

Factors affecting the optimal performance of coagulants in turbidity removal from Darkhovin water Treatment Plant

D. Horri¹, J. Ahadiyan^{2*}, M. Shafai Bejestan², S.M. Sajjadi³

¹Ph.D. Student of Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

²Professor of Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

³Associate Professor of Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Corresponding Author's E-mail: j.ahadiyan@scu.ac.ir

Received: 31 May 2026 Accepted: 24 July 2026
Revised: 21 July 2026 Published: 22 Sep. 2024



Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: The present study aimed to investigate the factors affecting the optimal performance of Ferric chloride, Polyaluminum chloride and Praestol coagulants in removing turbidity from Darkhovin water treatment plant using Jar tests at two turbidities of 50 and 175 NTU and temperatures of 10, 20 and 30 degrees. Based on the results, the performance of Polyaluminum chloride was sensitive to temperature, increasing the temperature improved its efficiency, while it did not have a significant effect on the performance of Ferric chloride and Praestol. Also, with increasing concentration, the turbidity removal efficiency increased, and 10 ppm was selected as the optimal dose. According to the results, with increasing turbidity, the efficiency of materials in removing turbidity increased and at a turbidity of 50 NTU, Ferric chloride and Praestol had better performance, but with increasing turbidity, all materials had almost the same performance. Based on economic comparison, use of Ferric chloride is recommended.

Keywords: Turbidity Removal, Concentration, Ferric Chloride, Polyaluminum Chloride and Praestol.

Introduction: Coagulation and flocculation are usually carried out with the help of chemicals which are called coagulants. Currently, in Iran, jar tests are used to investigate the coagulation process in different raw water conditions. Mohammadi et al. (2024) evaluated the efficiency of turbidity removal from Karun River water using polyaluminum chloride and chitosan on a laboratory scale at the Ahvaz water treatment plant. Aghyani et al. (2023) conducted a series of jar test experiments to determine the optimal coagulant dosage for turbidity removal from Babol Rud River water samples. Yazdi et al. (2017) investigated the efficiency of aluminum sulfate, ferric chloride, polyaluminum, and polyferric sulfate coagulants in removing turbidity from Tehran water, and the coagulation-flocculation-sedimentation process was investigated using a jar test. Accordingly, in this study, the factors affecting the optimal performance of ferric chloride, polyaluminum chloride and Praestol coagulants in removing turbidity from the water entering the Darkhovin treatment plant were investigated. The water supply sources include the Ghadir water transfer system (water from the Dez diversion dam) and the Karun river, which in recent years has also been observed to have a turbidity level of 12,100 NTU at the entrance to the Darkhovin facility during the rainy season.

Methodology: This study was conducted on a laboratory scale using a Jar test device at the Darkhovin treatment plant. The experiments were conducted at two turbidities of 50 and 175 NTU and temperatures of 10, 20 and 30 degrees. The specifications of used chemicals and equipment are presented in [Tables 1](#) and [2](#). The parameters studied included the concentration of the coagulant, turbidity and temperature. In order to simulate the desired hot and cold temperatures, a metal box was constructed. Then, the box was equipped with a temperature control panel, compressor, refrigerator radiator, electric heating element, and fan, and the jar test device was moved into the box ([Fig. 1](#)). After providing the desired temperature conditions for the water sample, measuring the pH of the water sample and injecting 5, 10, 15 and 20 ppm into the water samples in the jar test containers, rapid mixing was

performed at a speed of 220 rpm for one minute and slow mixing at a speed of 30 rpm for 20 minutes. Then, the sample was kept for 20 minutes to allow sedimentation and a sample was taken, and the turbidity was measured. Results are illustrated in [Figs. 2-4](#).

Results and Discussion: Analysis of [Figs. 2](#) and [3](#) indicated that in two different turbidities, the performance of polyaluminum chloride is sensitive to temperature and increasing the temperature has improved its efficiency, such that the turbidity removal values at a temperature of 30 degrees, especially for an initial turbidity of 50 NTU and at different doses, were between 91.66 and 99 percent, and for 175 NTU, were between 98 and 99.5 percent. While temperature did not have a significant effect on the performance of the ferric chloride coagulant and the Praestol coagulant-aid, and the turbidity removal efficiency was almost the same at all three temperatures. Also, based on results, by increasing the concentration of coagulants from 5 to 10 ppm, the turbidity removal efficiency increased significantly, so the 10 ppm dose is selected as the optimal dose. According to the analysis of a variance test with ($P>0.05$) at all three temperatures for both turbidities, there is no significant difference between the dose of coagulants and the percentage of turbidity removal. In other words, the coagulant dose factor has no effect on turbidity removal efficiency. But at turbidity of 175 NTU at temperatures of 10 and 20 degrees, there is a significant difference between the dose of polyaluminium chloride and the percentage of turbidity removal, in other words, the dose factor of polyaluminium chloride has an effect on the efficiency of turbidity removal. [Fig. 4](#) illustrates that by increasing water turbidity, the efficiency of all three coagulants in turbidity removal has increased. Comparison of turbidity removal efficiency under optimal conditions of coagulant performance at turbidity of 50 NTU indicates that the performance of mineral coagulants is better than polymer coagulants, so the efficiency of ferric chloride and praestol was more effective in reducing the turbidity of Karun water compared to polyaluminum chloride but with increasing turbidity (175 NTU) and at temperature of 10, 20 and 30 degrees, all three materials had almost the same performance in reducing the turbidity of the water entering the treatment plant, therefore in this condition, based on economic comparison presented in [Table 3](#), use of ferric chloride is recommended.

