



بهینه‌سازی مقدار لخته‌ساز مصرفی فرایند جداسازی جامد-مایع در دوغاب حاصل از فروشویی خاک آنومالی یک ساغند

داود قدوسی نژاد*^۱، مجید تقی‌زاده^۲، مازیار وطنی^۱، امیرحسین کیارشی^۱

۱. گروه پژوهشی اکتشاف و استخراج، پژوهشکده‌ی چرخه‌ی سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران
۲. دانشکده‌ی مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی بابل، صندوق پستی: ۴۸۴، بابل - ایران

چکیده: جداسازی جامد-مایع با استفاده از روش غلیظ‌سازی در دوغاب حاصل از فروشویی خاک آنومالی یک ساغند مورد بررسی قرار گرفت. در صنایع فراوری مواد معدنی انتخاب صحیح نوع لخته‌ساز و میزان آن می‌تواند کاهش قطر غلیظ‌کننده و در نتیجه کاهش هزینه و افزایش بازده جدایش را به دنبال داشته باشد. بدین منظور، آزمایش‌های ته‌نشینی با استفاده از مقادیرهای مختلفی از لخته‌ساز K-۳۰۰ به انجام رسید. با مقایسه‌ی سرعت‌های ته‌نشینی، مقدار بهینه‌ی لخته‌ساز برای ته‌نشینی مؤثر جامد از محلول فروشویی خاک آنومالی یک ساغند، ۸۰ گرم بر تن به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: غلیظ‌کننده، لخته‌ساز، فروشویی، جداسازی

Optimization of flocculant dosage for solid-liquid separation process on the slurry obtained from leaching process of Saghand Anomaly 1 soil

D. Ghoddocy Nejad*¹, M. Taghizadeh², M. Vatani¹, A.H. Kiarashi¹

1. Exploration and Exploitation Research Group, Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran
2. Chemical Engineering Department, Babol University of Technology, P.O.Box: 484, Babol - Iran

Abstract: In this paper, a process for solid-liquid separation was investigated by thickening method on the slurry obtained from leaching process under optimum conditions (Saghand Anomaly 1 soil). In mineral processing industries, the correct selection of the type and amount of flocculant can reduce the diameter of thickener, leading to an increase in the efficiency of the separation process and reducing the costs. Thus, in the present work, the experimental thickening was carried out by varying the amount of flocculant K-300 for solid-liquid separation process. By comparing the sedimentation rate of each experiment, the optimal value of flocculant for solid-liquid separation process (Saghand Anomaly 1 soil) was 80 g/ton_{ore}.

Keywords: Thickener, Flocculant, Leaching, Separation



۱. مقدمه

رطوبت است و در صورت لزوم می‌توان با یک مرحله خشک کردن حرارتی، رطوبت آن را به ۵ درصد یا کم‌تر رساند [۳]. در اثر ته‌نشین‌سازی دانه‌های جامد یک پالپ، مایع زلال و پالپ غلیظ شده‌ای به دست می‌آید. سرعت ته‌نشینی دانه‌های جامد در یک سیال را می‌توان بسته به ابعاد دانه‌ها با استفاده از قوانین استوکس و نیوتن به دست آورد. سرعت ته‌نشینی دانه‌های خیلی کوچک در حد میکرون تحت اثر نیروی گرانش، بسیار کم است بنابراین ممکن است لازم باشد با استفاده از نیروی مرکز گریز سرعت سقوط آن‌ها را افزایش داد. هم‌چنین می‌توان شرایط محیطی را به گونه‌ای تغییر داد که مواد ریزدانه به یک‌دیگر بچسبند (تحت اثر نیروی واندروالس) و با سرعت بیش‌تری ته‌نشین شوند (انعقاد^(۳)) و یا از پلی‌مرهای (لخته‌سازها^(۴)) برای بالا بردن سرعت ته‌نشینی) استفاده کرد. به این فرایند لخته‌سازی^(۵) گفته می‌شود [۴].

