بر تن رقیق گردید. قبل و بعد از اضافه شدن فلوکولانت چندین مرحله استوانه مدرج معکوس گردید تا محتویات آن کاملا مخلوط و همگن شود و اختلاط فلوکولانت و ذرات جامد به خوبی صورت گیرد تا برش مورد نیاز برای لخته سازی ایجاد گردد.

جهت انجام آزمایش‌ها، برای درصد جامدهای ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب مقدار ۴۱/۵، ۵۲، ۶۳، ۷۳/۵، ۸۵، ۹۵/۵ و ۱۰۷ گرم ذرات جامد مورد نیاز بود. آزمایش ها بصورت تک عامل در زمان با ثابت نگه داشتن بقیه عوامل انجام شد. نمودار ارتفاع خط گل در برابر زمان برای مقادیر متفاوت درصد جامد رسم گردید که شیب نمودار معرف نرخ ته‌نشینی و ارتفاع نهایی خط گل و چگالی ظاهری بیانگر تراکم‌پذیری ذرات جامد موجود در تیکنر می‌باشد.

۳- تحلیل نتایج

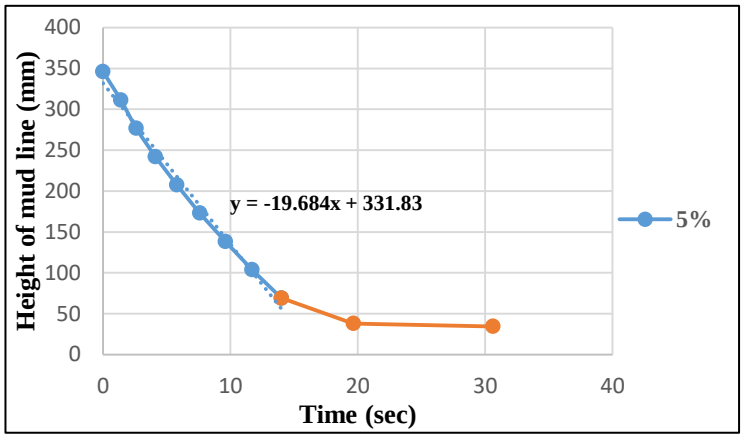
یکی از عوامل موثر بر عملکرد تیکنر، درصد جامد خوراک تیکنر در حین فرآیند لخته‌شدگی است که با فرآیندهای ته‌نشینی و تراکم‌پذیری ذرات در تیکنر رابطه دارد.

شکل‌های ۳ تا ۷ منحنی‌های ته نشینی ذرات جامد پالپ با نرخ مصرف ۲۰ گرم بر تن فلوکولانت A26 در درصد جامدهای ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ را نشان می دهد.