Conclusion: Based on the results, at two different turbidities, the performance of polyaluminum chloride improved with increasing temperature, but it did not have a significant effect on the performance of ferric chloride and praestol coagulant-aid. 10 ppm was selected as the optimal dose, and with increasing water turbidity, the efficiency of all three substances in removing turbidity increased. In this study, given that in most seasons of the year, the turbidity of water at the Darkhovin treatment plant does not exceed 200 NTU, therefore, the tests were conducted up to this turbidity, but it is suggested that the impact of these factors investigated on higher turbidities at other treatment plants as well. Also, given that pH is one of the most important factors affecting the coagulation process, it is recommended that for waters whose pH is variable, the effect of changes in this parameter on the performance of coagulants be evaluated.

© 2024 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

عوامل موثر بر عملکرد بهینه مواد منعقدکننده در حذف کدورت آب تصفیه‌خانه دارخوین

داود حری^۱، جواد احدیان^{۲*}، محمود شفاعی بجستان^۲، سید محسن سجادی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۲ استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۳ دانشیار، گروه سازه‌های آبی، دانشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

پست الکترونیکی نگارنده مسئول: j.ahadiyan@scu.ac.ir

وبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir



تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

چکیده: پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل موثر بر عملکرد بهینه منعقدکننده‌های کلروفریک^۱ و پلی‌آلومینیوم کلراید^۲ و کمک منعقدکننده پریتول^۳ در حذف کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین، در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در دو کدورت ۱۷۵ NTU و ۵۰ و در سه دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه انجام شده است. پارامترهای موردبررسی شامل غلظت ماده منعقدکننده، کدورت و دما است. براساس نتایج، برای هر دو کدورت، عملکرد پلی‌آلومینیوم کلراید به دما حساسیت داشته و افزایش دما کارایی آن را بهبود داده درحالی‌که تاثیر قابل توجهی در عملکرد کلروفریک و کمک منعقدکننده پریتول نداشته و میزان راندمان حذف کدورت در هر سه دما، تقریباً یکسان بوده است. همچنین با افزایش غلظت مواد، راندمان حذف کدورت افزایش یافته و دوز ۱۰ ppm به‌عنوان دوز بهینه انتخاب شد. با توجه به آزمون آنالیز واریانس با ($P > 0.05$) در هر سه دما برای کدورت ۵۰ NTU، تفاوت معناداری بین دوز مواد منعقدکننده و درصد حذف کدورت وجود ندارد اما با افزایش کدورت به ۱۷۵ NTU، عامل دوز پلی‌آلومینیوم کلراید روی راندمان حذف کدورت معنادار است. مطابق نتایج، با افزایش کدورت آب، کارایی هر سه ماده در حذف کدورت افزایش یافته است. مقایسه راندمان حذف کدورت در شرایط بهینه عملکرد مواد منعقدکننده در کدورت ۵۰ NTU دلالت بر عملکرد بهتر کلروفریک و پریتول بر کاهش کدورت آب کارون داشته ولی با افزایش کدورت، هر سه ماده عملکرد تقریباً مشابهی داشته‌اند که براساس مقایسه اقتصادی و برآورد هزینه‌ها، استفاده از کلروفریک توصیه شده است.

کلیدواژه‌ها: حذف کدورت، غلظت، پلی‌آلومینیوم کلراید، کلروفریک و پریتول.

۱- مقدمه

محیط‌زیست، بر کسی پوشیده نیست. تصفیه آب به مجموعه‌ای از اقدامات و عملیات موردنیاز جهت تامین

اهمیت آب و نقش حیات آن در زندگی انسان در کنار حفظ

¹ Ferric chloride

² Polyaluminum chloride

³ praestol

کیفیت موردنظر آب‌های شرب گفته می‌شود. منابع آب مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب شامل آب‌های زیرزمینی و سطحی، رودخانه‌ها، آب پشت سدها و دریاچه‌ها، چشمه‌ها و در موارد خاص منابع آب‌شور می‌باشند. منابع آب سطحی معمولاً دارای ناخالصی بوده و مواد آلی و معدنی محلول و معلق در آن‌ها وجود دارند که باعث ایجاد کدورت می‌شوند. فرآیند انعقاد، فرآیند اصلی مجتمع کردن ذرات ریز و تبدیل آن‌ها به ذرات درشت‌تر است. معمولاً به کمک مواد شیمیایی چون کلروفریک و پلی‌آلومینیوم کلراید که مواد منعقدکننده نامیده می‌شوند، فرآیند انعقاد انجام می‌شود. انعقاد و لخته‌سازی یکی از روش‌های پیش تصفیه است که با استفاده از آن ذرات ریز غیرقابل ته‌نشینی به هم چسبیده و با تشکیل لخته‌های بزرگ‌تر قابلیت ته‌نشینی و جمع‌آوری می‌یابند (Bouchareb et al., 2021). با گسترش علم و ضرورت تصفیه آب، ضرورت پیش‌بینی میزان کدورت آب پس از فرآیند انعقاد، برای مدیریت مطلوب تاسیسات بعدی نیز احساس گردیده است. در حال حاضر در کشور ایران برای بررسی فرآیند انعقاد در شرایط مختلف آب خام، از آزمایش جار استفاده می‌گردد. با توجه به پرهزینه بودن و زمان‌بر بودن و دخالت انسانی در این روش، استفاده از روش‌های علمی و کاربردی که برطرف‌کننده مشکلات مذکور باشد، امری ضروری است (Vakili et al., 2024).