ته‌نشینی ثقلی با غلیظ کردن، رایج‌ترین روش آبکشی مواد در کانه‌آرایی است. این روش، نسبتاً ارزان و دارای ظرفیت زیاد است. عملیات ته‌نشینی در حوضچه‌هایی انجام می‌شود که به آن‌ها غلیظ‌کننده گفته می‌شود (شکل ۱). در نتیجه‌ی ته‌نشین شدن دانه‌های جامد، در بخش فوقانی غلیظ‌کننده، لایه‌ای از آب زلال تشکیل می‌شود. در اکثر حالت‌ها، غلظت پالپ در داخل غلیظ‌کننده زیاد است و ته‌نشینی دانه‌ها در شرایط «سقوط با مانع» انجام می‌شود. پالپ تغلیظ شده نیز از قسمت تحتانی غلیظ‌کننده خارج می‌شود. غلیظ‌کننده‌ها می‌توانند به دو شیوه‌ی پیوسته و ناپیوسته کار کنند [۵].

غلظت مواد جامد در غلیظ‌کننده، از آب صاف در سرریز تا ته‌ریز تغلیظ شده در هنگام تخلیه متغیر است؛ مطابق شکل ۲، غلظت مواد جامد در عمق‌های مختلف به چهار قسمت تقسیم می‌شود.

ته‌نشینی جامد درون سیال به وسیله نیروی گرانشی یکی از پراستفاده‌ترین روش‌های جداسازی جامد از مایع است. این روش عمدتاً در صنایع معدنی و شیمیایی کاربرد دارد. یک راه معمول برای جدا کردن جامد از مایع در حجم‌های بالا استفاده از ته‌نشینی تحت اثر نیروی گرانشی در ظرف‌هایی است که شستشوگر، تصفیه‌کننده^(۱) و غلیظ‌کننده^(۲) نامیده می‌شوند، [۱]. روش‌های آبکشی کردن را می‌توان به طور کلی به ۳ دسته تقسیم کرد:

- ته‌نشین‌سازی؛
- عبور از صافی؛
- خشک کردن.

در شرایطی که اختلاف چگالی جامد و مایع زیاد باشد، روش ته‌نشین‌سازی دارای بالاترین بازده است. این امر در کانه‌آرایی که در آن مایع مورد مصرف آب است، معمولاً صادق است. با وجود این در روش‌های هیدرومتالورژی ممکن است ته‌نشین‌سازی کارآیی لازم را نداشته باشد. زیرا با افزایش عیار حلال نسبت به عنصر یا کانی حل شده، چگالی آن نیز بالا رفته و به چگالی دانه‌های جامد باقی‌مانده نزدیک می‌شود [۲]. در چنین شرایطی تنها می‌توان از روش عبور از صافی استفاده کرد. در کانه‌آرایی، معمولاً آبکشی کردن ترکیبی از دو روش فوق است. قسمت عمده‌ی آب ابتدا به روش ته‌نشین‌سازی از بقیه جدا می‌شود. در نتیجه پالپ غلیظ شده‌ای تولید می‌شود که شامل ۵۵ تا ۶۰ درصد جامد است. در این مرحله می‌توان تا حدود ۸۰ درصد از آب موجود را جدا کرد. سپس با عبور پالپ غلیظ شده از صافی، کیک‌ی به دست می‌آید که دارای ۱۰ تا ۲۰ درصد



شکل ۱. طرح کلی سیستم غلیظ‌کننده [۶].

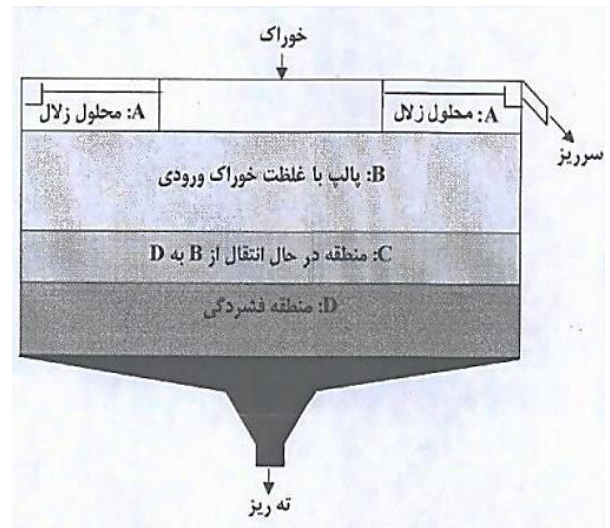
به ترتیب، برابر با ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ گرم بر تن کان‌سنگ بوده است [۸، ۹].

