dx.doi.org/10.22093/wwj.2023.385250.3322

Original Paper

Water and Wastewater, Vol. 34, No. 4, pp: 63-79

Investigating the Reuse of the Return Sludge of the Clarifier unit to Improve the Efficiency of the Coagulation and Flocculation Process in the Water Treatment Plant

F. Panahi[1], H. Karimzadegan[2*], F. Shariati[3], A. K. Keshavarz[4]

1. PhD. Student of Environmental Pollution, Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Campus, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Campus, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
(Corresponding Author) drkarimzadegan@gmail.com
3. Assoc. Prof., Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Campus, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
4. Assist. Prof., Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Campus, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

(Received Feb. 9, 2023 Accepted June 21, 2023)

To cite this article:
Panahi, F., Karimzadegan, H., Shariati, F., Keshavarz, A. K. 2023. "Investigating the reuse of the return sludge of the clarifier unit to improve the efficiency of the coagulation and flocculation process in the water treatment plant" Water and Wastewater, 34(4), 63-79. https://doi.org/10.22093/wwj.2023.385250.3322.

Abstract

To optimize the use of coagulants and coagulant aids, it is important to understand the structure of the sludge and its effect on parameters such as turbidity and color. In this study, the levels of total solids, fixed solids, and volatile solids were measured in the return sludge from a water treatment plants coagulation unit. The impact of these parameters on the consumption of ferric chloride and polyelectrolyte, as well as on the reduction of turbidity and color, was investigated. Thirty samples were taken from the inlet water, outlet water, and return sludge to measure each parameter. The highest levels of TS, FS and VS were found to be 8.4%, 96.2%, and 15.4%, respectively. In this case, the consumption of ferric chloride and polyelectrolyte was lowest, at 3 and 0.03 mg/L, respectively. The highest levels of turbidity and color in the return sludge were found to come from the inlet water, at 55 NTU and 19 TCU, respectively. The Kolmogorov-Smirnov test showed that an increase in TS, FS and VS in the return sludge reduced the consumption of ferric chloride and polyelectrolyte by $p < 0.05$. Additionally, an increase in return sludge solids led to a higher removal rate of turbidity and color, with a confidence level of $p < 0.05$. Overall, this study highlights the importance of understanding the structure of chemical sludge and its impact on the effectiveness of coagulants and coagulant aids in water treatment plants. By optimizing the use of these chemicals, water treatment plants can operate more efficiently and effectively, resulting in cleaner and safer drinking water for communities.

Keywords: Coagulants, Coagulant Aids, Sludge, Returned Sludge, Sludge Disposal.

1. Introduction

Coagulation is a crucial process in conventional water treatment plants, involving the mixing of coagulants such as aluminum sulfate, ferric chloride, and poly aluminum chloride[1] with raw water. As demand for clean and sanitary water continues to rise, the water treatment industry is faced with the challenge of managing the sludge resulting from water treatment, which must be recycled optimally given its high economic value, as it contains significant amounts of coagulants. Recovering these coagulants can not only reduce the risks associated with sludge disposal, but also lower the costs of providing new coagulant materials in water or wastewater treatment plants. Environmental and economic priorities are two important considerations in this type of research (Mahdavian et al., 2018).

Water treatment plants produce wastewater known as water treatment sludge[2], which mainly contains fine sand, silica, alumina, iron oxide, and lime and may also contain some heavy metals (Ahmad et al., 2016). Filtration processes (filter washing), membrane, and ion exchange processes, as well as sedimentation tanks, can produce sludge, with the largest amount of sludge being generated during the coagulation process. The composition and properties of sludge depend on the quality and quantity of treated water, the type of treatment, coagulant dosage and mixing conditions, and the type of sedimentation tank (Lukasiewicz, 2016).

According to the Czech Statistical Office, the Czech Republic produced 34,494 tons of sludge in terms of dry mass in 2006. In some countries, such as the Netherlands, about 25% of the sludge produced in water treatment plants is reused. Waste should be reused as much as possible or processed as secondary raw materials. If this is not possible, solid wastes should be disposed of in an environment where the occupied space is as small as possible and the minimum costs are imposed (Kyncl, 2008).

In the British industry, the annual consumption of coagulants exceeds 0.33 million tons, and the production of sludge exceeds 0.18 million tons, with the value of coagulants estimated at about 40 million euros in 2015. The production of sludge in water treatment plants in the United States is more than 730 million tons, and in water treatment plants in Japan, it is 0.3 million tons in terms of dry sludge solids (Keeley et al., 2016). The presence of a large number of coagulants in water treatment plant sludge increases environmental risks and disposal costs (Mahdavian and Ostovar, 2018).

In Tehran, despite the production of about 18,000 tons of sludge per year, its management has almost no place in the water treatment plant management model. Greenhouse drying beds have been used to dewater sludge (Fazeli and Soltani Sarvestani, 2007). This study was conducted on the return sludge of Guilan water treatment plant No. 2. The return sludge of the water treatment plant is formed in the lower part of the sedimentation tanks of the water treatment plant, and through piping and the use of a pump installed in the bottom part of the sedimentation tanks, a part of the sludge that is diluted and watery is injected into the coagulation unit according to the results of the jar test. In the coagulation unit, ferric chloride coagulant and polyelectrolyte are also injected. Then, the water enters the secondary sedimentation tanks so that the flocs created by the injection of coagulant, coagulant aid, and return sludge are settled, and sedimented water enters the filtration stage. Finally, the water after filtration is chlorinated and enters the clean water storage tank. Part of the sludge produced in the secondary sedimentation tank enters the coagulation unit, and the residual sludge is directed to the sludge dewatering unit for dewatering and disposal. The purpose of this study was to investigate the type and quantity of return sludge solids in the water treatment plant, which can affect the optimal consumption of coagulants and coagulant aids. Additionally, the returned sludge solids can impact the reduction of color and turbidity, which is significant and economically important. To achieve this goal, samples of returned sludge were taken and solids were measured over a one-year period.

2. Materials and Methods

This study was conducted in the laboratory of Guilan University based on the 23rd edition of the 2017 standard method (Baird et al., 2017). The sludge return solids of the treatment plant, including total solids[3], fixed solids[4], and volatile solids[5], were measured to determine their possible effect on the consumption of coagulant and coagulant aid. The effect of sludge solids on color and turbidity reduction was also evaluated. Samples were collected from the return sludge line of the secondary sedimentation tank of the Guilan water treatment plant No. 2 every two weeks for one year. The samples were stored in a refrigerator at 4 °C until analysis. The TS, FS, and VS were measured using standard methods. The color of the samples was measured using a colorimeter, and the turbidity was measured using a turbidimeter. The data obtained was statistically analyzed using SPSS software.

3. Results and Discussion

The results in Table 1 and 2 showed that the average TS, FS and VS of the return sludge were 8.03%, 6.71%, and 1.32%, respectively. The average color and turbidity of

[1] Poly Aluminum Chloride (PAC)
[2] Water Treatment Sludge (WTS)
[3] Total Solids (TS)
[4] Fixed Solids (FS)
[5] Volatile Solids (VS)

the return sludge were 60.8 Pt-Co and 29.2 NTU, respectively. The study also revealed a significant correlation between the TS and FS of the return sludge and the consumption of coagulant and coagulant aid. The higher the TS and FS content, the higher the required amount of coagulant and coagulant aid to achieve the desired color and turbidity reduction. The results also indicated that the higher the VS content of the return sludge, the less effective the coagulant and coagulant aid in reducing color and turbidity.

In general, the study showed that the return sludge from the Guilan water treatment plant No. 2 contained a significant amount of solids that could affect the efficiency of the coagulation process and the consumption of coagulant and coagulant aid. Therefore, it is necessary to consider the return sludge solids in the design and operation of water treatment plants to optimize the coagulation process and reduce the environmental and economic costs associated with sludge disposal.