در طی سالیان اخیر، مطالعات زیادی در زمینه اهمیت مدیریت کیفی منابع تامین آب، آب ورودی به تصفیه‌خانه و مواد منعقدکننده انجام شده که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

رابطه مناسب برای تعیین میزان تزریق ماده منعقدکننده کلروفریک در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از رگرسیون فازی در تصفیه‌خانه آب شرب شماره سه مشهد ارائه شد. در این تحقیق، دما، pH، کدورت، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول آب خام و تصفیه‌شده به عنوان داده اولیه برای تعیین معادله مناسب، جهت پیش‌بینی میزان تزریق منعقدکننده در فرآیند تصفیه استفاده شده است.

ضرایب مناسب برای مدل‌های مختلف خطی، توانی، نمایی و درجه دو در دو نوع کمترین مربعات و رگرسیون تعیین گردید. مطابق نتایج، مدل نمایی-رگرسیون با میانگین مربع خطا برابر ۰/۶۸ به عنوان مدل مطلوب معرفی شده است (Vakili et al., 2024). مقایسه کارایی منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم، کلروفریک، پلی‌آلومینیوم و پلی‌فریک سولفات در حذف کدورت از آب شهر تهران را بررسی و فرآیند انعقاد - لخته‌سازی و ته‌نشینی، به وسیله آزمایش نشان داد که، پلی‌فریک سولفات در مقایسه با دیگر منعقدکننده‌های مورد آزمایش، دارای عملکرد بهتری از نظر راندمان حذف کدورت، درصد حذف کربن آلی بوده و در محدوده وسیع‌تری از pH عملکرد مناسب دارد (Yazdi et al., 2017).

توانایی دو ماده گیاهی، دانه‌های لوپین^۱ و کاه برنج به عنوان منابعی از اجزای فعال در انعقاد برای تصفیه آب، با استفاده از آب کدر مصنوعی بررسی شد. گروه‌های عاملی، ساختار سطحی و ترکیب عنصری دانه‌های لوپین و کاه برنج به ترتیب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز پرتو ایکس تعیین گردید. نقطه بار صفر، پتانسیل زتا و توزیع اندازه ذرات عصاره‌های آبی اندازه‌گیری شد. دوز بهینه ۵۰ میلی گرم بر لیتر از عصاره دانه لوپین در کدورت اولیه NTU ۵۰۰، pH ۵ و دمای ۲۵ درجه، حذف کدورت ۸۶/۴٪ را به دست آورد. عصاره کاه برنج تحت همان شرایط، ۶۳/۳٪ حذف کدورت را نشان داد. کارایی انعقاد هر دو عصاره با افزایش کدورت اولیه و در دماهای بین ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد بهبود یافت و عملکرد آن‌ها تحت تاثیر تغییرات pH قرار نگرفت. ترکیب منعقدکننده‌های طبیعی با آلوم^۲، مصرف آن را به میزان ۲۵٪ تا ۵۰٪ کاهش و تا ۹۸/۷٪ حذف کدورت را محقق ساخت. استفاده از منعقدکننده‌های طبیعی هزینه‌های تصفیه و اثرات زیست‌محیطی مرتبط با منعقدکننده‌های شیمیایی را کم می‌کند (Nevine et al., 2025).

ارزیابی کارایی حذف کدورت از آب رودخانه کارون با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید و کیتوسان^۳ (پلی‌الکترولیت

³ Chitosan

¹ Lupine

² Alum

تأثیرات، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پارامترهای کیفی آب ورودی به تصفیه‌خانه در ایجاد رنگ و کف در واحدهای فرآیندی تصفیه آب موثرند (Masoomi et al., 2019).

در یک پژوهش امکان استفاده از روش‌های شیمی‌سنجی مانند آنالیز اجزای اصلی برای تجزیه و تحلیل هم‌زمان چند پارامتر کیفیت آب با هدف اتخاذ استراتژی‌های نظارت جامع‌تر و کنترل کیفیت آب، کاهش زمان و تلاش‌های صرف شده در فرآیند پایش بررسی شد. نتایج نشان داد که در آینده نزدیک، تشخیص و تجزیه و تحلیل رویدادها/الگوها را می‌توان با جمع‌آوری داده‌ها از چندین حسگر متصل برای ارزیابی کیفیت آب که منابع اینترنتی را در مدیریت کیفیت آب رودخانه در ورودی آب تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی به همراه روش‌های پیشنهادی در این کار برای ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌های چندمتغیره در بر می‌گیرد، تسهیل کرد. استفاده از این روش بر روی داده‌های حسگرها در ورودی آب در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی، امکانات جدیدی را برای تضمین کیفیت بهبودیافته و رویه‌های کنترل برای مدیریت آن‌ها ارائه می‌دهد (Platikanov et al., 2019).

آزمایش‌های جارتست برای تعیین دوز بهینه منعقدکننده جهت حذف کدورت از نمونه‌های آب رودخانه بابل‌رود نشان داد که فرآیند انعقاد می‌تواند حذف کدورت را در آب‌هایی با کدورت کم تا زیاد (یعنی NTU ۱۸، ۳۹/۲ و ۷۲/۵) با استفاده از مقادیر نسبتاً کم پلی‌آلومینیوم فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید در بازه ۲/۵ تا ۱۶ به‌طور موثر تضمین کند. براساس نتایج، حذف کدورت برای هر دو منعقدکننده مورد استفاده، به دوز منعقدکننده و نیز کدورت اولیه آب وابسته است. بیشترین راندمان حذف کدورت در بازه ۹۳/۸٪ تا ۹۶/۶٪ برای هر دو منعقدکننده در دامنه کدورت اعمال شده به‌دست آمد و عملکرد امیدوارکننده‌ای در حذف کدورت از آب نشان دادند؛ با این حال، پلی‌آلومینیوم کلراید عملکرد بهتری نسبت به پلی‌آلومینیوم فریک داشته است، زیرا دوز بهینه آن برای بیشترین حذف کدورت ۶/۵ ppm بود که از ۱۲/۵ ppm مورد نیاز برای پلی‌آلومینیوم فریک، کمتر است (Aghyani