هشت نمونه دوغاب ۳۰ درصد (هر کدام ۵۰۰ میلی‌لیتر) با لخته‌سازهای پیش‌گفته مخلوط شده و در ۸ استوانه‌ی مدرج (به قطر ۵ cm و ارتفاع ۲۸ cm) ریخته شد (شکل ۳). زمان ته‌نشینی در نقطه‌ی تراکم به روش ترسیمی کاینچ^(۷) محاسبه شد. این روش در سال ۱۹۵۵ توسط دو پژوهش‌گر به نام‌های فیتچ^(۸) و تالماج^(۹) ارائه شد. در این روش تنها با یک آزمایش ته‌نشینی می‌توان منحنی ارتفاع ته‌نشینی برحسب زمان را رسم نمود. برای محاسبه‌ی زمان ته‌نشینی در نقطه‌ی تراکم (t_{II}) مماس‌هایی در دو نقطه از تغییر شیب در ابتدا و انتهای منحنی رسم می‌شود. سپس از محل تلاقی مماس‌ها نیم‌سازی رسم می‌شود تا منحنی ته‌نشینی را قطع نماید. در ادامه، از محل تلاقی نیم‌ساز با منحنی ته‌نشینی مماسی رسم می‌شود تا امتداد خط افقی منحنی ته‌نشینی (پایان ته‌نشینی گل) را در نقطه‌ای که t_{II} نامیده می‌شود، قطع نماید (شکل ۴).

سطح (قطر) غلیظ‌ساز نیز براساس روش فیتچ و تالماج برای هر فرایند با غلظت‌های مختلف لخته‌ساز و براساس معادله‌ی زیر محاسبه شد [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]

$$A = \frac{Wt_{II}}{C_0 H_0} \quad (1)$$

که در آن A سطح غلیظ‌کننده (m^2)، H_0 ارتفاع اولیه‌ی گل (m)، C_0 غلظت اولیه‌ی دوغاب (تن کان‌سنگ بر متر مکعب)، t_{II} زمان لازم برای ثابت شدن ارتفاع خط گل (h) که از طریق ترسیم مماس‌ها بر روی منحنی‌های ته‌نشینی به دست می‌آید، و W ظرفیت دوغاب ورودی به غلیظ‌کننده (تن کان‌سنگ بر ساعت) است.



شکل ۲. منطقه‌های ته‌نشینی در داخل غلیظ‌کننده [۷].

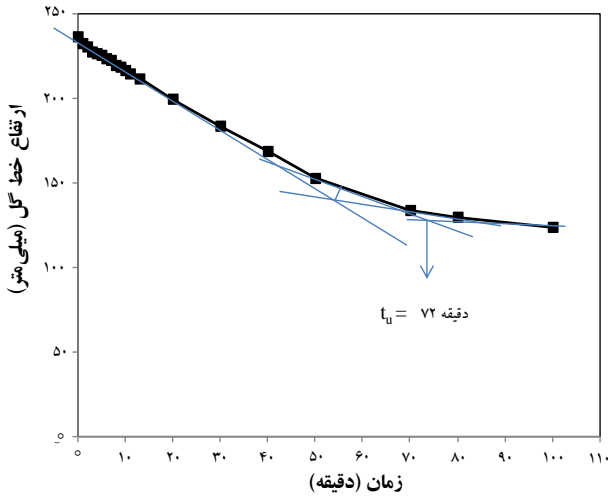
۲. شرح آزمایش‌ها

ابتدا تحت شرایط بهینه [۵]، فرایند فروشویی بر روی کان‌سنگ آنومالی یک ساغند انجام شد. شرایط آزمایش در جدول ۱ ثبت شده است.

دوغاب حاصل از فرایند فروشویی از طریق رقیق‌سازی از ۵۰ درصد جامد به ۳۰ درصد جامد کاهش یافت. محلول لخته‌ساز K-۳۰۰ (انتخاب شده به عنوان بهترین لخته‌ساز از میان چندین لخته‌ساز پیش از این آزمایش شده) با غلظت‌های مختلف آماده‌سازی شد. نحوه‌ی انتخاب لخته‌ساز K-۳۰۰ بدین صورت بود که در ابتدا هشت لخته‌ساز - K۳۲۰، K۳۰۰، مگنافلو^(۶)، K۶۶۳۵، K۳۱۰A، K۳۳۰A، K۵۳۰CF و K۳۰۵A- به غلظت 1 g lit^{-1} تهیه و هر یک به میزان ۶۰ گرم بر تن کان‌سنگ به دوغاب رقیق شده (۳۰٪ جامد) اضافه شد. سپس منحنی ارتفاع ته‌نشینی گل برحسب زمان برای هر یک از لخته‌سازها رسم و از روی آن‌ها براساس پارامترهای سرعت ته‌نشینی گل، شفافیت محلول فروشویی بالای گل بعد از ته‌نشینی و میزان ته‌نشینی، بهترین لخته‌ساز (K-۳۰۰) انتخاب شد. غلظت لخته‌سازها