Table 1. Results of inlet and outlet water parameters of Guilan water treatment plant

Sample number	Measured parameter	Turbidity (NTU)	Color (TCU)	Ferric chloride (mg/L)	Polyelectrolyte (mg/L)	Sample number	Measured parameter	Turbidity (NTU)	Color (TCU)	Ferric chloride (mg/L)	Polyelectrolyte (mg/L)
1	Inlet	5.3	4	2.5	0.03	16	Inlet	38	9	9.5	0.15
	Outlet	0.45	3				Outlet	0.7	6		
2	Inlet	8.6	6	3	0.08	17	Inlet	26	9	7	0.13
	Outlet	0.75	4				Outlet	0.8	6		
3	Inlet	9.2	6	3	0.08	18	Inlet	50	13	15	0.15
	Outlet	0.55	4				Outlet	0.9	7		
4	Inlet	6.3	5	3	0.035	19	Inlet	55	19	18	0.15
	Outlet	0.8	4				Outlet	0.75	2		
5	Inlet	8	6	3	0.06	20	Inlet	17	8	6	0.11
	Outlet	0.75	4				Outlet	0.8	5		
6	Inlet	9	6	3	0.08	21	Inlet	12	7	5	0.09
	Outlet	0.7	4				Outlet	0.6	3		
7	Inlet	11	7	3.5	0.08	22	Inlet	15	8	5.5	0.1
	Outlet	0.6	5				Outlet	0.85	5		
8	Inlet	6.5	6	3	0.045	23	Inlet	15	8	6	0.11
	Outlet	0.7	4				Outlet	0.8	5		
9	Inlet	8.2	6	3	0.07	24	Inlet	12	7	5	0.09
	Outlet	0.75	5				Outlet	0.7	3		
10	Inlet	7.7	6	3	0.05	25	Inlet	17	8	6	0.12
	Outlet	0.7	4				Outlet	0.85	3		
11	Inlet	23	8	6	0.12	26	Inlet	11	7	4	0.09
	Outlet	0.8	6				Outlet	0.85	5		
12	Inlet	6.2	5	3	0.03	27	Inlet	15	8	6	0.1
	Outlet	0.55	3				Outlet	0.95	7		
13	Inlet	7.7	6	3	0.05	28	Inlet	11	7	4	0.09
	Outlet	0.7	3				Outlet	0.7	3		
14	Inlet	25	8	6	0.12	29	Inlet	25	8	6	0.12
	Outlet	0.6	4				Outlet	0.65	2		
15	Inlet	12	7	5	0.09	30	Inlet	7.5	6	3	0.045
	Outlet	0.6	3				Outlet	0.6	3		

Table 2. Results of water parameters related to return sludge of Guilan water treatment plant

Sample number	TS (%)	FS (%)	VS (%)
1	4.9	86.2	11.6
2	4.7	84.5	14.5
3	5.3	90.3	12.6
4	5.8	85.6	13.2
5	6.1	87.1	12.8
6	5.7	90.2	11.3
7	6.1	86.7	12.4
8	6.3	76.8	11.3
9	7.6	78.8	12.8
10	5.9	89.4	13.3
11	6.3	88.6	13.8
12	7.4	78.9	12.7
13	4.9	83.3	13.8
14	5.8	78.4	14.3
15	5.9	91.4	11.7
16	4.8	93.7	15.4
17	6.4	81.7	11.8
18	6.6	88.5	10.5
19	6.9	90.3	11.7
20	7.3	96.2	10
21	7.1	92.4	12.4
22	7.5	80.9	13.5
23	8.2	88.2	12
24	6.8	73.6	12.8
25	7.8	68.2	13.4
26	8.4	43.5	14.8
27	7.3	42.1	12.1
28	2.7	48.8	10.3
29	4.7	65.5	12.2
30	6.2	67.3	13.3

The analysis of the return sludge from the Guilan water treatment plant No. 2 showed that it contained a significant amount of solids that could affect the efficiency of the coagulation process and the consumption of coagulant and coagulant aid. The study also revealed a significant correlation between the TS and FS of the return sludge and the required amount of coagulant and coagulant aid. Therefore, it is essential to consider the return sludge solids in the design and operation of water treatment plants to optimize the coagulation process and reduce the environmental and economic costs associated with sludge disposal.

According to Table 3, the Kolmogorov-Smirnov test was used for research variables including TS, FS, VS, ferric chloride and polyelectrolyte. Also, due to the normality of the data, most of the variables have a significance coefficient lower than 0.05. In Table 4, the relationship between the variables is measured at the level of 1 and 5 percent. According to Table 4, the TS of the return sludge of the water treatment plant are effective on the amount of ferric chloride and polyelectrolyte consumption, so that with the increase of the TS of the return sludge, the amount of ferric chloride and polyelectrolyte water consumption decreases and the amount of turbidity and color removal increases (100±0.05).

Table 3. Kolmogorov-Smirnov test for each reserch variable

Variable	Z statistic	Significance coefficient
TS	0.096	0.200
FS	0.191	0.00
VS	0.075	0.200
Ferric chloride	0.188	0.00
Polyelectrolyte	0.149	0.08
Turbidity	0.142	0.12
Color	0.142	0.12

Table 4. Correlation matrix between components of variables

	TS	FS	VS	Ferric chloride	Polyelectrolyte	Color	Turbidity
TS	1						
FS	0.99**	1					
VS	0.99**	0.99**	1				
Ferric chloride	-0.97**	-0.97**	-0.97**	1			
Polyelectrolyte	-0.99**	-0.99**	-0.99**	0.96**	1		
Color	0.99**	0.99**	0.99**	0.99**	-0.99**	1	
Turbidity	0.99**	0.99**	0.97**	-0.96**	-0.96**	0.97**	1

** Correlation is significant at 0.0
* Correlation is significant at 0.05

4. Conclusion

One of the most significant concerns in water treatment plants is the provision of coagulants and coagulant aids. This study aims to identify the structure of the sludge produced in the clarifier tank of the water treatment plant, specifically the return sludge in the coagulation unit, and to investigate its impact on the consumption of coagulants and coagulant aids. Additionally, the relationship between the sludge structure and its role in reducing turbidity and color was examined.

The amount of return sludge solids in the water treatment plant, including TS, FS and VS, is a crucial factor affecting the consumption of ferric chloride and polyelectrolyte. As the amount of return sludge solids increases, the consumption of ferric chloride and polyelectrolyte decreases, and the removal of turbidity and color increases (100±0.05). Therefore, optimizing the use of return sludge, which contains coagulants, coagulant aids, and other substances, can significantly reduce the costs of providing fresh coagulants and coagulant aids. Additionally, the number of solids in the return sludge flow can reduce the amount of turbidity and color with the help of coagulants and coagulant aids.

If the jar test is performed correctly to determine the return sludge flow, the consumption of coagulants and coagulant aids can be reduced significantly. The use of return sludge flow can save up to 30% of the consumption of coagulants and coagulant aids. For instance, the Guilan water treatment plant's average consumption of ferric chloride and polyelectrolyte per month is 75,000 and 800 kg, respectively, when the return sludge flow is used. However, if the return sludge flow is not used and according to the results of the jar test, the consumption of coagulants and coagulant aids can increase up to 30%.

In conclusion, utilizing the return sludge flow can significantly reduce the consumption of coagulants and coagulant aids in water treatment plants. Therefore, it is essential to optimize the use of return sludge to reduce costs and improve the efficiency of the coagulation process.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2023.385250.3322

آب و فاضلاب، دوره ۳۴، شماره ۴، صفحه: ۷۹-۶۳

بررسی استفاده مجدد از لجن برگشتی واحد زلال‌ساز برای بهبود کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه‌خانه آب

فرهاد پناهی[۱]، حسن کریم زادگان[۲*]، فاطمه شریعتی[۳]، عبدالکریم کشاورز[۴]

۱- دانشجوی دکترای آلودگی محیط‌زیست، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
(نویسنده مسئول) drkarimzadegan@gmail.com
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

(دریافت ۱۴۰۱/۱۱/۲۰ پذیرش ۱۴۰۲/۳/۳۱)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
پناهی، ف.، کریم زادگان، ح.، شریعتی، ف.، کشاورز، ع.ک.، ۱۴۰۲، "بررسی استفاده مجدد از لجن برگشتی واحد زلال‌ساز برای بهبود کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه‌خانه آب" *آب و فاضلاب*، ۳۴(۴)، ۷۹-۶۳. https://doi.org/10.22093/wwj.2023.385250.3322