کاتیونی خطی با بار مثبت الکترونی بالا) پرداخته شد. در این پژوهش مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از جارتست در تصفیه‌خانه آب اهواز انجام شد. در این مطالعه، پارامترهای pH، غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید و غلظت کیتوسان به‌عنوان متغیرها در نظر گرفته شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و درست پیش از آغاز آزمون‌های جارتست، در مرحله اختلاط سریع با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه، pH بهینه برای حذف کدورت برابر با ۸ به‌دست آمد. دوز بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید و کیتوسان نیز به‌ترتیب ۴ ppm و ۰/۰۴ انتخاب شد. علاوه بر این، مکانیزم اصلی ناپایداری لخته‌ها و حذف کدورت، ایجاد پل بین ذرات بود. در این شرایط، حذف کدورت بیشترین بازدهی را نشان داد و کیتوسان باعث تشکیل لخته‌هایی با وزن بیشتر و در نتیجه قابلیت ته‌نشینی بهتر شد. براساس نتایج، کیتوسان گزینه‌ای مناسب برای حذف کدورت از آب محسوب می‌شود (Mohammadi et al., 2024).

تأثیر منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید به‌تنهایی و نیز به‌صورت ترکیبی با کیتوسان با استفاده از جارتست بر روی آب کدر بررسی شده است. نتایج نشان داد که حذف کدورت در کدورت‌های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب برابر با ۸۶/۷٪، ۹۵/۸٪، ۹۷/۸٪، ۸۶/۶۷٪، ۹۵/۷۳٪ و ۹۸/۲۶٪ به‌دست آمد و با حذف واحد اختلاط سریع، راندمان حذف کدورت در کدورت پایین به میزان ۵/۲۶٪ تا ۲۱/۷۳٪ کاهش یافت. اما در کدورت‌های بالاتر، در هر دو حالت (وجود و عدم وجود اختلاط سریع)، تفاوت معناداری مشاهده نشد (Hessam & Mehdinejad, 2021).

چگونگی تأثیرگذاری کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه در تغییر رنگ آب و همچنین ایجاد کف در واحدهای مختلف فرآیندی تصفیه آب به‌صورت مطالعه موردی و در مقیاس واقعی بر روی آب خام ورودی به تصفیه‌خانه آب کوه سبز بررسی گردید. پژوهش در طول ۶ ماه در فاصله زمانی بهمن‌ماه سال ۹۵ تا تیرماه سال ۹۶ انجام گرفته است. در مرحله اول کیفیت آب خام براساس روش‌های استاندارد ارزیابی گردید. در مرحله بعد تأثیر هر یک از پارامترهای کیفی آب از قبیل دما، کدورت، رنگ، pH و ... در ایجاد رنگ و کف در واحدهای فرآیندی تصفیه آب و مکانیسم

(et al., 2023).

(شامل ۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا) و هدف نهایی تامین حداکثر ۲۴ مترمکعب در ثانیه و سالانه ۷۵۷ میلیون مترمکعب آغاز شد. شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان پس از تکمیل فاز اول و دوم طرح، عهده‌دار بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات خطوط و تاسیسات طرح شد و در حال حاضر به‌طور متوسط ۱۲ مترمکعب در ثانیه و سالانه ۳۷۸ میلیون مترمکعب آب شرب ۱۶ شهر و ۴۹۵ روستا تامین می‌شود (Poustizadeh et al., 2024).

تصفیه‌خانه دارخوین به‌عنوان بخشی از طرح جامع آبرسانی غدیر، آب شرب شهرهای شادگان، خنافره و دارخوین و ۱۶۰ روستای تابعه آن با جمعیتی بالغ بر ۲۲۱ هزار نفر را تامین می‌کند. منابع تامین آب این تصفیه‌خانه، سامانه انتقال آب غدیر (آب کانال W2 سد انحرافی دز) و رودخانه کارون است که آب غدیر پس از ورود به درون تاسیسات دارخوین، قبل از ورود به حوضچه اختلاط و مخلوط شدن با آب رودخانه، به‌دلیل اینکه کدورت مطلوب‌تری در مقایسه با آب کارون دارد، توسط یک خط لوله فولادی با سایز ۹۰۰ میلی‌متر و به طول ۱۵۰ متر به‌صورت مستقیم به حوضچه ورودی تصفیه‌خانه هدایت می‌شود.

آب رودخانه کارون نیز توسط ۲ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران) و ۳ دستگاه الکتروپمپ فشار ضعیف (لولیف^۱) به حوضچه اختلاط ارسال و پس از تزریق مواد منعقدکننده جهت ته‌نشینی به کلاریفایرها^۲ منتقل و به سمت تصفیه‌خانه هدایت می‌شود. سپس از طریق دو کانال بتنی به ۱۲ عدد پالایه شنی با ظرفیت تصفیه هر پالایه برابر ۱۱۲۵۰ مترمکعب در شبانه‌روز ارسال می‌شود. جریان به‌صورت ثقلی از ماسه‌های موجود در پالایه‌ها باضخامت ۱ متر درنهایت وارد یک کانال بتنی تعبیه‌شده در زیر تصفیه‌خانه و از آنجا به مخزن آب پاک با حداکثر ظرفیت ۵۰۰۰ مترمکعب، منتقل می‌شود و از آنجا توسط ۷ دستگاه پمپ مستغرق نوید سهند با حداکثر ظرفیت ۱۱۰۰ مترمکعب در ساعت توسط یک لوله با سایز ۱۲۰۰ میلی‌متر هدایت می‌شود. در کل، مجموع دبی ارسالی از تاسیسات

در این پژوهش مطالعات و تحقیقات انجام‌شده پیرامون مدیریت کیفی آب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها و بررسی راهکارهای ارائه‌شده پرداخته شد که نتایج آن‌ها بر اهمیت کنترل کیفیت آب و اجرای راهکارهای مدیریتی در راستای ساماندهی مناسب برای بهره‌برداری بیشتر از آن‌ها تاکید می‌کند.