جدول ۱. شرایط آزمایش فروشویی کان‌سنگ آنومالی یک ساغند

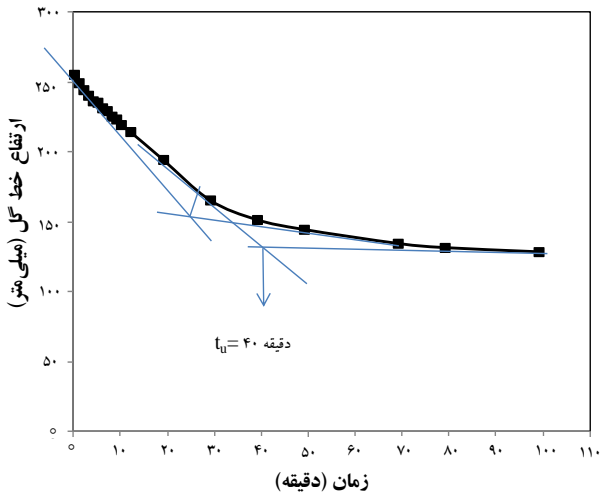
مقدار کان‌سنگ (گرم)	اندازه‌ی سنگ (میکرومتر)	مقدار سولفوریک اسید (گرم)	مقدار آب (گرم)	زمان (ساعت)	دما (درجه‌ی سلسیوس)	نسبت مایع-به-جامد
۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۴	۶۰ تا ۵۰	۱



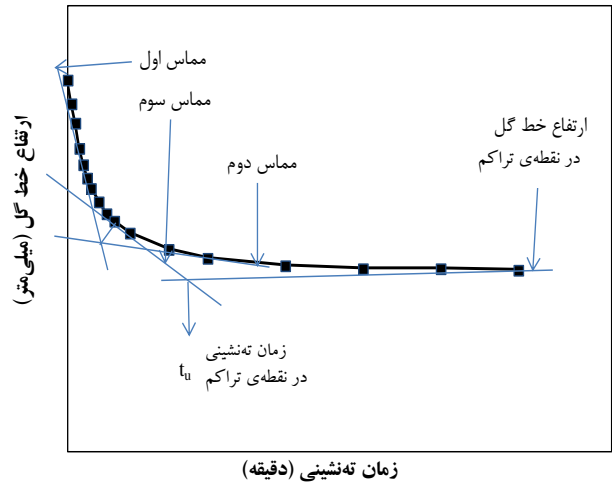
شکل ۵. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۲۰ گرم بر تن کان‌سنگ).



شکل ۳. عملیات ته‌نشینی گل و مایع شفاف بالای گل در غلظت‌های مختلف لخته‌ساز K-۳۰۰.



شکل ۶. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۴۰ گرم بر تن کان‌سنگ).

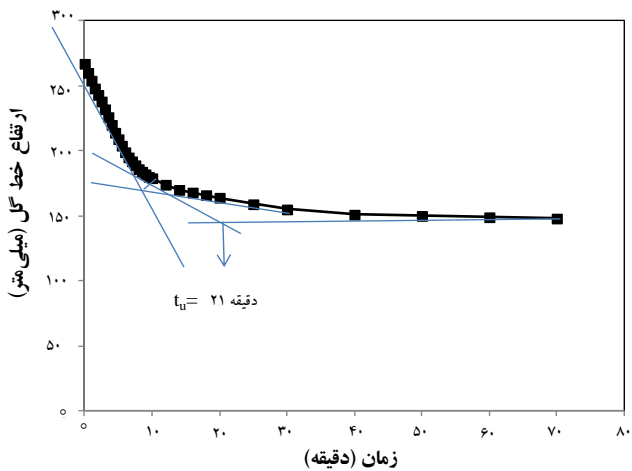


شکل ۴. نحوه‌ی تعیین نقطه‌ی فشردگی گل (نقطه‌ی تراکم) با استفاده از روش ترسیمی کاینچ.