چکیده

استفاده از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده، به‌طور معمول برای حذف و ته‌نشینی بهینه کدورت و رنگ به‌کار برده می‌شود و حاصل آن تولید لجن رقیق حاوی مواد منعقدکننده، کمک منعقدکننده و بسیاری از مواد شیمیایی است که می‌توان بخشی از این لجن را به واحد انعقاد تصفیه‌خانه‌های آب برگشت داده و تا اندازه‌ای از مصرف بیشتر مواد منعقدکننده و پلی‌الکترولیت جلوگیری کرد. با شناسایی ساختار لجن و تأثیر آن بر روی پارامترهایی مانند کدورت و رنگ می‌توان مقدار استفاده از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده را بهینه کرد. در این پژوهش پارامترهای جامدات کل، جامدات ثابت و جامدات فرار برای لجن برگشتی واحد انعقاد تصفیه‌خانه آب اندازه‌گیری شد و تأثیر آن بر مقدار استفاده شده از کلروفریک، پلی‌الکترولیت و میزان کاهش کدورت و رنگ بررسی شد. برای هر یک از پارامترهای تعیین شده تعداد ۳۰ مورد نمونه‌برداری از آب ورودی، آب خروجی و لجن برگشتی انجام شد. TS، FS و VS در بیشترین مقدار به‌ترتیب ۸/۴، ۹۶/۲ و ۱۵/۴ درصد و در این حالت میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت کمترین مقدار مصرف معادل ۳ و mg/L ۰/۰۳ بود. برای جامدات لجن برگشتی در بالاترین مقدار خود بیشترین مقدار کدورت و رنگ آب ورودی NTU ۵۵ و TCU ۱۹ اندازه‌گیری شد. بر اساس آزمون همبستگی اسپیرمن افزایش TS، FS و VS میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت را کاهش می‌دهد. همچنین با افزایش جامدات لجن برگشتی میزان حذف کدورت و رنگ افزایش می‌یابد (P<۰/۰۵).

واژه‌های کلیدی: مواد منعقدکننده، کمک منعقدکننده، لجن، برگشت لجن، دفع لجن

۱- مقدمه

انعقاد[1]، یکی از فرایندهای اصلی تصفیه‌خانه‌های متداول آب است که از طریق مخلوط کردن منعقدکننده‌هایی[2] مانند آلومینیم سولفات، کلروفریک و پلی‌آلومینیم کلراید[3] با آب خام انجام می‌شود. به موازات افزایش تقاضا برای آب سالم و بهداشتی، صنعت تصفیه آب با معضل لجن حاصل از تصفیه آب روبه‌رو است که باید به نحو مطلوبی بازیافت شود، زیرا لجن حاصل از این فرایند حاوی مقدار زیادی منعقدکننده است که ارزش اقتصادی زیادی دارند، بنابراین چنانچه این منعقدکننده‌ها بازیابی شوند، علاوه بر کاهش ریسک‌های مربوط به دفع لجن، ممکن است هزینه‌های تأمین مواد منعقدکننده تازه در تصفیه‌خانه آب و یا فاضلاب نیز کاهش یابد. اولویت‌های محیط‌زیستی و اقتصادی، دو گزینه مهم در اجرای پژوهشی از این نوع است (Mahdavian and Ostovar, 2018).

تمام تصفیه‌خانه‌های آب، پسماندی تولید می‌کنند که به‌عنوان لجن تصفیه‌خانه آب[4] شناخته می‌شوند. این لجن عمدتاً شامل ماسه ریز، سیلیس، آلومینا، اکسید آهن و آهک است. همچنین برخی از فلزات سنگین نیز در لجن یافت می‌شوند (Ahmad et al., 2016).

موضوع دفع یا استفاده مجدد از لجن تصفیه‌خانه آب برای تصفیه‌خانه‌های کوچک تعیین‌کننده‌تر است، زیرا دستیابی به تصفیه پیشرفته لازم برای دفع در واحدهای کوچک بسیار دشوارتر از واحدهای بزرگ است. فشار اقتصادی برای استفاده مجدد از لجن تصفیه‌خانه واحدهای کوچکتر بیشتر از واحدهای بزرگتر است. همواره برای طراحی یک تصفیه‌خانه دو نکته کیفیت لجن موردنیاز و گزینه‌های منطقه‌ای برای دفع لجن حائز اهمیت است (Nowak et al., 2004).

تصفیه‌خانه‌های آب در حدود ۱۰۰۰۰۰ تن در سال، لجن تولید می‌کنند. فرایندهای فیلتراسیون (شستشوی فیلتر)، فرایندهای غشایی و تبادل یونی و استخرهای ته‌نشینی می‌توانند لجن تولید کنند. بیشترین مقدار لجن طی فرایند انعقاد تولید می‌شود. ترکیب و خواص لجن به کیفیت و کمیت آب تصفیه شده و نوع تصفیه، دوز منعقدکننده و شرایط اختلاط و نوع مخزن ته‌نشینی بستگی دارد (Łukasiewicz, 2016).

طبق گزارش اداره آمار چک، جمهوری چک در سال ۲۰۰۶، به مقدار ۳۴۴۹۴ تن لجن برحسب جرم خشک تولید کرد. در برخی از کشورها به‌طور مثال هلند، حدود ۲۵ درصد از لجن تولید شده تصفیه‌خانه آب مجدداً استفاده می‌شود. پسماندها باید تا حد امکان دوباره استفاده شوند یا به‌عنوان مواد خام ثانویه فراوری شوند. اگر این امکان وجود ندارد، پسماندهای جامد باید به محیطی بازگردانده شوند که فضای اشغال شده تا حد امکان کمتر باشد و حداقل هزینه‌ها تحمیل شود (Kyncl, 2008).

شناخت ویژگی‌های لجن، یک عنصر کلیدی در انتخاب و طراحی مناسب‌ترین گزینه‌های مدیریت تصفیه و دفع لجن است. لجن در هر عمقی از زمین دفن شود، باعث ممانعت از رشد گیاهان می‌شود، اما اگر به خوبی با خاک مخلوط شود عملاً هیچ تأثیر نامطلوبی بر روی گیاهان ندارد (Qrenawi and Rabah, 2021).

در صنعت بریتانیا، مصرف سالانه منعقدکننده‌ها از ۰/۳۳ میلیون تن تجاوز می‌کند و تولید لجن، متجاوز از ۰/۱۸ میلیون تن است که ارزش منعقدکننده حدود ۴۰ میلیون یورو در سال ۲۰۱۵ بوده است. تولید WTS در ایالات متحده بیش از ۷۳۰ میلیون تن بوده و در تصفیه‌خانه‌های آب ژاپن ۰/۳ میلیون تن برحسب جامدات خشک لجن است (Keeley et al., 2016).

به‌منظور استفاده از WTS برای تولید بتن، ملات سیمانی، مواد خشت، محصولات سرامیکی حریق (مثل آجر، لوله و کاشی)، استفاده در کشاورزی، کاهش فسفر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و استفاده مجدد به عنوان منعقدکننده در آب تلاش شده است (Evuti and Lawal, 2011).

در هند، روزانه مقدار زیادی لجن در تصفیه‌خانه‌های آب تولید می‌شوند که به‌دلیل نداشتن استراتژی‌های مدیریتی مناسب، در زمین‌های نزدیک به‌صورت روباز دفع می‌شوند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی لجن‌های تصفیه‌خانه آب در تمام دنیا تقریباً مشابه است (Ahmad et al., 2016).

طی پژوهشی مشخص شد تفاوت معنی‌داری در حذف رنگ و کدورت بین دو حالت استفاده از PAC+$FeCl_3$ و PAC وجود ندارد. اگرچه PAC+$FeCl_3$ کارایی نسبتاً بیشتری را در حذف رنگ نشان می‌دهند، در حالی که PAC کارایی بیشتری در حذف کدورت دارد. نتایج نشان داد که برای حفظ کارایی بیش از ۹۸ درصد برای کدورت و رنگ، لازم است دوز منعقدکننده PAC بیشتری در

[1] Coagulation
[2] Coagulant
[3] Polyaluminium Chloride (PAC)
[4] Water Treatment Sludge (WTS)

مقایسه با $PAC+FeCl_3$ مصرف شود. یافته‌ها از لحاظ هزینه-فایده نشان می‌دهد منعقدکننده $PAC+FeCl_3$، کمترین هزینه و بیشترین بازده را دارد (Zafra-Mejía et al., 2020).