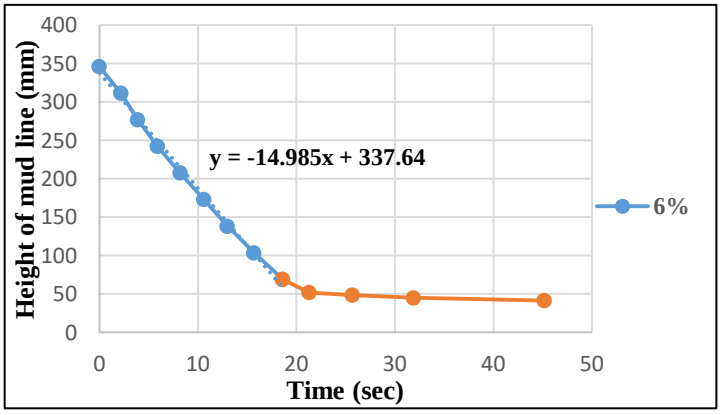


شکل ۳- نمودار ارتفاع خط گل در برابر زمان در غلظت خوراک ۴٪

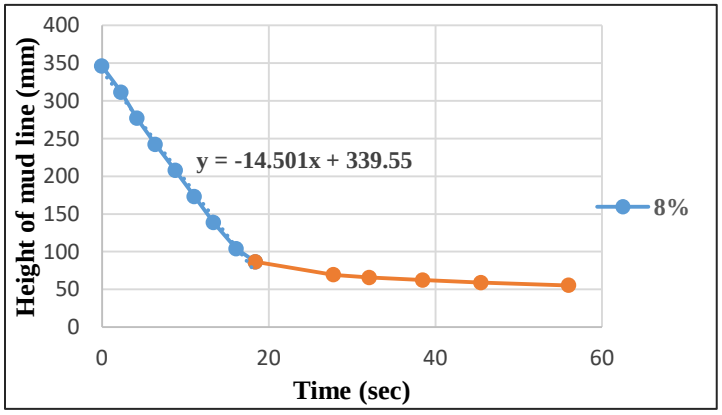
www.SID.ir



شکل ۴- نمودار ارتفاع خط‌گل در برابر زمان در غلظت خوراک ۵٪

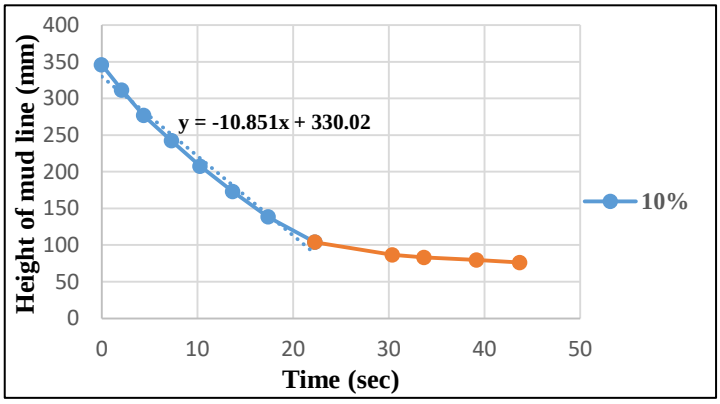


شکل ۵- نمودار ارتفاع خط‌گل در برابر زمان در غلظت خوراک ۶٪



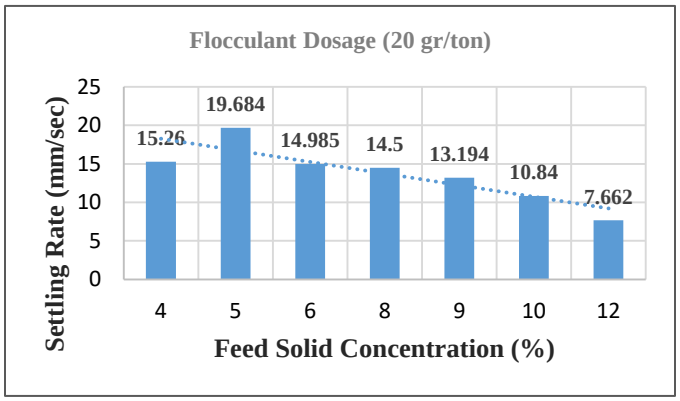
www.SID.ir

شکل ۶- نمودار ارتفاع خط‌گل در برابر زمان در غلظت خوراک ۸٪



شکل ۷- نمودار ارتفاع خط‌گل در برابر زمان در غلظت خوراک ۱۰٪

شکل‌های ۳ تا ۷ نمودار ارتفاع خط گل در غلظت جامدهای متفاوت خوراک را در ناحیه ته‌نشینی آزاد و ته‌نشینی بامانع نشان می‌دهد. شیب نمودار در قسمت خطی بیانگر سرعت ته‌نشینی در ناحیه آزاد می‌باشد که با افزایش درصد جامد خوراک، سرعت ته-نشینی کاهش می‌یابد. هم‌چنین نقطه ژل که شروع ناحیه ته‌نشینی با مانع می‌باشد با افزایش درصد جامد خوراک در ارتفاع بالاتری رخ می‌دهد که باعث می‌شود ارتفاع نهایی خط گل افزایش یابد.



