

بازیابی بهینه آب با تأکید بر نرخ مصرف فلوکولانت در تغلیظ کننده

مرضیه حسینی نسب^۱، روح‌اله رضازاده^۲

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان
(نویسنده مسئول) hosseininasab@eng.usb.ac.ir

۲- سرپرست واحد فرایند کارخانه هماتیت مجتمع گل‌گهر سیرجان

(دریافت ۹۴/۳/۳ پذیرش ۹۵/۴/۳۱)

چکیده

آب نقش مهمی در فراوری کانی‌ها دارد و تقریباً برای فراوری یک تن ماده معدنی ۲ تا ۳ تن آب مصرف می‌شود. بخش عمده عملیات بازیابی آب در تیکنرها انجام می‌شود. در تحقیق حاضر، به منظور مهار باطله تر خروجی از کارخانه هماتیت گل‌گهر، در حالات مختلف خوراک دهی، میزان مناسب مصرف فلوکولانت با اهمیت دادن به شفافیت آب سرریز و صرفه‌جویی در مصرف آب کارخانه تعیین شد. آزمایش‌های تن‌نشینی با تغییر نوع فلوکولانت مورد استفاده (A25, A26 Yazd, A26 Esfahan, A27, A28)، میزان مصرف فلوکولانت (۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ گرم بر تن) و درصد جامد خوراک ورودی تیکنر (۵، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۱ درصد) انجام شد. با توجه به دخالت سه عامل ذکر شده در پنج سطح مختلف، طرح L25 تاگوجی برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس با در نظر گرفتن قابلیت اعتماد ۹۵ درصد نشان داد که نوع فلوکولانت و درصد جامد خوراک ورودی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شفافیت آب ندارد، اما مقدار مصرف فلوکولانت به طور چشمگیری شفافیت آب را تغییر می‌دهد (p-value=۰/۰۰۶). همچنین مشخص شد که استفاده از فلوکولانت A26 با میزان ۴۰ گرم بر تن، شفافیت بهینه آب را در پی خواهد داشت. با اجرای نتایج این تحقیق در کارخانه مورد مطالعه، میانگین مصرف آب به ازای هر تن ماده ورودی از ۰/۸۶ متر مکعب به ۰/۴۹ مترمکعب کاهش و در نتیجه درصد رسوبات کف واحد تغلیظ کننده از ۷ درصد به ۴۵ درصد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بازیافت آب، گل‌گهر، باطله، فلوکولانت، طرح آزمایش تاگوجی

۱- مقدمه

به صورت آب شفاف برای استفاده مجدد به مدار باز گردانده می‌شود (Daniel & Walsh 1988; Unesi et al. 2014; Karbakhsh et al. 2014). به منظور افزایش سرعت تن‌نشینی در این نوع تغلیظ‌کننده‌ها از یک ماده شیمیایی به نام فلوکولانت به عنوان کمک منعقدکننده استفاده می‌شود. فلوکولانت‌ها، زنجیرهای پلیمری طولی از اتم‌های کربن به همراه گروه‌های فعال هستند که همه این گروه‌ها در امتداد این زنجیر قرار دارند. گروه‌های فعال فلوکولانت می‌توانند روی سطح ذرات جذب شوند تا زنجیر فلوکولانت بتواند تعداد زیادی از ذرات را با هم در یک لخته نگه دارد (Hosseini- Nasab et al. 2008). استفاده از فلوکولانت نه تنها باعث افزایش سرعت تن‌نشینی و در نتیجه ظرفیت تغلیظ کننده می‌شود بلکه شفافیت آب بازیابی شده را نیز افزایش می‌دهد (Maurice et al. 2003; Vietti et al. 2010; Wills & Hopkins 2006; Salehnasab et al. & Dehghan 2012; Rudman et al. 2010; Weston 2013; Gladman et al. 2006; September & Kirkwood 2010; Parsapour et al. 2014).

اکثر روش‌های کانه آرایبی در محیطی که محتوی مقدار قابل توجهی آب است انجام می‌شوند. در این شرایط محصول پر عیار شده نهایی به صورت دوغاب بوده و باید به کمک آگیری، بیشترین آب ممکن را بازیابی نمود تا برای حمل یا عملیات پایین دستی مناسب باشد. به علاوه، بازیابی مطلوب آب باعث کاهش رطوبت مواد و همچنین استفاده مجدد از این آب در چرخه فراوری کارخانه شده و از ورود این آب به طبیعت و خسارات زیست محیطی ناشی از مواد همراه آن جلوگیری می‌کند (Behrouzi et al. 2011; Nahvi 2014; Eswaraiha et al. 2012; Ramezan pour & Noori Bilandi 2013; Tcholoanoglous & Burton 1991). تیکنرها، مخازنی به شکل مخروطی هستند که در صنایع معدنی برای بازیابی آب استفاده می‌شوند. در این نوع تغلیظ کننده در اثر اختلاف دانسیته جامد و مایع، ذرات جامد تن‌نشین شده و به صورت دوغاب غلیظ شده از ته‌ریز آن خارج می‌شوند. جریان سرریز نیز