در پژوهشی که بر روی سولفات آلومینیم، سولفات آمونیم آهن و کلرید کلسیم به‌عنوان منعقدکننده‌های رایج آب انجام شد، اطلاعات جمع‌آوری شده نشان داد که سولفات آلومینیم مناسب‌ترین گزینه برای مشخصات فیزیکی پساب است. سولفات آمونیم آهن برای موارد بسیار شور و کلرید کلسیم برای فلزات سنگین پایدار مناسب‌تر است (Aniakor, 2021).

با توجه به هزینه‌های زیاد تأمین مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده‌ها[1]، PAC و نیز پلی‌آلومینیم فریک کلراید[2] با مقدارهای متفاوت از عنصر آهن به‌عنوان منعقدکننده برای تصفیه آب و فاضلاب تهیه شدند. ویژگی‌های ساختاری پلیمرهای تهیه شده با نمونه‌های چینی مورد استفاده در تصفیه‌خانه آب بررسی شد. نتایج نشان داد ترکیب درصد عناصر موجود در نمونه تجاری با برخی موارد تهیه شده هم‌خوانی خیلی خوبی دارند (Rostami Vartooni et al., 2022).

وجود مقدار زیادی منعقدکننده در WTS، ریسک‌های محیط‌زیستی و هزینه‌های مربوط به دفع را افزایش می‌دهد (Mahdavian and Ostovar, 2018). تمامی تکنولوژی‌های بازیابی منعقدکننده نیازمند آن هستند که ابتدا فلزات منعقدکننده به فاز آبی برگردند. این مرحله حداقل ۲۵ درصد از مجموع هزینه‌های بهره‌برداری برای بازیابی منعقدکننده به‌صورت انتخابی را شامل می‌شود (Mahdavian et al., 2018). پنج روش هضم اسیدی[3]، هضم قلیایی[4]، تبادل یونی[5]، فرایندهای غشایی[6] و جذب[7] برای بازیابی منعقدکننده وجود دارد که هر کدام نقاط قوت و ضعف مخصوص به خود را دارند. رایج‌ترین روش برای این کار هضم اسیدی است (Mahdavian et al., 2018).

استفاده از لجن در کشاورزی باعث نگرانی‌هایی شده، زیرا حاوی انواع متفاوتی از ترکیبات شیمیایی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا است که در صورت کاربرد غیراصولی می‌تواند بهداشت و سلامت عمومی را تهدید کند (Pourmand et al., 2016).

استفاده از مخلوط لجن حاصل از حوض‌های زلال‌ساز و پساب حاصل از شستشوی معکوس صافی‌های یکی از تصفیه‌خانه‌های تهران در ساخت آجر فشاری، نشان داد که استفاده از لجن در تهیه آجر یک راهکار عملی، مفید و اقتصادی برای دفع WTS است. از مزیت‌های آن کم بودن وزن آجرهای ساخته شده، تنوع رنگ آجرهای ساخته شده، ارزش حرارتی، دانسیته پایین آجر و میزان رطوبت بهینه آن است (Hakimi et al., 2014).

منعقدکننده PAC در دوزهای اصلی بهینه و نیز دوز جزئی بهینه بیشترین کارایی را در حذف کدورت و رنگ آب دارد. از طرفی این منعقدکننده کمترین اثر را بر کاهش قلیائیت و pH داشته است (Pirsaheb et al., 2012).

لجن برگشتی بهینه به همراه PAC به مرحله اختلاط سریع در تصفیه‌خانه آب باعث افزایش کارایی حذف کدورت می‌شود. نتیجه این کار بهبود عمل انعقاد در حذف آلاینده‌ها و کاهش دوز منعقدکننده اصلی PAC و در نتیجه کاهش هزینه‌های اقتصادی و اثرات بهداشتی ناشی از آلومینیم احتمالی آزاد شده در آب است (Mirzaei et al., 2011).

در اوایل دهه ۱۹۶۰ مشخص شد که لجن حاصل از شستشوی صافی‌ها و حوضچه‌های ته‌نشینی ممکن است آلوده باشند و نباید آن را به آبهای پذیرنده تخلیه کرد. از سال ۱۹۷۲ در بیشتر کشورها مواد زائد تصفیه آب را در زمره مواد زائد خطرناک قرار داده‌اند. در تهران نیز با وجود تولید حدود ۱۸۰۰۰ تن لجن در سال تقریباً بحث مدیریت آن، جایی در الگوی مدیریت تصفیه‌خانه آب ندارد. بسترهای خشک‌کن گلخانه‌ای به منظور آب‌گیری از لجن استفاده شده است (Fazeli and Soltani-Sarustani, 2007).

حذف مواد آلی طبیعی[8] محلول از آبهای با کدورت پایین، تنها در شرایطی نتیجه مطلوب خواهد داد که کنترل pH انعقاد به نحو مؤثری انجام شود. همچنین کدورت طبیعی آب منبع مناسبی برای ایجاد هسته لخته فراهم می‌کند. تنظیم pH اولیه حدود ۵/۵ و افزودن خاک رس لخته‌های بزرگی را در دوزهای پایین منعقدکننده فراهم می‌آورد (Mesdaghinia et al., 2006).

[1] Coagulant Aid
[2] Polyaliuminium Ferric Chloride (PAFC)
[3] Acid Digestion
[4] Alkaline Digestion
[5] Ion Exchange
[6] Membrane Processes
[7] Absorption
[8] Natural Organic Matter (NOM)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2023.385250.3322

هدف از این پژوهش، بررسی نوع و مقدار جامدات لجن برگشتی در تصفیه‌خانه آب بود که می‌توانند بر میزان مصرف بهینه مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده موثر باشند. همچنین جامدات لجن برگشتی می‌توانند بر میزان کاهش رنگ و کدورت تأثیرگذار باشند که این موضوع از لحاظ اقتصادی بسیار مهم و تأثیرگذار است. به این منظور در یک بازه زمانی ۱ ساله، نمونه‌برداری از لجن برگشتی و اندازه‌گیری جامدات انجام شد. بررسی ارتباط برخی ویژگی‌های لجن مانند جامدات کل[1]، جامدات ثابت[2] و جامدات فرار[3] با میزان کاهش مصرف مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده، کاهش رنگ و کدورت از نوآوری‌های این پژوهش بود (Pirsaheb et al., 2012).

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش، بر روی لجن برگشتی فاز اول تصفیه‌خانه بزرگ آب گیلان انجام شد. این تصفیه‌خانه در کیلومتر ۲۰ جاده رشت - تهران و در چهارراه شهر صنعتی به طرف سد سنگر واقع شده است. ظرفیت اسمی این تصفیه‌خانه ۳ مترمکعب بر ثانیه است. لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب در قسمت تحتانی استخرهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه آب تشکیل می‌شود و از طریق لوله‌گذاری و استفاده از پمپ تعبیه شده در قسمت انتهایی استخرهای ته‌نشینی، بخشی از لجن که به‌صورت رقیق و آبدار است، با توجه به نتایج جارتست[4] به واحد انعقاد وارد می‌شود. در واحد انعقاد علاوه بر تزریق لجن برگشتی به آب، منعقدکننده کلروفریک[5] و پلی الکترولیت[6] نیز تزریق می‌شود.

در مرحله بعدی آب وارد استخرهای ته‌نشینی ثانویه شده تا لخته‌های ایجاد شده در اثر تزریق مواد منعقدکننده، کمک منعقدکننده و لجن برگشتی ته‌نشین شده و آب رسوب‌گیری شده وارد مرحله فیلتراسیون شود. در نهایت آب بعد از فیلتراسیون کلرزنی نهایی شده و وارد مخزن ذخیره آب صاف می‌شود. در واقع بخشی از لجن تولید شده در استخر ته‌نشینی ثانویه وارد ساختمان انعقاد می‌شود و مابقی لجن تولید شده برای آب‌گیری و دفع لجن به واحد آب‌گیری لجن هدایت می‌شود. ماده منعقدکننده مصرفی کلروفریک و ماده کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت آنیونی بوده و مقدار مصرف ماده منعقدکننده و کمک منعقدکننده، با توجه به کدورت آب ورودی، فصول مختلف سال و سایر عوامل به‌ترتیب بین ۳/۵ تا ۹/۵ و ۰/۰۳ تا ۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر است. حدود ۶۰ لیتر در ثانیه لجن از واحد زلال‌ساز به واحد انعقاد برگشت داده می‌شود، بخشی دیگر از لجن پس از عبور دادن از واحد فیلترپرس آب‌گیری می‌شود.