شکل ۸- نمودار اثر درصد جامد بر سرعت ته‌نشینی با ۲۰ گرم بر تن فلوکولانت در ناحیه ته‌نشینی آزاد

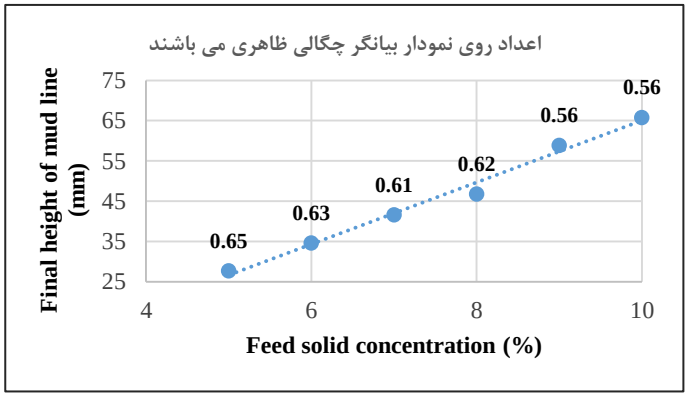
شکل ۸ سرعت ته‌نشینی در مقادیر متفاوت درصد جامد را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودارهای فوق مشخص گردید، بیشترین سرعت ته‌نشینی در درصد جامد ۵ است و با افزایش درصد جامد خوراک، سرعت ته‌نشینی کاهش می‌یابد. در درصد جامد کمتر از ۵ درصد به دلیل اینکه شرایط ته‌نشینی آزاد است و ذرات از یکدیگر فاصله زیادی دارند، ذرات درشت‌تر به دلیل وجود فلوکولانت، به سرعت ته‌نشین شده و ذرات ریز لخته‌های کوچک و سبک‌تری را ایجاد می‌کنند که در مجموع سرعت ته‌نشینی را

www.SID.ir

کاهش می‌دهد. در درصد جامدهای بالا به دلیل اینکه ذرات از ته‌نشینی با مانع پیروی می‌کنند، مقاومت ناشی از لایه‌هایی که در قسمت پایین‌تر تشکیل شده است مانع از سقوط لخته‌ها می‌شود که این مسأله خود را در قالب سرعت ته‌نشینی نمایان می‌کند.

در غلظت جامد ۵ درصد، به دلیل اینکه لخته‌ها ذرات بیشتری را با خود به همراه داشته، سنگین‌تر شده و سرعت سقوط آن افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که با کاهش درصد جامد تا مقدار بهینه، سرعت ته‌نشینی افزایش می‌یابد. چنانچه خوراک ورودی به اندازه کافی و بهینه رقیق شود، فلوکولاسیون بهتر صورت می‌گیرد و میزان مصرف فلوکولانت نیز کاهش می‌یابد [۱۲].

نهایتا برای ارزیابی قابلیت تراکم‌پذیری از ارتفاع نهایی خط گل در آزمایش ته‌نشینی استفاده شد که در صنعت برای ارزیابی این عامل از درصد جامد ته ریز تیکنر استفاده می‌شود [۴]. شکل ۹ ارتفاع نهایی گل و چگالی ظاهری دوغاب را در درصد جامدهای متفاوت نشان می‌دهد که مشخص گردید با کاهش درصد جامد خوراک، تراکم پذیری هم مطلوب‌تر می‌شود و رقیق-سازی پالپ در بهبود تراکم‌پذیری هم موثر است.