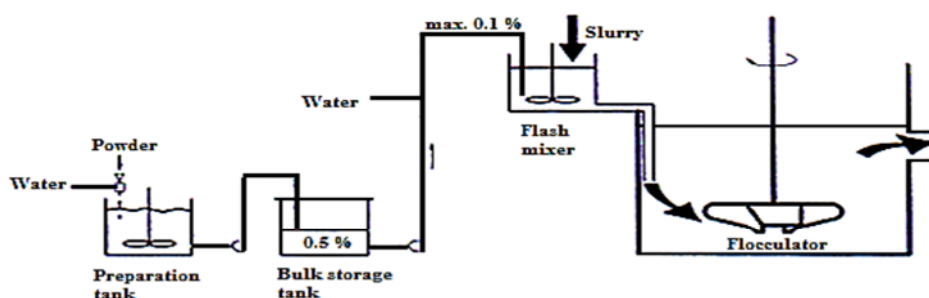


Fig. 1. Flocculant conditioning tank along with the flocculant preparation and injection stages

شکل ۱- تانک آماده‌ساز فلوکولانت و مراحل ساخت و تزریق آن

این تحقیق با اهمیت دادن به شفافیت آب سرریز و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب با ذکر دلایل و شواهد و با تحلیل عددی انجام شد.

۲- روش تحقیق

۱-۲- معرفی تیکنرهای واحد بازیابی هماتیت و سولفورزدایی

باطله تر خروجی از کارخانه فراوری گل گهر قبل از انجام این تحقیق، تنها ۷ درصد جامد داشت. مهار کردن این باطله تر خروجی از کارخانه با درصد بالای آب موجود در آن، یکی از مشکلات عمده کارخانه سنگ آهن گل گهر بود. با توجه به قرار گرفتن مجتمع سنگ آهن گل گهر در منطقه خشک و کم آب، برای افزایش دادن بازیابی آب و جلوگیری از به هدر رفتن آب صنعتی و نیز تسهیل در انتقال مواد و حفظ محیط زیست، افزایش درصد جامد باطله تر مورد نیاز است. یکی از روش‌هایی که در فرایند آبیگری کارخانه‌های فراوری کانسنگ‌های فلزی از جمله کارخانه فراوری سنگ آهن گل گهر، کاربرد بهینه دارد، استفاده از تیکنرهای مخروطی عمیق است (Saleh Nasab & Dehghan 2012; Parsapour et al. 2014).

در کارخانه بازیابی هماتیت مجتمع سنگ آهن گل گهر، به‌منظور بازیافت آب و استفاده مجدد از آن، از سه دستگاه تیکنر در خط فراوری استفاده شد که به ترتیب شامل: دو دستگاه تیکنر کنسانتره (شکل‌های ۲- a و b) و یک دستگاه تیکنر باطله (شکل ۲- c) می‌باشد (Parsapour et al. 2014).

ته ریز دو تیکنر کنسانتره به سمت واحد فیلتراسیون رفته و ته ریز تیکنر باطله از طریق خط لوله به سد باطله واقع در حدود دو

شکل ۱ طرحواره یک تانک آماده‌ساز فلوکولانت و مراحل ساخت فلوکولانت تا تزریق آن به تیکنر را نمایش می‌دهد.

رضانی پور در سال ۱۳۹۱، عملکرد فلوکولانت‌های مختلف را برای استفاده در کارخانه زغالشویی طبس بررسی کرده است (Ramezanpour & Noori Bilandi 2012). تحقیق مذکور فقط در مقیاس آزمایشگاهی صورت گرفته و از دادن عدد و رقم و یا شواهدی مبنی بر بازیافت بهینه آب در آن صرف نظر شده است. در پژوهش‌های قبلی نشان داده شده است که شکل، ابعاد و دانسیته ذرات، توزیع ابعادی و خواص سیال جزو مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در همه فرایندهای جداسازی جامد از مایع مانند فرایند غلیظ‌سازی به شمار می‌رود (Eswaraiash et al. 2012; Daniel & Walsh 1988; Unesi et al. 2014).

کاربخش در سال ۱۳۹۳، فرایند غلیظ‌سازی در تیکنر باطله کارخانه هماتیت گل گهر را بررسی کرد (Karbakhshh et al. 2014).

پارساپور در سال ۲۰۱۴ به طراحی چاهک خوراک‌دهی برای تیکنر این کارخانه پرداخت (Parsapour et al. 2014). تاکنون در زمینه بازیافت آب در تیکنرهای کارخانه فراوری و در مقیاس صنعتی، کار زیادی انجام نشده است. هر چند در سال ۲۰۱۱ بهروزی طی مقاله‌ای، تیکنر کارخانه کوچک فراوری منصورآباد را با هدف کاهش میزان آب مصرفی طراحی کرد اما روش‌های طراحی این تیکنر جزو روش‌های قدیمی بودند و در انتهای مقاله فقط به این نکته اشاره شده که پس از ساخت تیکنر، آب مصرفی این بخش از ۴۰۰ مترمکعب در روز به ۱۰۰ مترمکعب کاهش یافت (Behrouzi et al. 2011).