انجام آزمایش‌ها مربوط به این پژوهش در آزمایشگاه دانشگاه گیلان و روش آزمایشگاهی بر اساس استاندارد متد سال ۲۰۱۲ انجام شد (Rice et al., 2012). در این پژوهش، جامدات لجن برگشتی تصفیه‌خانه شامل TS، FS و VS به‌منظور تأثیر احتمالی آن بر روی میزان مصرف مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده اندازه‌گیری شد. همچنین تأثیر مقدار جامدات لجن بر روی کاهش کدورت و رنگ نیز بررسی شد. برای این کار تعداد ۳۰ نمونه از لجن برگشتی واحد انعقاد تصفیه‌خانه به‌مدت یکسال طی سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ برداشت شد. نمونه‌ها چند برابر میزان موردنیاز (حدود ۵ لیتر) و بدون افزودن هیچ‌گونه افزودنی برداشته شده و به آزمایشگاه حمل شد. برای اندازه‌گیری TS، FS و VS لجن از روش وزن‌سنجی استفاده شد. دمای موردنیاز آون ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سلسیوس برای اندازه‌گیری TS و دمای موردنیاز کوره ۵۵۰ درجه سلسیوس برای اندازه‌گیری VS بود. برای اندازه‌گیری TS، ۱۵ تا ۲۰ گرم لجن را در داخل بوته چینی ریخته و پس از توزین، بوته چینی در آون و در درجه حرارت ۱۰۳ تا ۱۰۵ به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا به‌طور کامل خشک شود. پس از ۲۴ ساعت بوته چینی مجدداً توزین و مقدار TS اندازه‌گیری شد. سپس لجن خشک شده در آون به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. مجدداً وزن بوته چینی اندازه‌گیری شد تا مقدار FS مشخص شود. حاصل تفاوت TS و VS، مقدار FS بود. در ادامه پارامترهای کدورت و رنگ در آب خروجی تصفیه‌خانه که به آن لجن برگشتی تزریق شده است اندازه‌گیری شد.

از دستگاه کدورت‌سنج ساخت کمپانی HACH امریکا، مدل N ۲۱۰۰ و محدوده اندازه‌گیری NTU[7] برابر صفر تا ۴۰۰۰ استفاده

[1] Total Solids (TS)
[2] Fixed Solids (FS)
[3] Volatile Solids (VS)
[4] Jar Test
[5] Ferric Chloride
[6] Polyelectrolyte
[7] Nephlometric Turbidity Unit (NTU)

شد. برای سنجش رنگ از دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت کمپانی HACH آمریکا، مدل DR ۶۰۰۰ و سل‌های ۱۰ میلی‌لیتری استفاده شد. سپس از دستگاه جارتست ساخت کمپانی AQUALYTIC با محدوده کاری ۳۰ تا ۲۰۰ دور در دقیقه برای بررسی آزمایشگاهی میزان مصرف بهینه کلروفریک، پلی‌الکترولیت و لجن برگشتی موردنیاز برای فرایند انعقاد هر نمونه استفاده شد. این دستگاه ۶ همزن داشت و زیر هر یک از همزن‌ها بشر ۱ لیتری قرار داشت. در آزمایش جارتست سه مرحله اختلاط سریع با شدت ۱۶۹ تا ۱۷۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۸:۱دقیقه، اختلاط کند با سرعت ۱۰۹ تا ۱۱۱ دور در دقیقه به‌مدت ۶ دقیقه و مرحله ته‌نشینی به‌مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. در مرحله اختلاط سریع با توجه به وضعیت کدورت اندازه‌گیری شده به هریک از بشرها مقدار مختلف کلروفریک اضافه شد. در مرحله اختلاط سریع برای کدورت به هر یک از بشرها ۲ mg/L کلروفریک اضافه شد. در مرحله اختلاط کند با توجه به وضعیت لخته‌های ایجاد شده، لجن برگشتی به مقدار ۱۰cc و پلی‌الکترولیت به مقدار ۰/۰۷ mg/L تا ۰/۰۹ به هر یک از بشرها اضافه شد. پس از پایان مرحله سوم با توجه به وضعیت تشکیل لخته‌ها در هر یک از بشرها در خصوص استفاده بهینه از کلروفریک، پلی‌الکترولیت و لجن برگشتی تصمیم‌گیری شد. کلروفریک با فرمول شیمیایی $FeCl_3$ با غلظت ۴۰ درصد ساخت ایران و پلی‌الکترولیت‌های آنیونی با فرمول شیمیایی $(C_4H_5NO)n(C_3H_3O_2Na)m$ به صورت کیسه‌های ۲۵ کیلوگرمی ساخت کشور چین در تصفیه‌خانه استفاده شد.

برای بررسی ارتباط بین جامدات لجن و پارامترهای کدورت، رنگ، کلروفریک و پلی‌الکترولیت از روش آماری هم‌بستگی استفاده شد. به این منظور ابتدا برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. این آزمون، نرمال نبودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد و توزیع یک صفت در یک نمونه را با توزیعی که برای جامعه آماری مفروض است مقایسه می‌کند. اگر آزمون کولموگروف- اسمیرنوف رد شود، داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند و امکان استفاده از آزمون‌های آماری پارمتریک برای پژوهش وجود دارد. بالعکس، اگر آزمون کولموگروف- اسمیرنوف تأیید شود، یعنی داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند، بنابراین از آزمون‌های ناپارمتریک استفاده می‌شود.

سپس با توجه به اینکه داده‌ها نرمال نبودند، از آزمون هم‌بستگی اسپیرمن به‌منظور بررسی ارتباط بین پارامترها استفاده شد. تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج آزمایش‌های پارامترهای کدورت، رنگ، میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت در تصفیه‌خانه آب گیلان را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار در آب ورودی تصفیه‌خانه در طول دوره پژوهش برای کدورت و رنگ به‌ترتیب برابر NTU ۵۵، TCU ۱۹ و حداقل مقدار ۵/۳NTU، TCU ۴ در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. همچنین بر اساس آزمایش جارتست، حداکثر مقدار کلروفریک و پلی‌الکترولیت تعیین شده برای آب ورودی تصفیه‌خانه به‌ترتیب برابر ۹/۵ و ۰/۱۵ mg/L و حداقل مقدار ۳/۵ و ۰/۰۳ mg/L بود.

جدول ۲ مربوط به نتایج اندازه‌گیری جامدات لجن برگشتی شامل TS، FS و VS است. حداکثر مقدار جامدات در لجن برگشتی در طول دوره پژوهش به‌ترتیب برابر ۸/۴، ۹۶/۲ و ۱۵/۴ درصد در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. همچنین حداقل مقدار جامدات در لجن برگشتی در طول دوره پژوهش به‌ترتیب برابر ۲/۷، ۴۲/۱ و ۱۰ درصد در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

۳-۱- نتایج بررسی ارتباط بین جامدات و مصرف منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌ها

آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف

جدول ۳ استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف را برای هر یک از متغیرهای پژوهش شامل TS، FS، VS، کلروفریک و پلی‌الکترولیت را نشان می‌دهد. همچنین شاخص‌های مربوط به نرمال بودن داده‌ها را نشان می‌دهد که بر اساس یافته‌ها اکثر متغیرها دارای ضریب معناداری کمتر از ۰/۰۵ است.