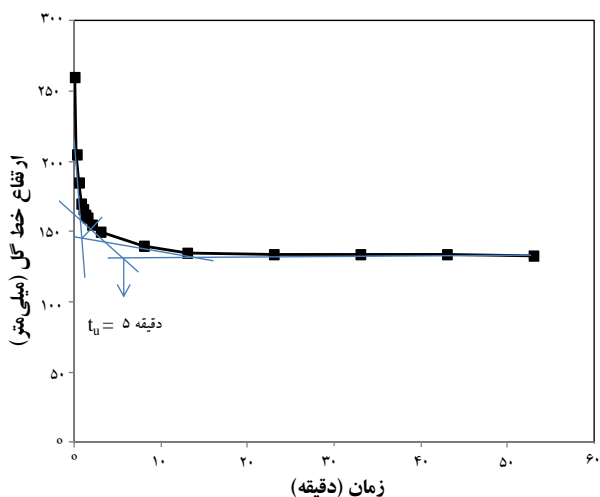
۳. نتایج

با توجه به آزمایش‌های انجام شده، منحنی‌های ته‌نشینی گل برحسب زمان برای مقادیرهای مختلف لخته‌ساز رسم شد و براساس روش ترسیمی کاینچ برای هر یک از این مقادیرها، زمان تراکم گل، t_{ii} ، به دست آمد. شکل‌های ۵ الی ۱۲ منحنی‌های تغییرات ته‌نشینی گل با زمان در مقادیرهای مختلف از لخته‌ساز K-۳۰۰ را به صورت منحنی‌های ته‌نشینی جامد از مایع نشان می‌دهند.

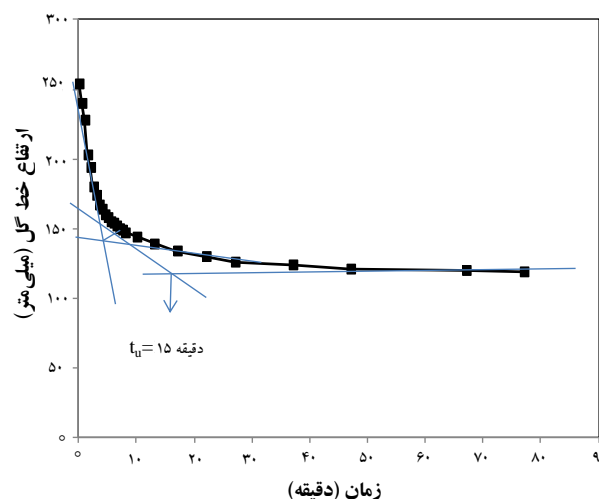
همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش مقدار لخته‌ساز، سرعت ته‌نشینی گل افزایش یافته و ارتفاع خط گل در زمان کم‌تری (t_{ii}) به مقدار ثابتی خواهد رسید که در نتیجه قطر غلیظ‌کننده‌ی مورد نیاز صنعت کاهش خواهد یافت.



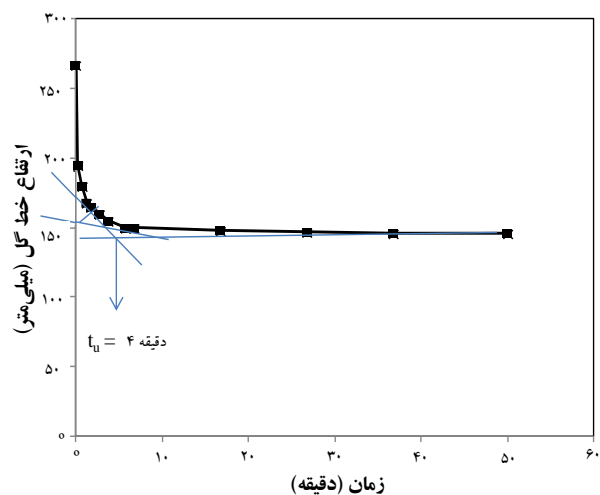
شکل ۷. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۶۰ گرم بر تن کان‌سنگ).