در تحقیق حاضر، برای بهینه کردن کارایی تیکنر، در حالات مختلف خوراک دهی، نرخ مناسب مصرف فلوکولانت تعیین شد.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2. a) The first concentrate thickeners at the Hematite Unit, **b)** the second concentrate thickeners at the Hematite Unit, **c)** Tailings thickener at the Hematite Unit, and **d)** Collection tank for the storage of return water from the tailings and concentrate thickeners

شکل ۲-ا) - اولین تیکنر کنسانتره واحد هماتیت، (b) - دومین تیکنر کنسانتره واحد هماتیت، (c) - تیکنر باطله واحد هماتیت، (d) - مخزن جمع آوری آب برگشتی تیکنرهای باطله و کنسانتره

ذرات دارد. قبل از انجام این تحقیق، نرخ مصرف فلوکولانت در هر یک از حالات خوراک‌دهی به تیکنر یکسان بود، در نتیجه بهینه کار نکردن تیکنر باطله، دور از انتظار نبود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بهینه کردن کارایی تیکنر در حالات مختلف خوراک‌دهی (با اهمیت به شفافیت آب سرریز) با تعیین نرخ مناسب مصرف فلوکولانت تعیین شد.

۲-۲- مواد و روش‌ها

از باطله سه جریان تأمین کننده خوراک تیکنر به مدت ۱۰ روز نمونه برداری شد. پس از آن سهم هریک از خطوط در خوراک ورودی به تیکنر باطله به دست آمد. در ابتدا چون تناژ جریان‌های ورودی به تیکنر مشخص نبود با داشتن تناژ خوراک، تناژ کنسانتره کارخانه و عیار هر جریان، تناژ باطله هر جریان به دست آمد و بعد از آن براساس جدول ۱ و درصد سهم هر جریان از خوراک تیکنر باطله، نمونه مورد آزمایش ساخته شد و برای انجام آزمایش‌های

کیلومتری کارخانه منتقل می‌شود. سرریز هر سه تیکنر وارد مخزنی می‌شود که آب ورودی به کارخانه نیز به همین مخزن وارد شده و از این مخزن به سمت کارخانه، پمپ شده تا مجدداً در خط استفاده شود (شکل ۲-د).

کارخانه هماتیت مجتمع گل‌گهر، شامل سه خط مجزا است (خط ۱۰۰ یا خط باطله خشک کارخانه تغلیظ، خط ۲۰۰ یا خط باطله تر کارخانه تغلیظ و خط ۳۰۰ یا خط کنسانتره کارخانه تغلیظ) که باطله این سه خط با هم ترکیب شده و وارد تیکنر می‌شوند. غلظت جامد دوغاب به کمک تیکنر افزایش یافته و آب بازیابی جهت استفاده مجدد وارد مدار کارخانه می‌شود و به این ترتیب مصرف آب تازه کارخانه به حداقل می‌رسد. شفافیت آب سرریز یا با چشم تأیید می‌شود و یا برای اطمینان باید دارای حداکثر ۱ درصد جامد باشد تا بتوان از آن به عنوان آب برگشتی به پروسه استفاده نمود. همانطور که اشاره شد، خوراک تیکنر از سه جریان مختلف تشکیل شده که هر جریان خصوصیات خاص خود را از قبیل درصد جامدات و ابعاد

جدول ۱- تناژ جامد باطله خشک، در هر خط ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ در تاریخ‌های نمونه‌گیری

Table 1. Dry tailing tonnages in each of the 100, 200, and 300 lines at sampling dates

Line number of plant	Date										Average feed rate per plant line (t/h)
	2014/May/22	May/25	June/1	June/13	Aug/29	Sep/2	Sep/14	Nov/3	Nov/9	2014/Nov/23	
100	66.8	77.1	82	74.5	50.3	54.5	75.1	45.7	60.2	64.6	65.08
200	58.6	27.3	39.4	28.7	60.1	39.1	35.6	32.9	51	31.3	40.4
300	22.7	6.9	7.5	6.1	8.6	6.4	7.1	9.8	6.2	13	9.3
Total	148.1	111.3	128.9	109.3	119	100	117.8	88.4	117.4	108.9	114.8

نوع فلوکولانت: A25, A26 Yazd, A26 Esfahan, A27, A28
 نرخ مصرف فلوکولانت: ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ گرم بر تن؛ درصد جامد خوراک: ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱ درصد. همه فلوکولانت‌ها محصول کارخانه کوپلیمر اصفهان بوده و تنها A26 Yazd ساخت شرکت اختر شیمی یزد بود. با توجه به نتایج آزمایش‌های اولیه انجام شده، نرخ‌های مصرف بالاتر از ۴۰ گرم بر تن، نتایج مشابه ۴۰ گرم بر تن به دست دادند بنابراین بالاترین نرخ مصرف ۴۰ و کمترین ۲۰ گرم بر تن انتخاب شد. کمترین مقدار نرخ مصرف فلوکولانت، مقداری کمتر از نرخ مصرف فعلی کارخانه که ۲۵ گرم بر تن بود، انتخاب شد. درصد جامد خوراک کارخانه نیز در حدود ۱۰ درصد بود که درصد جامدهای انتخابی نیز بر آن اساس تعیین شد.

وزن مولکولی فلوکولانت‌های A25، A26، A27 و A28 از شرکت کوپلیمر اصفهان به ترتیب ۲۰، ۱۸-۲۰، ۱۸-۱۹ و ۱۸ میلیون گرم بر مول تعیین شد.