نظر به اینکه آب رودخانه کارون دارای آلاینده‌های مختلفی ازجمله کدورت است و میزان آن‌ها در فصول مختلف تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای داشته لذا فرآیند انعقاد با انتخاب یک ماده منعقدکننده مناسب با غلظت تزریقی بهینه به آب قادر خواهد بود مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از آن را حذف نماید.

از طرفی دستیابی به حداکثر راندمان حذف کدورت معمولاً بر مبنای تجربه بهره‌برداران و به‌صورت دقیق‌تر براساس نتایج حاصل از آزمایش‌های دوره‌ای جارتست در جهت تعیین بهترین ماده منعقدکننده همراه با بهترین شرایط کاربرد صورت می‌پذیرد. به راین اساس، در این پژوهش عوامل موثر بر عملکرد بهینه منعقدکننده‌های کلروفوریک و پلی‌آلومینیوم کلراید و کمک منعقدکننده پریستول در حذف کدورت از آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین، تامین‌کننده آب شرب شهرهای دارخوین، شادگان و روستاهای حومه آن، بررسی شد. منابع تامین آب این تصفیه‌خانه، سامانه انتقال غدیر (آب کانال W2 سد انحرافی دز) و رودخانه کارون است که در مهر و موم‌های اخیر در فصل بارندگی میزان کدورت آب رودخانه در محل ورودی به تاسیسات دارخوین ۱۲۱۰۰ NTU نیز مشاهده‌شده و این مسأله، بهره‌برداری و نگهداری را با مشکلات فراوانی مواجه کرده است.

۲- روش‌شناسی

۲-۱- تصفیه‌خانه مورد مطالعه

طرح آبرسانی غدیر از سال ۱۳۸۷ با هدف آبرسانی جهت رفع نیاز شهرهای مرکزی، جنوب و غرب استان خوزستان

¹ Lowlift² Clarifiers



Fig. 1 Used equipped box

شکل ۱ جعبه تجهیز شده مورد استفاده

رادیاتور یخچال، المنت بخاری برقی و فن تجهیز گردید و دستگاه جارتست به درون محفظه جهت انجام آزمایش‌های منتقل شده است. در [شکل ۱](#)، تصویر جعبه مورد استفاده در آزمایش‌ها به همراه تجهیزات نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج به دست آمده در رابطه با مقایسه کارایی منعقدکننده‌های کلروفیک و پلی‌آلومینیوم کلراید و کمک

دارخوین (معادل ۱۳۵۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز)، آب مورد نیاز شادگان، خنافره و دارخوین و روستاهای منطقه را تامین می‌کند.

۲-۲- مواد شیمیایی و تجهیزات

این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در تصفیه‌خانه آب دارخوین انجام شده است. [جدولهای ۱ و ۲](#)، به ترتیب مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

۲-۳- روش کار

نمونه‌های آب خام تهیه شده از کارون پس از انتقال به آزمایشگاه از نظر میزان کدورت، pH و دما، مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور مقایسه کارایی منعقدکننده‌های کلروفیک و پلی‌آلومینیوم کلراید و کمک منعقدکننده پریستول در حذف کدورت و در دماهای مختلف آب، آزمایش‌های بر مبنای متغیرهایی چون غلظت ماده منعقدکننده (۲۰ ppm و ۱۵، ۱۰، ۵)، دما (درجه ۳۰ و ۲۰، ۱۰) و کدورت (۱۷۵ و ۵۰ NTU) صورت پذیرفت. به منظور شبیه‌سازی دماهای گرم و سرد مورد نظر، یک جعبه درب‌دار از جنس فلزی و متناسب با ابعاد دستگاه جارتست موجود، ساخته شد و سپس آن جعبه به تابلو کنترل دما، کمپرسور،

جدول ۱ مواد شیمیایی مورد استفاده

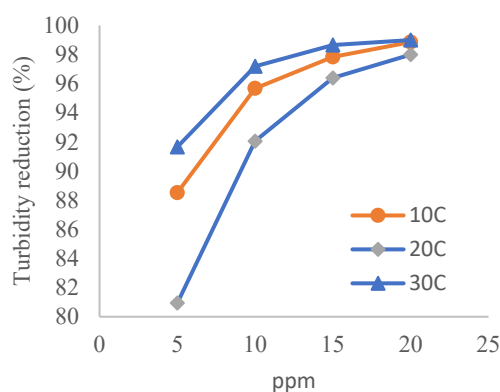
Table 1 Used chemicals

Number	Chemical
1	Liquid Polyaluminum chloride with a purity of 1% and density
2	Ferric chloride with purity of 37.9% and density of 1420 Kg/m ³
3	Anionic Praestol (Polyacrylamide)