شکل ۷- نمودار ارتفاع نهایی پالپ (خط گل) در درصد جامدهای متفاوت

۴- نتیجه‌گیری

در این پروژه بر طبق آزمایش‌های ته‌نشینی ناپیوسته، تاثیر درصد جامد خوراک بر سرعت ته‌نشینی و تراکم‌پذیری تیکنر باطله خط یک تولید کنسانتره مجتمع سنگ آهن گهرزمین بررسی و نتایج ذیل حاصل شد:

- بیشترین نرخ ته‌نشینی در درصد جامد ۵ حاصل شد و کمتر از آن به دلیل فاصله زیاد ذرات از یکدیگر و عملکرد فلوکولانت در ته‌نشینی ذرات درشت و در درصد جامدهای بالاتر به دلیل اینکه ذرات از ته‌نشینی با مانع پیروی می‌کنند و مقاومت ناشی از لایه-هایی که در قسمت پایین‌تر تشکیل شده است، سرعت ته‌نشینی کاهش می‌یابد.
- با کاهش درصد جامد، ارتفاع نهایی خط گل کاهش می‌یابد که بیانگر افزایش تراکم‌پذیری در تیکنر است.
- بطور کلی با افزایش درصد جامد خوراک، نرخ ته‌نشینی و تراکم‌پذیری کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

مراجع

[1] Parsapour Gh, E. Arghavani, S. Banisi and S. Mousavi, "Improving performance of the Gol-E-Gohar iron ore concentration plant thickener", IMPC2014, Santiago, Chile, 2004.
[2] Wills B.A., Finch J.A., Wills' Introduction to Mineral Processing Technology, Eighth ed., Elsevier Science & Technology Books Publisher, 2016.
[۳] بنیسی، صمد، "مسائل کاربردی فرآوری مواد معدنی"، چاپ اول، ویرایش سوم، انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۸۸.
[۴] گرمسیری، محمدرضا و مرضیه حسینی نسب، "تاثیر غلظت جامد، نرخ فلوکولانت بر رفتار آبگیری نمونه باطله مجتمع مس شهربابک"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۴، صفحه ۶۴۵-۶۵۲، ۱۳۹۵.
[۵] گرمسیری، محمدرضا، "بررسی کارایی تیکنرهای باطله مجتمع مس میدوک و امکان‌سنجی بهبود کارایی آن"، پروژه تخصصی دوره کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷.
[۶] حسینی نسب، مرضیه، "بررسی نقش درصد جامد پالپ ورودی در تعیین اندازه تیکنرهای صنعتی"، پروژه تخصصی دوره کارشناسی ارشد فراوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷.
[7] Fitch, B., "Batch Tests Predict Thickener Performance", Chemical Engineering, pp.83-88 .August, 1971.
[8] Mandersloot, W.G.B., and Scott, K.J., and Geyer, C.P., "Sedimentation in the Hindered Settling Regime", Advances in Solid-Liquid separation, Edited by H.S.Muralidhara, pp.63-77, 1986.
[9] Moudgil B. M. and Shah B. D., "Selection of flocculants for solid–liquid separation processes", Advances in Solid–Liquid Separation (Mulralidhara,ed.), Battelle Press, Columbus, Ohio, 1986.
[۱۰] کاربخش، محمدمهدی، محمود اسکندری نسب و سیدمرتضی موسوی راد، "بهبود نرخ ته‌نشینی در تیکنر باطله کارخانه هماتیت مجتمع صنعتی معدنی گل‌گهر"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران، سازمان نظام مهندسی معدن،۱۳۹۳.
[۱۱] ذوالفقاری، علی، سیدمحمد رضویان و محمد قره داغی، "بررسی تاثیر درصد جامد خوراک ورودی بر سرعت ته‌نشینی ذرات جامد: مطالعه موردی تیکنر باطله خط ۷ تولید کنسانتره مجتمع گل‌گهر"، دومین کنفرانس معدنکاری و صنایع معدنی سبز ایران، زنجان، دانشگاه زنجان، ۱۳۹۸.
[۱۲] جوکار، کاووس، "بهینه‌سازی پارامترهای موثر برعملکرد تیکنرهای باطله مجتمع مس میدوک"، پروژه تخصصی دوره کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه کاشان، شهریور ۱۳۹۰.

www.SID.ir