۳- نتایج و بحث

همانگونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، بالاترین سرعت ته‌نشینی مربوط به آزمایش شماره ۱۸ است که منحنی ته‌نشینی این آزمایش بر مبنای الگوی آزمایش‌های طراحی شده، در شکل ۴

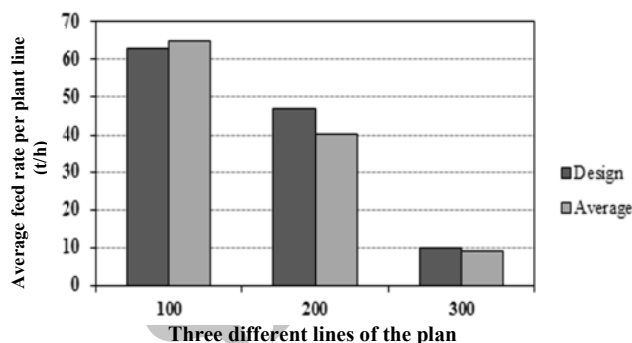


Fig. 3. Comparison of dry tailing weight from each line with its measured average value

شکل ۳- مقایسه تناژ جامد خشک هر خط در طرح با مقدار میانگین واقعی آن

ته‌نشینی مورد استفاده قرار گرفت (Parsapour et al. 2014; Garmsiri et al. 2012)
 بر این اساس، خوراک تیکنر به‌طور میانگین در هر ساعت شامل ۶۵ تن جامد خشک از خط ۱۰۰، ۴۰ تن جامد خشک از خط ۲۰۰ و ۹ تن جامد خشک از خط ۳۰۰ بود که تفاوت چندانی با طرح نداشت (شکل ۳). برای انجام آزمایش‌ها با توجه به دخالت سه عامل نوع فلوکولانت مورد استفاده، نرخ مصرف فلوکولانت و درصد جامد خوراک ورودی که هر یک در ۵ سطح تغییر می‌کرد، طرح آزمایش L25 تاگوچی انتخاب شد (Roy 2007) (جدول ۲ و ۳). سطوح تغییرات عوامل مورد مطالعه به‌صورت زیر است

جدول ۲- پارامترهای مورد مطالعه و سطوح تغییرات آنها

Table 2. Studied parameters and their levels of variation

Parameters	Levels				
	Level one	Level two	Level three	Level four	Level five
Flocculant type	A 25	A 26 Y	A26 E	A27	A28
Consumption rate of the flocculant (gr/ton)	20	25	30	35	40
Percent solids in the feed	5	7	9	10	11

جدول ۳- مقادیر پارامترها با توجه به سطوح و نتایج

Table 3. Values of the parameters based on their levels and the related measurements

No. of Experiment	Run	A: Consumption rate of the flocculant	B: Flocculant type	C: Percent solids in the feed	Error	Settling velocity (cm/s)
1	24	20	A 25	5	1	1.02
2	25	20	A 26 E	7	2	0.74
3	14	20	A26 Y	9	3	0.53
4	3	20	A27	10	4	0.87
5	17	20	A28	11	5	0.6
6	13	25	A26 E	10	5	0.7
7	4	25	A26 Y	11	1	0.59
8	8	25	27	5	2	1.75
9	5	25	28	7	3	0.86
10	12	25	25	9	4	0.66
11	18	30	A 26 Y	7	4	1.21
12	7	30	A 27	9	5	1.09
13	15	30	A 28	10	1	0.93
14	6	30	A 25	11	2	0.97
15	16	30	A 26 E	5	3	1.51
16	11	35	A 27	11	3	0.75
17	2	35	A 28	5	4	1.3
18	22	35	A 25	7	5	2.19
19	19	35	A 26 E	9	1	1.08
20	20	35	A 26 Y	10	2	0.89
21	1	40	A 28	9	2	1.41
22	21	40	A 25	10	3	1.25
23	9	40	A 26 E	11	4	1.04
24	10	40	A 26 Y	5	5	1.87
25	23	40	A 27	7	1	1.6

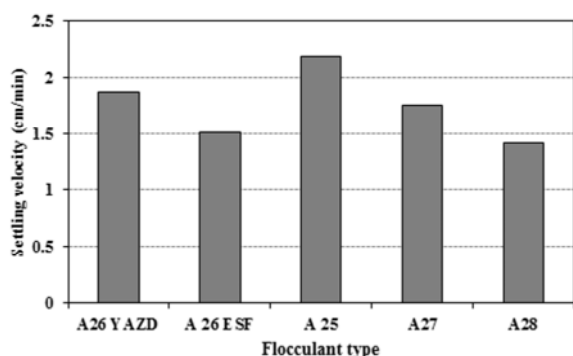


Fig. 5. Comparison of the highest settling rates obtained for the flocculants investigated

شکل ۵- مقایسه بالاترین سرعت ته‌نشینی برای فلوکولانت‌های مورد مطالعه

آماري با استفاده از نرم‌افزار DX7 نیز این یافته را تأیید می‌کند (شکل‌های ۶ و ۷).

محور افقی شکل‌های ۶ و ۷، میزان مصرف فلوکولانت و محور قائم آنها سرعت ته‌نشینی را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۶، فلوکولانت A25 ساخت شرکت کوپلیمر اصفهان با نرخ مصرف ۳۵ گرم بر تن، دارای سرعت ته‌نشینی حدود ۲/۲ سانتی‌متر بر ثانیه

آورده شده است. همچنین برای تسهیل نتیجه‌گیری، بالاترین سرعت ته‌نشینی مربوط به هر یک از انواع فلوکولانت‌ها، در شکل ۵ آورده شده است.