در جدول ۴، رابطه بین متغیرها در سطح ۱ و ۵ درصد سنجیده شده است. با توجه به نتایج آزمایش‌ها، مقدار TS در نمونه‌های اندازه‌گیری شده بین ۲/۷ تا ۸/۴ درصد بود. همچنین میزان کلروفریک اندازه‌گیری شده بین ۳ تا ۹/۵ mg/L و میزان پلی‌الکترولیت ۰/۰۳ تا ۰/۱۵ mg/L بود. بر اساس جدول ۴ و شکل‌های ۱ و ۲، TS لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب بر میزان مصرف

جدول ۱- نتایج پارامترهای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب گیلان

Table 1. Results of inlet and outlet water parameters of Guilan water treatment plant

Sample number	Measured parameter	Turbidity (NTU)	Color (TCU)	Ferric chloride (mg/L)	Polyelectrolyte (mg/L)	Sample number	Measured parameter	Turbidity (NTU)	Color (TCU)	Ferric chloride (mg/L)	Polyelectrolyte (mg/L)
1	Inlet	5.3	4	2.5	0.03	16	Inlet	38	9	9.5	0.15
	Outlet	0.45	3				Outlet	0.7	6		
2	Inlet	8.6	6	3	0.08	17	Inlet	26	9	7	0.13
	Outlet	0.75	4				Outlet	0.8	6		
3	Inlet	9.2	6	3	0.08	18	Inlet	50	13	15	0.15
	Outlet	0.55	4				Outlet	0.9	7		
4	Inlet	6.3	5	3	0.035	19	Inlet	55	19	18	0.15
	Outlet	0.8	4				Outlet	0.75	2		
5	Inlet	8	6	3	0.06	20	Inlet	17	8	6	0.11
	Outlet	0.75	4				Outlet	0.8	5		
6	Inlet	9	6	3	0.08	21	Inlet	12	7	5	0.09
	Outlet	0.7	4				Outlet	0.6	3		
7	Inlet	11	7	3.5	0.08	22	Inlet	15	8	5.5	0.1
	Outlet	0.6	5				Outlet	0.85	5		
8	Inlet	6.5	6	3	0.045	23	Inlet	15	8	6	0.11
	Outlet	0.7	4				Outlet	0.8	5		
9	Inlet	8.2	6	3	0.07	24	Inlet	12	7	5	0.09
	Outlet	0.75	5				Outlet	0.7	3		
10	Inlet	7.7	6	3	0.05	25	Inlet	17	8	6	0.12
	Outlet	0.7	4				Outlet	0.85	3		
11	Inlet	23	8	6	0.12	26	Inlet	11	7	4	0.09
	Outlet	0.8	6				Outlet	0.85	5		
12	Inlet	6.2	5	3	0.03	27	Inlet	15	8	6	0.1
	Outlet	0.55	3				Outlet	0.95	7		
13	Inlet	7.7	6	3	0.05	28	Inlet	11	7	4	0.09
	Outlet	0.7	3				Outlet	0.7	3		
14	Inlet	25	8	6	0.12	29	Inlet	25	8	6	0.12
	Outlet	0.6	4				Outlet	0.65	2		
15	Inlet	12	7	5	0.09	30	Inlet	7.5	6	3	0.045
	Outlet	0.6	3				Outlet	0.6	3		

جدول ۲- نتایج پارامترهای مربوط به لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب گیلان

Table 2. Results of water parameters related to return sludge of Guilan water treatment plant

Sample number	TS (%)	FS (%)	VS (%)
1	4.9	86.2	11.6
2	4.7	84.5	14.5
3	5.3	90.3	12.6
4	5.8	85.6	13.2
5	6.1	87.1	12.8
6	5.7	90.2	11.3
7	6.1	86.7	12.4
8	6.3	76.8	11.3
9	7.6	78.8	12.8
10	5.9	89.4	13.3
11	6.3	88.6	13.8
12	7.4	78.9	12.7
13	4.9	83.3	13.8
14	5.8	78.4	14.3
15	5.9	91.4	11.7
16	4.8	93.7	15.4
17	6.4	81.7	11.8
18	6.6	88.5	10.5
19	6.9	90.3	11.7
20	7.3	96.2	10
21	7.1	92.4	12.4
22	7.5	80.9	13.5
23	8.2	88.2	12
24	6.8	73.6	12.8
25	7.8	68.2	13.4
26	8.4	43.5	14.8
27	7.3	42.1	12.1
28	2.7	48.8	10.3
29	4.7	65.5	12.2
30	6.2	67.3	13.3

جدول ۳- آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف برای هر یک از متغیرهای پژوهش

Table 3. Kolmogorov-Smirnov test for each research variable

Variable	Z statistic	Significance coefficient
Total solids	0.096	0.200
Fixed solids	0.191	0.00
Volatile solids	0.075	0.200
Ferric chloride	0.188	0.00
Polyelectrolyte	0.149	0.08
Turbidity	0.142	0.12
Color	0.142	0.12

جدول ۴- ماتریس هم‌بستگی بین مولفه‌های متغیرها

Table 4. Correlation matrix between components of variables

	TS	FS	VS	Ferric chloride	Polyelectrolyte	Color	Turbidity
TS	1						
FS	0.99**	1					
VS	0.99**	0.99**	1				
Ferric chloride	-0.97**	-0.97**	-0.97**	1			
Polyelectrolyte	-0.99**	-0.99**	-0.99**	0.96**	1		
Color	0.99**	0.99**	0.99**	0.99**	-0.99**	1	
Turbidity	0.99**	0.99**	0.97**	-0.96**	-0.96**	0.97**	1

** Correlation is significant at 0.0
* Correlation is significant at 0.05

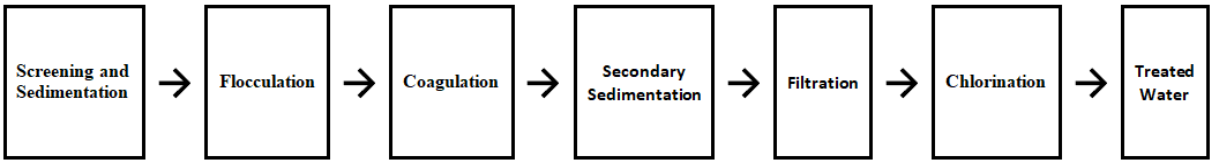

Fig. 1. The process diagram of the large Guilan water treatment plant

شکل ۱- نمودار فرایند تصفیه‌خانه بزرگ آب گیلان

کلروفریک و پلی‌الکترولیت مؤثر بوده، به‌طوری‌که با افزایش TS لجن برگشتی میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت آب کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که رابطه متغیرها کمتر از ۵ درصد است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رابطه موردنظر معنی‌دار است و رابطه‌ای بین متغیرهای این پژوهش وجود دارد، به‌طوری‌که متغیرها بر روی هم تأثیر می‌گذارند ($p <$ ۰/۰۵).

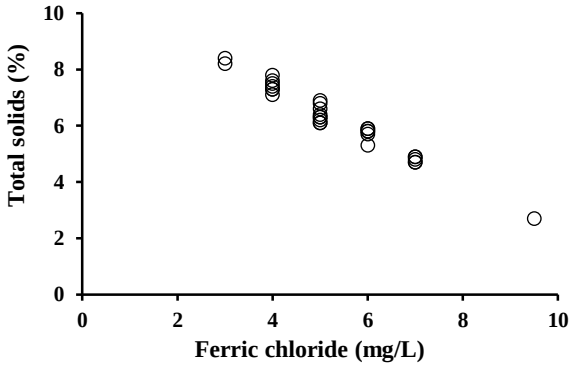

Fig. 2. The effect of TS on the amount of ferric chloride consumption

شکل ۲- نمودار تأثیر TS موجود در لجن بر میزان مصرف کلروفریک

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، مقدار TS در نمونه‌های اندازه‌گیری شده بین ۲/۷ تا ۸/۴ درصد بود. همچنین میزان کلروفریک اندازه‌گیری شده بین ۳ تا ۹/۵ mg/L و میزان پلی‌الکترولیت اندازه‌گیری شده بین ۰/۰۳ mg/L ۰/۱۵ بود. بر اساس جدول ۴ و شکل‌های ۲ و ۳، TS لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب بر میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت مؤثر بوده به‌طوری‌که با افزایش TS لجن برگشتی میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت آب کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که رابطه متغیرها کمتر از ۵ درصد است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رابطه موردنظر معنی‌دار است و رابطه‌ای بین متغیرهای این پژوهش وجود دارد، به‌طوری که متغیرها بر روی هم تاثیر می‌گذارند ($p <$ ۰/۰۵).