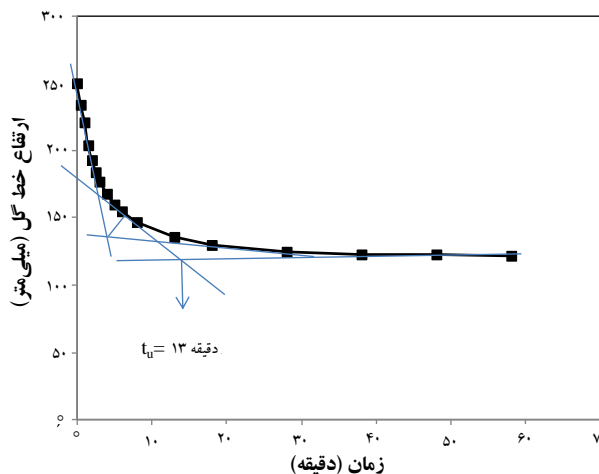
شکل ۱۱. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۲۰۰ گرم بر تن کان‌سنگ).



شکل ۸. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۸۰ گرم بر تن کان‌سنگ).



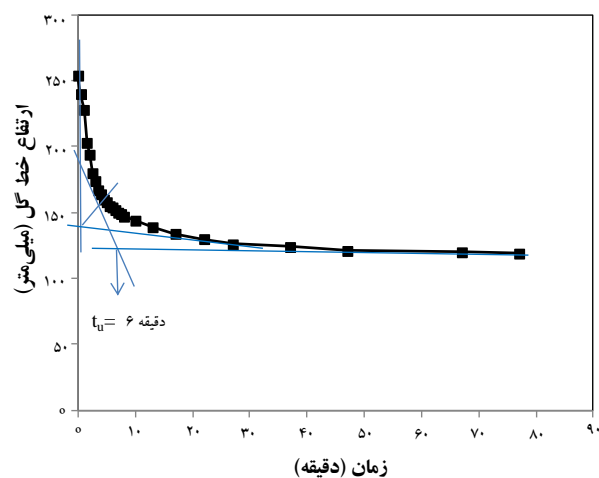
شکل ۱۲. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۲۵۰ گرم بر تن کان‌سنگ).



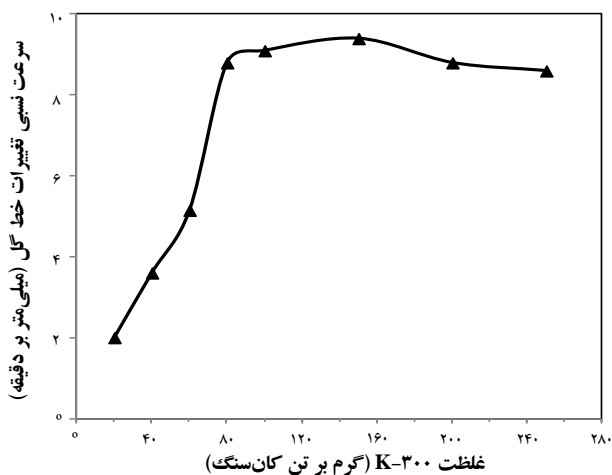
شکل ۹. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۱۰۰ گرم بر تن کان‌سنگ).

براساس مقدارهای به دست آمده برای t_{01} و برای نرخ جریان جرمی ۱۱ تن کان‌سنگ بر ساعت دوغاب ورودی به غلیظ‌کننده و غلظت اولیه‌ی دوغاب ۳۰٪ (جامد)، سطح (قطر) غلیظ‌کننده‌ی مورد نیاز در صنعت با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه و داده‌های به دست آمده در جدول ۲ ثبت شد.

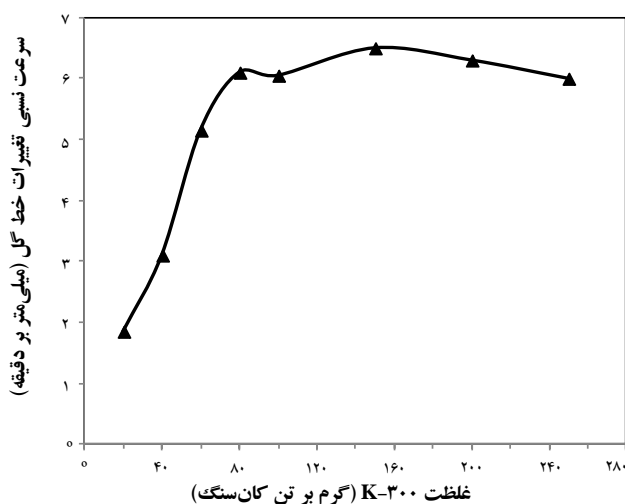
برای انتخاب مقدار بهینه‌ی غلظت لخته‌ساز برای ته‌نشینی، سرعت نسبی برای هر آزمایش براساس معادله‌ی ۲ محاسبه شد و منحنی‌های تغییرات سرعت نسبی براساس غلظت‌های مختلف لخته‌ساز K-۳۰۰ در بازه‌های زمانی ۰ تا ۱۰ (به عنوان نمونه