با توجه به جدول ۳ و شکل ۵، فلوکولانت A25 ساخت شرکت کوپلیمر اصفهان با نرخ مصرف ۳۵ گرم بر تن در سطح بالاتری نسبت به دیگر انواع فلوکولانت قرار می‌گیرد و دارای سرعت ته‌نشینی بالاتری نسبت به بقیه است. نتایج به‌دست آمده از تحلیل

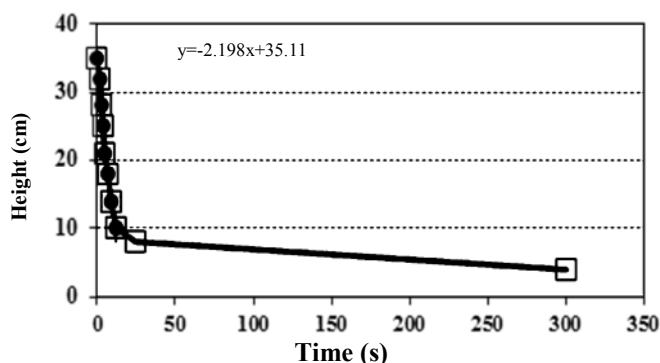


Fig. 4. Settling curve for experiment No. 18 based on the experiment design

شکل ۴- منحنی ته‌نشینی آزمایش شماره ۱۸ بر مبنای الگوی آزمایش‌های طراحی شده

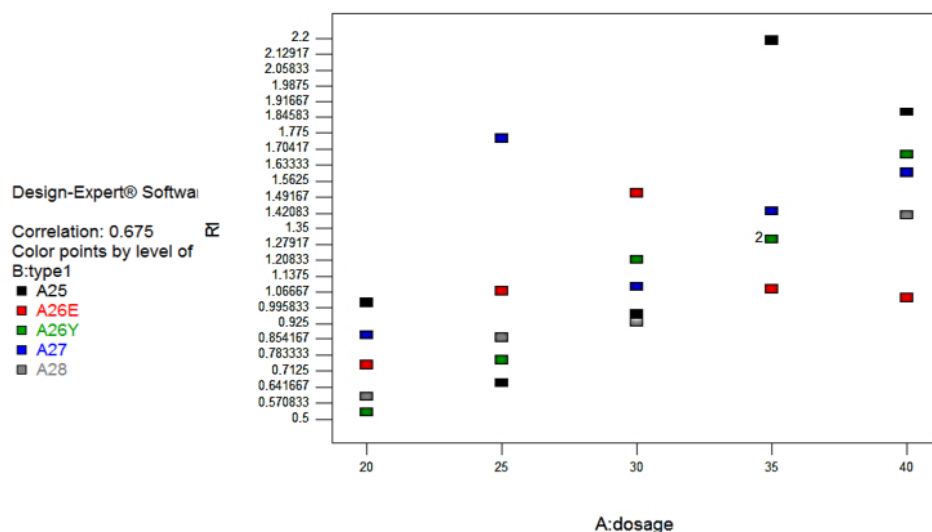


Fig. 6. Settling rates versus consumption rates obtained for the flocculants investigated

شکل ۶- بررسی سرعت ته‌نشینی و نرخ‌های مصرف مختلف برای فلوکولانت‌های مورد مطالعه

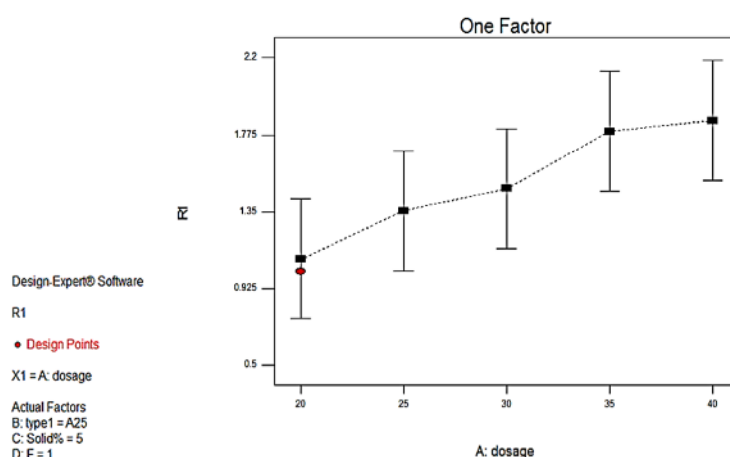


Fig. 7. Flocculant A25 with a solid content of 5% and its various consumption rates

شکل ۷- فلوکولانت A25 با درصد جامد ۵٪ و نرخ‌های مصرف مختلف

نسبت به میزان مصرف ۳۵ گرم بر تن از این فلوکولانت با ۷ درصد جامد در خوراک است.

دلیل بالا بودن نرخ ته‌نشینی هنگام مصرف فلوکولانت A25 نسبت به دیگر فلوکولانت‌ها را می‌توان در بالا بودن جرم مولکولی این فلوکولانت جستجو کرد.