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، مقدار FS در نمونه‌های اندازه‌گیری شده بین ۴۲/۱ تا ۹۶/۲ درصد بود. همچنین میزان کلروفریک اندازه‌گیری شده بین ۳ تا ۹/۵ mg/L و میزان پلی‌الکترولیت اندازه‌گیری شده بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۵ mg/L بود. بر اساس جدول ۴ و ۵ و شکل‌های ۴ و ۵، FS لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب بر میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت مؤثر بوده به‌طوری‌که با افزایش FS لجن برگشتی میزان مصرف کلروفریک و

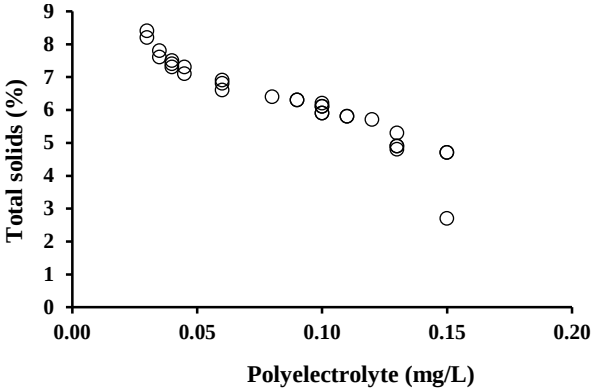

Fig. 3. The effect of TS on the amount of polyelectrolyte consumption

شکل ۳- نمودار تأثیر TS موجود در لجن بر میزان مصرف پلی‌الکترولیت

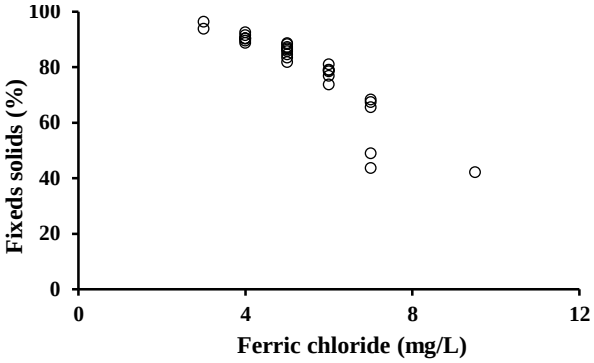

Fig. 4. The effect of FS on the amount of ferric chloride consumption

شکل ۴- نمودار تأثیر FS موجود در لجن بر میزان مصرف کلروفریک

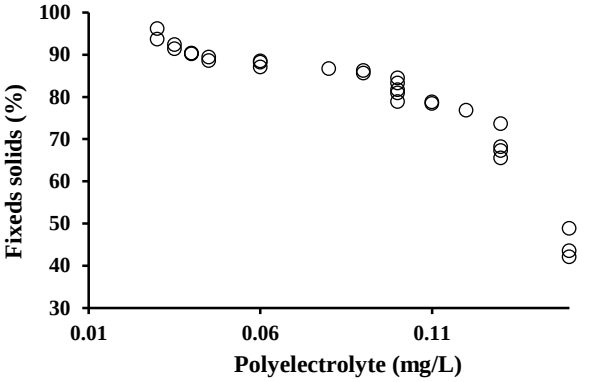

Fig. 5. The effect of FS on the amount of polyelectrolyte consumption

شکل ۵- نمودار تأثیر FS موجود در لجن بر میزان مصرف پلی‌الکترولیت

پلی‌الکترولیت آب کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که رابطه متغیرها کمتر از ۵ درصد است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رابطه موردنظر معنی‌دار است و رابطه‌ای بین متغیرهای این پژوهش وجود دارد به‌طوری که متغیرها بر روی هم تأثیر می‌گذارند ($p <$ ۰/۰۵). با توجه به نتایج آزمایش‌ها، مقدار VS در نمونه‌های اندازه‌گیری شده بین ۱۰ تا ۱۵/۴ درصد بود. همچنین میزان کلروفریک اندازه‌گیری شده بین ۳ تا ۹/۵ mg/L و میزان پلی‌الکترولیت اندازه‌گیری شده بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۵ mg/L بود. بر اساس جدول ۴ و شکل‌های ۶ و ۷، VS لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب بر میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت مؤثر بوده، به‌طوری که با افزایش VS لجن برگشتی میزان کلروفریک و پلی‌الکترولیت آب کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که رابطه متغیرها کمتر از ۵ درصد است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رابطه موردنظر معنی‌دار است و رابطه‌ای بین متغیرهای این پژوهش وجود دارد به‌طوری که متغیرها بر روی هم تأثیر می‌گذارند ($p <$ ۰/۰۵).

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، مقدار کدورت اندازه‌گیری شده در آب خام تصفیه‌خانه (آب صاف یا ورودی تصفیه‌خانه) بین ۵/۳ تا ۵۵ NTU بود. همچنین میزان رنگ اندازه‌گیری شده در آب خام تصفیه‌خانه بین ۴ تا ۱۹[1] TCU بود. بر اساس جدول ۴ و شکل ۸ و ۹، TS لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب بر میزان کدورت و رنگ تأثیرگذار بوده، به‌طوری که با افزایش TS لجن برگشتی میزان حذف

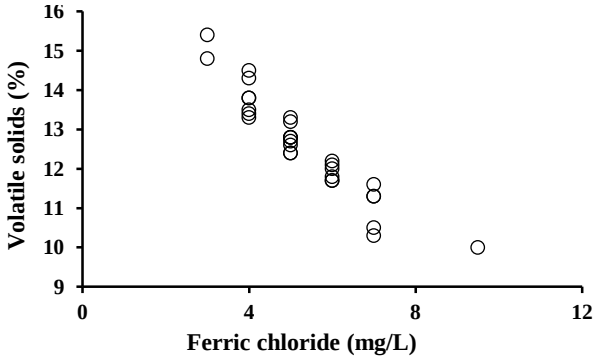

Fig. 6. The effect of VS on the amount of ferric chloride consumption

شکل ۶- نمودار تأثیر VS موجود در لجن بر میزان مصرف کلروفریک

[1] True Color Unit (TCU)

کدورت و رنگ افزایش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که رابطه متغیرها کمتر از ۵ درصد است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رابطه موردنظر معنی‌دار است و رابطه‌ای بین متغیرهای این پژوهش وجود دارد، به‌طوری که متغیرها بر روی هم تأثیر می‌گذارند ($p < ۰/۰۵$).

۴- نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین مشکلات و نگرانی‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب، موضوع تأمین هزینه‌های منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌ها است. در این پژوهش، تلاش بر این بود تا با شناسایی ساختار لجن تولید شده در استخرهای زلال‌ساز تصفیه‌خانه (لجن برگشتی در ساختمان انعقاد)، ارتباط و تأثیر احتمالی ساختار لجن را بر میزان مصرف منعقدکننده و کمک منعقدکننده تعیین کرد. از طرفی بررسی رابطه بین ساختار لجن و نقش آن در کاهش کدورت و رنگ از دیگر اهداف این پژوهش بود.

جامدات لجن برگشتی تصفیه‌خانه آب شامل جامدات کل، ثابت و فرار بر میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت مؤثر بوده، به‌طوری که با افزایش جامدات لجن برگشتی میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت آب کاهش و میزان حذف کدورت و رنگ افزایش می‌یابد. به این ترتیب موضوع استفاده بهینه از لجن برگشتی که خود حاوی مواد منعقدکننده، کمک منعقدکننده و سایر مواد است و به‌عنوان یک کانون و هسته مرکزی ایجاد لخته در فرایند انعقاد عمل می‌کند، تأثیر قابل‌توجهی در کاهش هزینه‌های جاری تأمین مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده‌های تازه دارند. ضمن آنکه میزان جامدات موجود در جریان لجن برگشتی تصفیه‌خانه می‌تواند میزان کدورت و رنگ را به کمک مصرف مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده کاهش دهد.