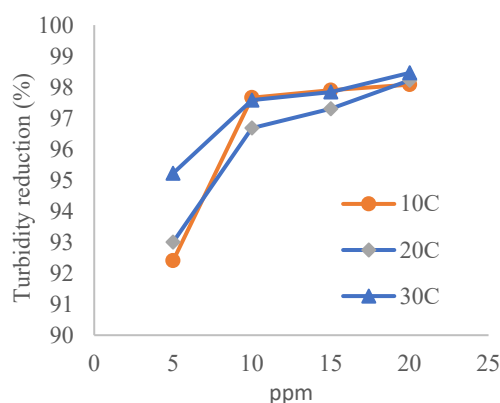
جدول ۲ ابزارهای آزمایشگاهی مورد استفاده

Table 2 Used laboratory equipment

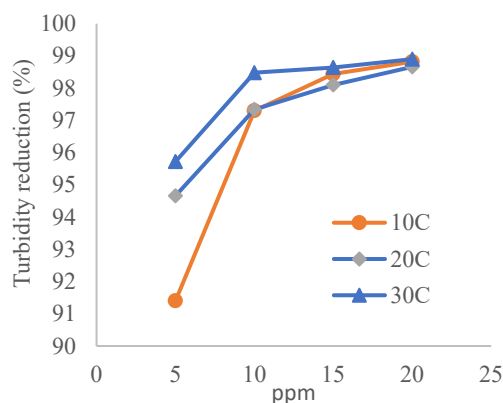
Number	Instrument	Model
1	Balance	HR200
2	Turbidity meter	HANA: HI88713-02
3	Jartest	Beta
4	pH meter	HANA: HI8424
5	Heater Stirre	Shimaz



(الف، الف)



(ب، ب)



(پ، پ)

Fig. 2 Changes in percentage of turbidity removal efficiency relative to dose changes (turbidity: 50 NTU)

شکل ۲ تغییرات درصد راندمان حذف کدورت نسبت به تغییرات دوز (کدورت اولیه: ۵۰ NTU)

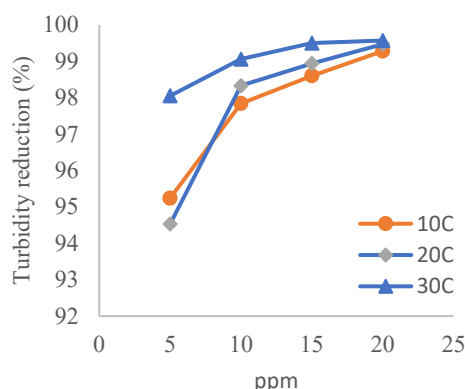
براساس نتایج شکل ۳-الف، مشاهده می‌شود در کدورت اولیه ۱۷۵ NTU، برای ماده پلی‌آلومینیوم کلراید، افزایش

منعقدکننده پرستول در حذف کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین برای دو کدورت و سه دمای مختلف، به‌منظور تعیین غلظت بهینه مواد، مقایسه راندمان حذف کدورت در شرایط عملکرد بهینه بین مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده مذکور ارائه شده است.

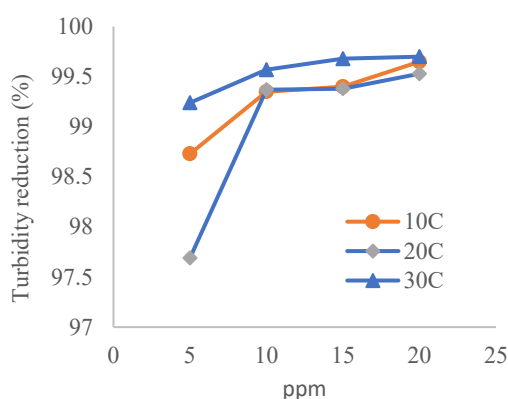
۱-۳- مقایسه عملکرد مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده در دماهای مختلف

در شکل ۲، اثر دما بر روی راندمان حذف کدورت نمایش داده شده است. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه‌برداری در ۵۰ NTU محاسبه شده است. شکل ۲-الف، بیانگر این است که در کدورت اولیه ۵۰ NTU، برای پلی‌آلومینیوم کلراید، با افزایش دما، راندمان حذف کدورت در دمای ۳۰ درجه برای دوزهای مختلف آن، بین ۹۱/۶۶٪ تا ۹۹٪، بوده است در حالی که برای دمای ۱۰ درجه بین ۸۴/۹٪ تا ۹۸٪ و برای دمای ۲۰ درجه بین ۸۸/۵٪ تا ۹۸/۸۶٪ بوده است. همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود، حذف کدورت با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید نسبت به تغییرات دما حساس است. به عبارت دیگر در دمای ۳۰ درجه، رسوب تشکیل شده در طی فرآیند و یا همان محصولات هیدرولیز پلی‌آلومینیوم کلراید، دارای کمترین حلالیت هستند. اما براساس نتایج شکل‌های ۲-ب و ۲-پ، دما تاثیر قابل توجهی در عملکرد مواد منعقدکننده کلروفریک و کمک منعقدکننده پرستول نداشته است به طوری که برای هر دو ماده مورد بررسی، میزان راندمان حذف کدورت برای دوزهای مختلف و در هر سه دما، در بازه ۹۲٪ تا ۹۸٪ بوده است و این دو ماده نسبت به دما حساسیت ندارند.