البته بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که سرریز حاصله شفاف بوده و چگالی ظاهری ته‌ریز حاصله نیز بالا شود. سرریز شفاف به معنی تشکیل لخته‌های بزرگ‌تر در ته‌ریز است که منجر به افزایش سرعت ته‌نشینی شده است. از طرف دیگر، ایجاد لخته‌های بزرگ‌تر،

است که سرعت ته‌نشینی به دست آمده در جدول ۳ را کاملاً تأیید می‌کند. در شکل ۷، فلوکولانت A25 با درصد جامد ۵ درصد و نرخ‌های مصرف ۳۵ و ۴۰ گرم بر تن، دارای بالاترین سرعت ته‌نشینی هستند. شکل ۷ برای تأیید میزان مصرف ۳۵ گرم بر تن از این فلوکولانت ارائه شده است. نیاز است به این نکته توجه شود که طبق طراحی آزمایش تاگوچی در جدول ۳، درصد جامد خوراک ۷ درصد تعیین شد که نزدیک به ۵ درصد است. مطابق جدول ۳، طبق طراحی آزمایش تاگوچی، نرخ مصرف ۴۰ گرم بر تن از این فلوکولانت با ۱۰ درصد جامد، دارای سرعت ته‌نشینی پایین‌تری

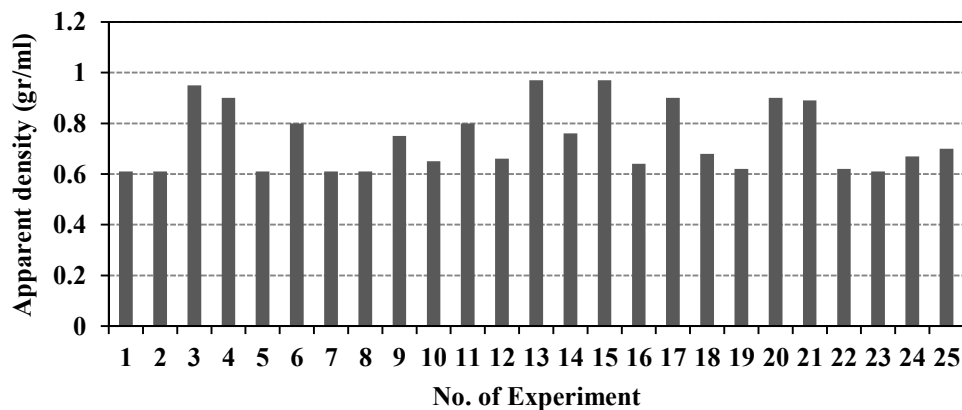


Fig. 8. Apparent density according to the experiment design

شکل ۸- چگالی ظاهری بر مبنای الگوی آزمایش‌های طراحی شده

داشت (شکل ۹-ا). اما چون در کاربردهای صنعتی یکی از وظایف پاروی تیکتر آزاد کردن آب میان لخته‌هاست، پس می‌توان همان شرایط آزمایش ۱۸ را به‌عنوان بهترین شرایط برای به‌دست آوردن بالاترین سرعت ته‌نشینی انتخاب نمود.

البته این نکته حائز اهمیت است که کارخانه مورد مطالعه در حال حاضر می‌تواند هر کدام از فلوکولانت‌های A26 Yazd بود و A26 اصفهان را انتخاب کند، چون فلوکولانت A25 ساخت شرکت کوپلیمر اصفهان با نرخ مصرف ۳۵ گرم بر تن در شرایطی

نشان دهنده چگالی ظاهری کمتر است (شکل ۸). دانسیته لخته تشکیل شده با اندازه لخته‌ها نسبت عکس دارد. به عبارت دیگر زمانی که نرخ بیشتری از فلوکولانت استفاده می‌شود، آب بیشتری درون لخته‌های تشکیل شده وجود دارد که باعث کاهش دانسیته لخته می‌شود. به همین دلیل دانسیته ظاهری هر آزمایش نیز برای نتیجه‌گیری باید در نظر گرفته شود. همانطور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، آزمایش شماره ۱۸ که دارای بالاترین سرعت ته‌نشینی و شفافیت آب سرریز بود، یکی از کمترین مقادیر چگالی ظاهری را



Fig. 9. a) Overflow water clarity in the settling test using flocculant Isfahan A25a used at a feed rate of 35 g/ton, and b) Yazd A26b used at a feed rate of 40 g/ton

شکل ۹-ا)- شفافیت سرریز آزمایش ته‌نشینی با فلوکولانت A25a اصفهان و نرخ مصرف ۳۵ گرم بر تن و b) Yazd A26b بزد و نرخ مصرف ۴۰ گرم بر تن

جدول ۴- تأثیر بیشتر نرخ مصرف فلوکولانت نسبت به درصد جامد ورودی و نوع فلوکولانت با استفاده از آنالیز واریانس برای مدل فاکتوری انتخاب شده

Table 4. Greater effect of flocculant consumption rate than those of solid feed percent and flocculant type revealed by analysis of variance for the factorial model selected

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F-Value	p-value	
Model	3.79	16	0.24	3.89	0.0287	Significant
A: Consumption rate of the flocculant	2.02	4	0.51	8.29	0.006	
B: Flocculant type	0.48	4	0.12	1.96	0.1937	
C: Percent solids in the feed	0.97	4	0.24	3.98	0.0459	
Degrees of freedom of denominator	0.33	4	0.081	1.34	0.3361	
Residual	0.49	8	0.061			
Total	4.28	24				