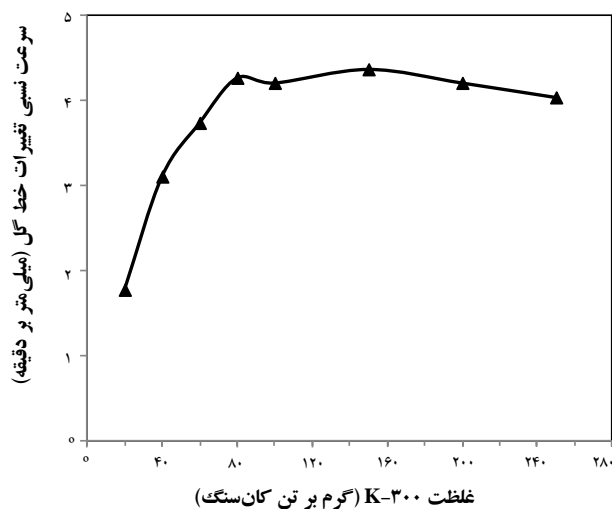
شکل ۱۰. رابطه‌ی بین خط گل و زمان برای لخته‌ساز K-۳۰۰ (۱۵۰ گرم بر تن کان‌سنگ).



شکل ۱۳. رابطه‌ی بین سرعت نسبی تغییرات خط گل و غلظت لخته‌ساز (گرم بر تن کان‌سنگ) در ۱۰ دقیقه‌ی اول.



شکل ۱۴. رابطه‌ی بین سرعت نسبی تغییرات خط گل و غلظت لخته‌ساز (گرم بر تن کان‌سنگ) در ۲۰ دقیقه‌ی اول.



شکل ۱۵. رابطه‌ی بین سرعت نسبی تغییرات خط گل و غلظت لخته‌ساز (گرم بر تن کان‌سنگ) در ۳۰ دقیقه‌ی اول.

جدول ۳) ° تا ۲۰ و ° تا ۳۰ دقیقه در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ ارایه شده است.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

که در آن، v ، سرعت نسبی (میلی‌متر بر دقیقه)، x_1 و x_2 ارتفاع (میلی‌متر) خط گل در زمان به ترتیب، t_1 و t_2 است.

جدول ۲. قطر غلیظ‌کننده‌ی موردنیاز در غلظت‌های مختلف لخته‌ساز برای فرایندهای ناپیوسته

غلظت لخته‌ساز مصرفی (گرم بر تن کان‌سنگ)	قطر غلیظ‌کننده‌ی مورد نیاز صنعتی (متر)
۲۰	۱۳٫۲
۴۰	۹٫۴
۶۰	۷٫۱
۸۰	۵٫۸
۱۰۰	۵٫۴
۱۵۰	۳٫۷
۲۰۰	۳٫۳
۲۵۰	۲٫۹

جدول ۳. رابطه‌ی بین سرعت نسبی و غلظت‌های مختلف لخته‌ساز در بازه‌ی زمانی صفر تا ده دقیقه

غلظت لخته‌ساز مصرفی (گرم بر تن کان‌سنگ)	سرعت نسبی (میلی‌متر بر دقیقه)
۲۰	۲
۴۰	۳٫۶
۶۰	۵٫۲
۸۰	۸٫۸
۱۰۰	۹٫۱
۱۵۰	۹٫۴
۲۰۰	۸٫۷
۲۵۰	۸٫۵