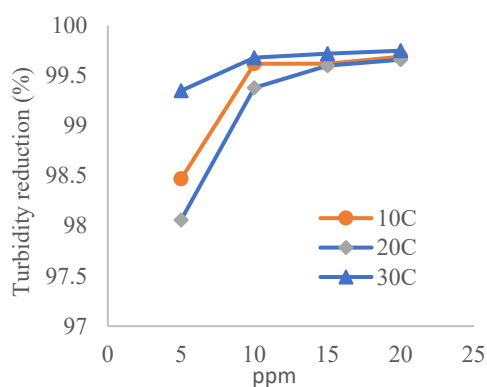
جهت مقایسه تاثیر مواد منعقدکننده بر حذف کدورت‌های مختلف آب کارون، آزمایش‌های جارتست بر روی نمونه‌ای دیگر با کدورت بالاتر نیز مشابه آزمایش‌های قبل تکرار گردید. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه‌برداری در ۱۷۵ NTU محاسبه شده است. میزان راندمان حذف کدورت تحت تاثیر مواد منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیوم کلراید، کلروفریک و کمک منعقدکننده پرستول به همراه کلروفریک و در دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه در شکل ۳، نشان داده شده است.



(الف، ا)



(ب، ب)



(پ، پ)

Fig. 3 Changes in percentage of turbidity removal efficiency relative to dose changes (turbidity: 175 NTU)

شکل ۳ تغییرات درصد راندمان حذف کدورت نسبت به تغییرات دوز (کدورت اولیه: ۱۷۵ NTU)

نمودار باشد. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵٪ در دمای ۱۰ درجه، برای دوزهای ppm

دما عملکرد را بهبود می‌دهد و مقادیر حذف کدورت در دمای ۳۰ درجه بالاتر از ۱۰ و ۲۰ درجه است و در دمای ۳۰ درجه بخصوص در دوز ۵ و ۱۰ ppm، بالاترین راندمان حذف مشاهده شده است. به گونه‌ای که مطابق نتایج، در دمای ۳۰ درجه، میزان راندمان حذف کدورت برای دوزهای مختلف، بین ۹۸٪ تا ۹۹/۵٪ بوده در حالی که برای دمای ۱۰ درجه بین ۹۵/۲٪ تا ۹۹/۲٪ و برای دمای ۲۰ درجه بین ۹۴/۵٪ تا ۹۹/۵٪ بوده است.

براساس نتایج **شکلهای ۳-ب و ۳-پ**، دما تاثیر قابل توجهی در عملکرد مواد منعقدکننده کلروفیک و کمک منعقدکننده پریستول نداشته و برای هر دو ماده موردبررسی، میزان راندمان حذف کدورت برای دوزهای مختلف و در هر سه دما، در بازه ۹۷/۷٪ تا ۹۹/۷٪ بوده و این دو ماده نسبت به دما حساسیت ندارند.

پس از بررسی تاثیر دما بر کارایی مواد منعقدکننده، در بخش بعد، مقادیر بهینه مواد منعقدکننده در هر دما و برای هر کدورت تعیین شده است. در تعیین غلظت بهینه یک ماده منعقدکننده، عوامل مختلفی از نظر قوانین زیست‌محیطی مربوطه و نیز قیمت ماده منعقدکننده بسیار تاثیرگذار هستند.

۲-۳- تعیین دوز بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید

در **شکل ۲**، اثر دوز بر روی راندمان حذف کدورت نیز مشاهده می‌شود. **شکل**، بیانگر این است که در کدورت اولیه ۵۰ NTU، با افزایش دوز پلی‌آلومینیوم کلراید، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است و میانگین کدورت خروجی برای دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه به ترتیب در گستره‌ای بین ۴/۷۴ تا ۵/۵۳ NTU، ۷/۵۳ تا ۰/۵۷ NTU و ۱ تا ۰/۵ NTU قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره در دمای ۱۰ درجه بین حداقل ۸۸/۵٪ تا ۹۸/۸۶٪، در دمای ۲۰ درجه ۸۴/۹۴٪ تا ۹۸٪ و در دمای ۳۰ درجه ۹۱/۶۶٪ تا ۹۹٪ بوده است.

همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود با افزایش دوز این ماده، از ۵ تا ۱۰ ppm، راندمان حذف کدورت به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و ۱۰ ppm یک نقطه ویژه در

($P > 0.05$). این نتیجه بیانگر این است که در این کدورت و در دماهای بالاتر، فرآیند انعقاد و لخته‌سازی به شرایط نزدیک به بهینه رسیده و افزایش بیشتر دوز این ماده تاثیر محسوسی بر عملکرد سیستم ندارد. همچنین با توجه به راندمان بالای حذف کدورت در دوز 10 ppm و هزینه کمتر مصرف ماده شیمیایی، این دوز به‌عنوان دوز بهینه از نظر فنی و اقتصادی انتخاب گردید.