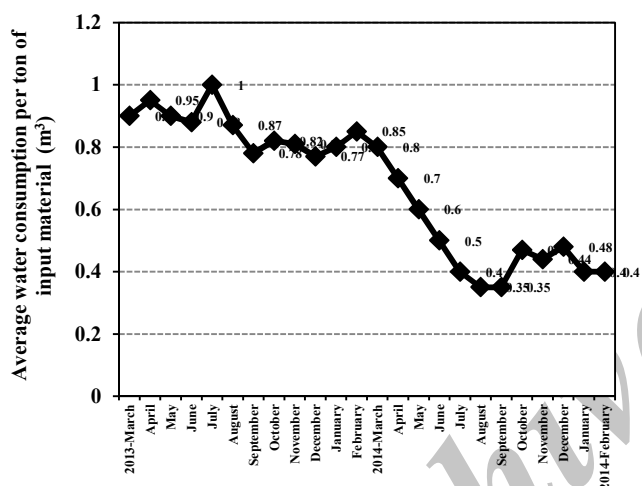


Fig. 10. Comparison of water consumption rates for each ton of ore before and after this study
 شکل ۱۰- مقایسه میزان مصرف آب به ازای هر تن مواد ورودی قبل و پس از انجام این تحقیق

آب به ازای هر تن مواد ورودی از ۰/۸۶ متر مکعب به ۰/۴۹ متر مکعب کاهش پیدا کرد. به عبارت دیگر، در سال ۱۳۹۳ حجمی در حدود ۹۶۲۳۶۵ متر مکعب آب مصرف شده است که به ازای هر تن مواد ورودی، حدود ۵۰ درصد کاهش مصرف آب را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). به علاوه، همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، درصد جامد ته‌نشین در ابتدای راه‌اندازی، ۷ درصد بوده است که در حال حاضر این رقم ۴۵ درصد می‌باشد. مقایسه این ارقام، به‌خوبی موفقیت این مطالعه در دستیابی به هدف تعیین شده مبنی بر بازیابی بهینه آب از خروجی تیکنر را نشان می‌دهد.

که بررسی‌ها به‌صورت تک‌عاملی انجام شدند بالاترین سرعت را داشت اما استفاده از آن در صنعت مناسب نبود. با توجه به جدول ۳ و شکل ۵ چنین استنباط می‌شود که با توجه به درصد جامد یکسان (۵ درصد جامد)، A26 ساخت کارخانه اختر شیمی یزد با نرخ مصرف ۴۰ گرم بر تن نتیجه بهتری از نظر توجه به هر دو عامل سرعت ته‌نشینی و شفافیت سرریز دارد. شکل ۹-b شفافیت آب سرریز این آزمایش را نشان می‌دهد. این نتیجه برای زمانی است که کارخانه در حالت نرمال خود (هر سه خط در مدار) باشد. با در نظر گرفتن جدول ۴ که نشان‌دهنده یکی از نتایج طراحی آزمایش است، مشاهده شد که P-value در آنالیز واریانس برای نوع فلوکولانت ۰/۱۹، برای درصد جامد ۰/۰۴ و برای نرخ مصرف فلوکولانت ۰/۰۰۶ می‌باشد. در نتیجه، با توجه به جدول ۴ با قابلیت اعتماد ۹۵ درصد مشخص شد که نوع فلوکولانت مصرفی تأثیر چندانی بر روی سرعت ته‌نشینی نداشته در حالی که نرخ مصرف فلوکولانت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر سرعت ته‌نشینی دارد. در حال حاضر و پس از اجرای نتایج حاصل از این تحقیق، درصد جامد و چگالی جامد خوراک ورودی به دو تیکنر کنسانتره به‌ترتیب ۳۰ درصد و $SG=4.1$ و برای تیکنر باطله ۷ درصد و $SG=2.53$ می‌باشد. درصد جامد و چگالی جامد ته‌ریز این تیکنرها هم به‌ترتیب ۵۰ درصد و $SG=3.9$ برای دو تیکنر کنسانتره و به‌ترتیب ۵۰-۴۵ درصد و $SG=2.14$ برای تیکنر باطله می‌باشد که نشان‌دهنده عملکرد خوب هر کدام از واحدهاست. همچنین با اجرای نتایج این تحقیق در کارخانه، میانگین مصرف

۴- نتیجه گیری

با توجه به اینکه برای فرآوری هر تن ماده معدنی ۲ تا ۳ تن آب مصرف می‌شود، صرفه‌جویی در مصرف آب کارخانه گل‌گهر و شفافیت آب سرریز در چرخه بازیافت آب، دو هدف نهایی از انجام این تحقیق بود. نتایج نشان داد که نوع فلوکولانت و درصد جامد خوراک ورودی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شفافیت آب ندارد اما نرخ مصرف فلوکولانت به‌طور چشمگیری شفافیت آب را تغییر می‌دهد. همچنین مشخص شد که استفاده از فلوکولانت A26 ساخت کارخانه اختر شیمی یزد با نرخ ۴۰ گرم بر تن، شفافیت بهینه آب را در پی

خواهد داشت. با اجرای نتایج این تحقیق در کارخانه مورد مطالعه، میانگین مصرف آب به ازای هر تن ماده ورودی از ۰/۸۶ متر مکعب به ۰/۴۹ متر مکعب کاهش و در نتیجه درصد جامد ته ریز تیکتر از ۷ درصد به ۴۵ درصد افزایش یافت.