چنانچه انجام عملیات جارتست به‌منظور تعیین جریان لجن برگشتی به درستی و با کیفیت انجام شود، به کمک جریان لجن برگشتی و مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده، میزان کدورت و رنگ به شکل مطلوبی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه قیمت هر کیلوگرم کلروفریک و پلی‌الکترولیت در سال ۱۴۰۰ به‌طور میانگین به‌ترتیب ۲۰۰۰ و ۸۰۰۰۰ تومان اعلام شده، میزان مصرف کلروفریک و پلی‌الکترولیت در صورت استفاده از جریان لجن برگشتی به‌طور متوسط برای تصفیه‌خانه آب گیلان ماهانه

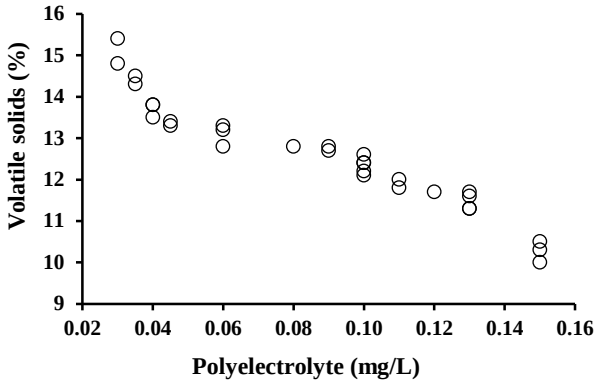

Fig. 7. The effect of VS on the amount of polyelectrolyte consumption

شکل ۷- نمودار تأثیر VS موجود در لجن بر میزان مصرف پلی‌الکترولیت

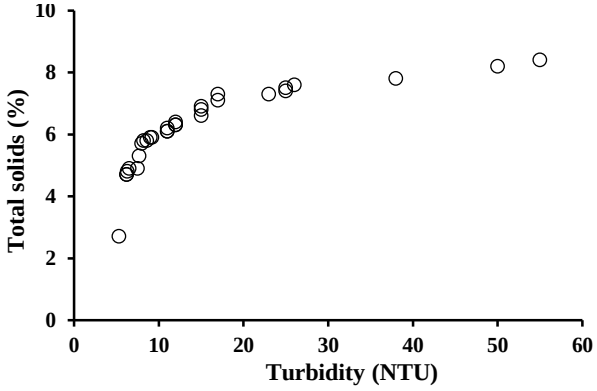

Fig. 8. The effect of TS on the turbidity of the raw water

شکل ۸- نمودار تأثیر TS موجود در لجن بر کدورت آب ورودی

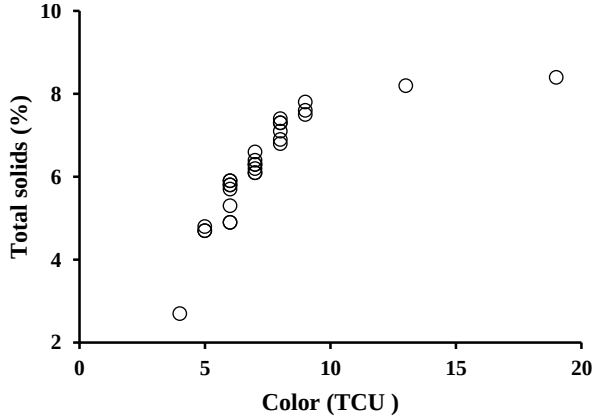

Fig. 9. The effect of TS on the color of the raw water

شکل ۹- نمودار تأثیر TS موجود در لجن بر رنگ آب ورودی

kg ۷۵۰۰۰ و ۸۰۰ است که در صورت عدم استفاده از جریان لجن برگشتی و با توجه به نتایج جارتست تا ۳۰ درصد امکان افزایش مصرف مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده وجود دارد. به‌عبارت دیگر در صورت استفاده از جریان لجن برگشتی به‌طور متوسط ۳۰ درصد در مصرف مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده صرفه‌جویی می‌شود.

۵- قدردانی

به این وسیله، از همکاری و مساعدت آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشگاه گیلان و تصفیه‌خانه آب گیلان که در اجرای این پژوهش نویسندگان را یاری کردند، کمال تشکر را داریم.

References

Ahmad, T., Ahmad, K. & Alam, M. 2016. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. *Procedia Environmental Sciences*, 35**,** 950-955. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088.

Aniakor, C. O. 2021. Suitability of water treatment chemicals in the remediation of produced water: a data-driven approach. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 11**,** 4399-4413. https://doi.org/10.1007/s13202-021-01299-8.

Evuti, A. M. & Lawal, M. 2011. Recovery of coagulants from water works sludge: a review. *Advances in Applied Science Research*, 2**,** 410-417. [Link]

Fazeli, M. & Soltani-Sarustani, M. 2007. Feasibility of reusing the residues obtained from water treatment plant sludge dewatering in the irrigation of green space and agriculture (case study of treatment plants 3 and 4 in Tehran). *2nd Water Resources Management*. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian) [Link]

Hakimi, B., Ganjidoost, H. & Mokhtarani, N. 2014. Investigating the possibility of using water treatment plant sludge in Brick Making. *Journal of Water and Wastewater*, 25(4)**,** 59-65. (In Persian) [Link]

Keeley, J., Jarvis, P., Smith, A. D. & Judd, S. J. 2016. Coagulant recovery and reuse for drinking water treatment. *Water Research*, 88**,** 502-509. [Link]

Kyncl, M. 2008. Opportunities for water treatment sludge re-use. *GeoScience Engineering*, 54**,** 11-22. [Link]

Łukasiewicz, E. 2016. Post-coagulation sludge management for water and wastewater treatment with focus on limiting its impact on the environment. *Economic and Environmental Studies*, 16**,** 831-841. [Link]

Mahdavian, S. & Ostovar, F. 2018. Coagulant recovery from waterworks sludge by acid digestion method. *Journal of Environmental Research and Technology*, 4**,** 31-39. (In Persian) [Link]

Mahdavian, S., Ostovar, F. & Mirbolooki, H. 2018. Coagulants recovery from water treatment plant's sludge: a review. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11**,** 403-418. (In Persian) [Link]

Mesdaghinia, A., Tayefeh-Rafiee, M., Mahvi, A. H. & Vaezi, F. 2006. Using coagulation process in optimizing natural organic matter removal from low turbidity waters. *Journal of Water and Wastewater*, 17(1)**,** 2-7. (In Persian) [Link]

Mirzaei, A., Takdastan, A. & Alavi Bakhtiarvand, N. 2011. Survey of PAC performance for removal of turbidity, COD, coliform bacteria, heterotrophic bacteria from water of Karoon River. *Iranian Journal of Health and Environment*, 4**,** 267-276. (In Persian). https://doi.org/10.30476/jhsss.2021.90369.1188.

Nowak, O., Kuehn, V. & Zessner, M. 2004. Sludge management of small water and wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 48**,** 33-41. https://doi.org/10.2166/wst.2004.0797.

Pirsaheb, M., Zinatizadeh, A. A. & Dargahi, A. 2012. Performance evaluation of coagulation process in removal of low turbidity and color from water using different inorganic coagulants. *Journal of Water and Wastewater*, 23(1)**,** 111-118. (In Persian) [Link]

Pourmand, H., Leili, M., Shokouhi, R. & Asgari, G. 2016. The assessment of water treatment plant sludge properties and the feasibility of its re-use according to environmental standards: Shahid Beheshti water treatment plant case study, Hamadan. *Avicenna Journal of Clinical Medicine*, 23**,** 57-64. (In Persian). [Link]

Qrenawi, L. I. & Rabah, F. K. 2021. Sludge management in water treatment plants: literature review. *International Journal of Environment and Waste Management*, 27**,** 93-125. https://doi.org/10.1504/IJEWM.2021.111909.

Rice, E. W., Bridgewater, L. & Association, A. P. H. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association Washington, DC, USA. [Link]

Rostami Vartooni, A., Moradzadeh Aghbalagh, A. R. & Shaker, A. 2022. Preparation of polyaluminium chloride and polyaluminum ferric chloride chemical coagulants for water treatment and comparison of their efficiency with commercial sample. *Journal of Applied Research in Chemisry*, 15**,** 62-72. (In Persian). https://doi.org/10.30495/JACR.2022.688223.

Zafra-Mejía, C. A., Alarcón-Hincapié, J. C. & Gutiérrez-Malaxechebarría, Á. M. 2020. Cost/Benefit analysis for the use of different coagulants in a drinking water treatment plant. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29**,** 8547-8555. **[Link]**

© The Author(s)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License