مرجع‌ها

- [1] M. Rudman, D.A. Paterson, K. Simic, Efficiency of raking in gravity thickeners, Int. J. Miner. Process., 95 (2010) 30-39.
- [2] L.M. Andrew, N.H. Doug, J.B. Derek, Mineral processing plant design, Practice and Control, 2, SME (2002) 1295-1312.
- [3] F. Concha, R. Burger, A century of research in sedimentation and thickening, KONA, 2 (2002) 38-70.
- [4] K.A. Landman, L.R. White, Solid/liquid separation of flocculated suspensions, Advances in Colloid and Interface Science, 51 (2010) 175-246.
- [5] J.I. Skorovarov, Processing technology developed for uranium ores from saghand deposit, Iran, Russian Federation Ministry of Atomic Energy, Moscow, (1996).
- [6] R. Cruz, L.A. Cisternas, E.D. Gálvez, Optimal design of a solid-liquid separation system, 32 (2013) 907-912.
- [7] R. Bürger, A. Narváez, Steady-state, control, and capacity calculations for flocculated suspensions in clarifier-thickeners, Int. J. Miner. Process., 84 (1-4) (2007) 274-290.
- [8] Gh.A. Parsapour, M. Hossininasab, M. Yahyaei, S. Banisi, Effect of settling test procedure on sizing thickeners, Separation and Purification Technology., 122 (2014) 87-95.
- [9] D. Ghoddoocy Nejad, A.H. Kiyarashi, M. Vatani, Research of solid-liquid separation systems parameters on the slurry obtained from leaching process of Saghand Anomaly (1, 2) ore, Report: SI-FN.01-91-06 (2013).
- [10] A. Ghadiri, A. Hajati, A.H. Alaghband, R. Asgari, A. Valivand, Design of thickener for separation of acidic leach liquor from solid particles in bandar abbas uranium plant, Journal of Nuclear Science and Tecnology., 44 (2008) 40-44.

همان‌گونه که در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ دیده می‌شود با افزایش غلظت لخته‌ساز مصرفی تا مقدار ۸۰ گرم بر تن کان‌سنگ، سرعت نسبی تغییرات خط گُل افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با افزایش غلظت لخته‌ساز ذره‌های بیش‌تری از جامد به هم چسبیده و طول زنجیره‌های لخته‌ساز افزایش می‌یابد که در نتیجه به دلیل وزن بالای جامد سرعت ته‌نشینی زیاد می‌شود. پس از ۸۰ گرم بر تن کان‌سنگ سرعت نسبی، کمی افزایش و سپس کاهش می‌یابد و افزایش بیش‌تر غلظت لخته‌ساز تأثیر چندانی بر سرعت ته‌نشینی ندارد که دلیل آن این است که مقدار جامد ثابت بوده و باعث اشباع شدن محلول می‌شود. هم‌چنین طول زنجیره‌ها تا یک حدی می‌تواند رشد کند، بعد از آن حد شکسته می‌شود و در نتیجه لخته‌ساز اضافی یا بدون مصرف شدن از غلیظ‌کننده تخلیه می‌شود یا باعث اختلال در عملکرد سیستم غلیظ‌کننده می‌شود. بنابراین با توجه به منحنی‌های بالا و بررسی داده‌های آزمایشگاهی، مقدار بهینه‌ی لخته‌ساز ۳۰۰-K برای ته‌نشینی جامد از مایع با سرعت مناسب، حدود ۸۰ گرم به ازای هر تن خاک تعیین شد [۱۴].

پی‌نوشت‌ها

1. Clarifier
2. Thickener
3. Coagulation
4. Flocculants
5. Flocculation
6. Magnaflu
7. Kynch
8. Fitch
9. Talmadge



- [11] R. Bürger, F. Concha, K.H. Karlsen, A. Narváez, Numerical simulation of clarifier-thickener units treating ideal suspensions with a flux density function having two inflection points, *Mathematical and Computer Modelling.*, 44 (3-4) (2006) 255-275.
- [12] R. Kahane, T. Nguyen, M.P. Schwarz, CFD modelling of thickeners at Worsley Alumina Pty Ltd, *Applied Mathematical Modelling.*, 26 (2) (2002) 281-296.
- [13] W.P. Talmadge, E.B. Fitch, Determining thickener unit area, *Ind. Eng. Chem*, 47 (1955) 38-41.
- [14] R. Hossieny, Research of effective parameters on the solid-liquid separation process in thickener, *Journal of Science and Separation Engineering*, 2 (2012) 43-56.