۵- قدردانی

نویسندگان این تحقیق، از سرپرست مرکز تحقیقات سنگ آهن گل‌گهر و همچنین دانشگاه سیستان و بلوچستان برای حمایت در انجام آزمایش‌ها، کمال تشکر را می‌نمایند.

References

- Behrouzi, K., Vafaei Fard, M., Raeiszadeh, A. & Faeghinia, A., 2011, "Water recycling at processing plants in water scarce regions- a case study of thickener design for the Mansour Abad processing plant", *Proceeding Tailings and Mine Waste*, Vancouver, BC.
- Daniel, E. & Walsh, P.D. R., 1988, "A study of factors suspected of influencing the settling velocity of fine gold particles", Mineral Industry Research Laboratory, Fairbanks, Alaska. 99775-1180, Library of Congress Catalog Card Number 88-060573, ISBN 0-91 1043-05-5, MIREL REPORT NO. 76, January.
- Eswaraiah, C., Biswal, S.K. & Mishra, B.K., 2012, "Settling characteristics of ultrafine iron ore slimes", *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 19 (2), 95-100. DOI: 10.1007/s12613-012-0521-6.
- Garmsiri, M.R. & Shirazi, H. A., 2012, "A new approach to define batch settling curves for analyzing the sedimentation characteristics", *Journal of Mining and Environment*, 3(2), 103-111.
- Gladman, B.J., Usher, S.P. & Scales P.J., 2006, "Understanding the thickening process", Dept. of Chemical and Biomolecular Engineering, The University of Melbourne, Australia, Australian Centre for Geomechanics, Perth, ISBN_0-9756756-5-6.
- Hosseini-Nasab, M., Yahyaie, M. & Benisi, S., 2008, "The effect of pulp initial concentration on the formed floccs structure in the thickener", *The Twelfth National Chemical Engineering Congress of Iran*, Chemical Engineering Society of Iran, Tabriz. (In Persian)
- Karbakhsh, M.M., Eskandari Nasab, M. & Mousavi Raad, S.M., 2014, "Evaluation of the tailing thickener separation process of the Gol-E-Gohar hematite plant", *The Second Congress of Scientific-Engineering of process*, Hamandishan Energy Kimia, Tehran. (In Persian)
- Maurice, C., Fuerstenau, N.H. & Kenneth, N., 2003, *Principles of mineral processing handbook*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, SME, Colorado, p. 340.
- Nahvi, M., 2014, "A model to determine thickener cross section based on material deposition", *33rd National Geosciences Symposium*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Parsapour, Gh. A., Arghavani, E., Mosavi S. M. & Banisi, S., 2014, "Designing the feedwell of the Gol-E-Gohar iron ore company thickener", *International Journal of Current Life Sciences*, 4 (2), 684-687.

- Parsapour, Gh.A., Hossininasab, M., Yahyaei, M. & Banisi, S., 2014, "Effect of settling test procedure on sizing thickeners", *Separation and Purification Technology*, 122, 87-95.
- Ramezanipour, M. & Noori Bilandi, M., 2012, "Experimental studies of different flocculants in water recovery from the flotation tailings of coal washing plant of PARVARDE Tabas coal company", *First National Congress of Coal*, Shahroud University of Tech., Shahroud. (In Persian)
- Roy, R.R., 2007, *A primer on the Taguchi method*, Translated by Davood Moradkhani and Farshid Taghavi, Zanjan University Press, Zanjan, Iran. (In Persian)
- Rudman, M., Paterson, D.A. & Simic, K., 2010, "Efficiency of raking in gravity thickeners", *International Journal of Mineral Processing*, 95, 30-39.
- Saleh Nasab, M. & Dehghan, R., 2012, "Introduce new technologies used in the thickener", *The First National Conference of Mining Technologies*, Yazd University, Yazd. (In Persian)
- September, N. & Kirkwood, R., 2010, "Clermont coal mine project selection of tailings paste thickener", AusIMM-Technical Meeting, Rio Tinto, p. 10.
- Tchobanoglous, G. & Burton, F. L., 1991, *Wastewater engineering: Disposal and reuse*, 3rd Ed., Metcalf & Eddy, McGraw-Hill Inc., New York, N.Y.
- Unesi, M., Noaparast, M., Shafaei, S. Z. & Jorjani, E., 2014, "Modeling the effects of ore properties on water recovery in the thickening process", *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 21 (9), 851-861.
- Unesi, M., Noaparast, M., Shafaei, S.Z. & Jorjani, E., 2014, "The role of ore properties in thickening process", *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 50(2), 783-794.
- Vietti, A.J. & Dunn, F., 2014, "A description of the sedimentation process during dynamic thickener operation", Australian Centre for Geomechanics, Perth, ISBN: 978-0-98709.
- Vietti, A.J., Boshoff, J.C.J. & Cope, A., 2010, "Does thickening save water?", *The 4th International Platinum Conference, Platinum in transition 'Boom or Bust'*, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Weston, V., 2013, "The application of mathematics, physics, chemistry and engineering to evaluate solutions in process, environmental, and mineral applications for separating suspended matter and soluble constituents from an aqueous phase", *Salt Lake Community College. Science, Math and Engineering Symposium*, April 23.
- Wills, B. A. & Hopkins, D. W., 2006, *Mineral processing technology*, 7th Ed., Amazon.