۳-۳- تعیین دوز بهینه کلروفریک

در کدورت اولیه 50 NTU، براساس نتایج **شکل ۲-ب**، با افزایش دوز ماده منعقدکننده کلروفریک، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است و میانگین کدورت خروجی برای دمای 10، 20 و 30 درجه به‌ترتیب در گستره‌ای بین 3/5 تا 2/39 NTU، 0/89 تا 0/96 NTU و 0/77 تا 2/39 NTU قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره در دمای 10 درجه بین حداقل 92/4٪ تا 98/08٪، در دمای 20 درجه 93٪ تا 98/22٪ و در دمای 30 درجه 95/22٪ تا 98/46٪ بوده است. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود با افزایش دوز از 5 تا 10 ppm، راندمان حذف کدورت به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و 10 ppm یک نقطه ویژه در نمودار باشد. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان 95٪ در دمای 10 درجه، برای دوزهای منعقدکننده 20 و 10 ppm معادل 96/7٪ و 98/2٪، در دمای 20 درجه، معادل 96/7٪ و 98/2٪ و در دمای 30 درجه، 97/6٪ و 98/5٪ است و اگرچه افزایش دوز کلروفریک از 10 به 20 ppm موجب افزایش راندمان حذف کدورت در تمامی دماهای مورد مطالعه شد، اما آزمون آنالیز واریانس اختلاف مشاهده‌شده را از نظر آماری معنادار نشان نداد ($P > 0.05$). این موضوع بیانگر این است که افزایش دوز این ماده تاثیر چشمگیری بر بهبود حذف کدورت نداشته است. همچنین با توجه به دو برابر شدن مصرف ماده شیمیایی و افزایش محدود راندمان حذف (حداکثر 1/5٪)، دوز 10 ppm از دیدگاه فنی و اقتصادی به‌عنوان دوز بهینه در نظر گرفته می‌شود. این نتیجه نشان‌دهنده وقوع پدیده بازده نزولی در افزایش دوز این ماده و عدم توجیه اقتصادی مصرف مقادیر بالاتر کلروفریک است.

20 و 10 معادل 95/7٪ و 98/9٪، در دمای 20 درجه، معادل 92/1٪ و 98٪ و در دمای 30 درجه، 97/2٪ و 99٪ است و اگرچه افزایش دوز پلی‌آلومینیوم کلراید از 10 به 20 ppm موجب افزایش راندمان حذف کدورت در تمامی دماهای مورد مطالعه شد، اما آزمون آنالیز واریانس اختلاف مشاهده‌شده را از نظر آماری معنادار نشان نداد ($P > 0.05$). این موضوع بیانگر این است که افزایش دوز این ماده تاثیر چشمگیری بر بهبود حذف کدورت نداشته است. همچنین با توجه به دو برابر شدن مصرف ماده شیمیایی و افزایش محدود راندمان حذف (حداکثر 5/9٪)، دوز 10 ppm از دیدگاه فنی و اقتصادی به‌عنوان دوز بهینه در نظر گرفته می‌شود. این نتیجه نشان‌دهنده وقوع پدیده بازده نزولی در افزایش دوز این ماده و عدم توجیه اقتصادی مصرف مقادیر بالاتر پلی‌آلومینیوم کلراید است.

در کدورت اولیه 175 NTU، براساس نتایج **شکل ۳-الف**، با افزایش دوز ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است و میانگین کدورت خروجی برای دمای 10، 20 و 30 درجه به‌ترتیب در گستره‌ای بین 8/33 تا 8/58 NTU، 0/93 تا 0/93 NTU و 0/75 تا 0/75 NTU قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره در دمای 10 درجه بین حداقل 95/24٪ تا 99/28٪، در دمای 20 درجه 94/5٪ تا 99/5٪ و در دمای 30 درجه 98/05٪ تا 99/57٪ بوده است. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود با افزایش دوز از 5 تا 10 ppm، راندمان حذف کدورت به‌صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و 10 ppm یک نقطه ویژه در نمودار باشد. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان 95٪ در دمای 10 درجه، برای دوزهای 20 و 10 ppm معادل 97/8٪ و 99/3٪، در دمای 20 درجه، معادل 98/3٪ و 99/5٪ و در دمای 30 درجه، 99/1٪ و 99/6٪ است. نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان داد که در دماهای 10 و 20 درجه، بین دوز پلی‌آلومینیوم کلراید و درصد حذف کدورت رابطه مثبت و معنادار آماری وجود دارد ($P < 0.05$). به‌طوری‌که افزایش دوز از 10 به 20 ppm موجب بهبود راندمان حذف کدورت گردید. باین‌حال، در دمای 30 درجه اختلاف راندمان حذف کدورت بین مقادیر دوز از نظر آماری معنادار نبود.

در کدورت اولیه ۱۷۵ NTU، براساس نتایج **شکل ۳-ب**، با افزایش دوز ماده منعقدکننده کلروفریک، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است. در این مدت میانگین کدورت خروجی برای دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه به ترتیب در گستره‌ای بین ۲۲/۲ تا ۴۰/۴ NTU، ۰/۶۱ تا ۰/۸۳ NTU و ۰/۶ تا ۱/۵ NTU قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره در دمای ۱۰ درجه بین حداقل ۹۸/۷۳٪ تا ۹۹/۶۵٪، در دمای ۲۰ درجه ۹۷/۷٪ تا ۹۹/۵٪ و در دمای ۳۰ درجه ۹۹/۲۴٪ تا ۹۹/۷٪ بوده است. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود با افزایش دوز کلروفریک به همراه پریستول از ۵ تا ۱۰ ppm، راندمان حذف کدورت به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و ppm ۱۰ یک نقطه ویژه در نمودار باشد. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵٪ در دمای ۱۰ درجه، برای دوزهای ppm ۲۰ و ۱۰ معادل ۹۷/۷٪ و ۹۸/۸٪، در دمای ۲۰ درجه، معادل ۹۷/۳٪ و ۹۸/۷٪ و در دمای ۳۰ درجه، ۹۵/۷٪ و ۹۸/۹٪ است و اگرچه افزایش دوز کلروفریک به همراه کمک منعقدکننده پریستول از ۱۰ به ۲۰ ppm موجب افزایش راندمان حذف کدورت در تمامی دماهای مورد مطالعه شد، اما آزمون آنالیز واریانس اختلاف مشاهده شده را از نظر آماری معنادار نشان نداد ($P > 0.05$). این موضوع بیانگر این است که افزایش دوز این ماده تاثیر چشمگیری بر بهبود حذف کدورت نداشته است. همچنین با توجه به دو برابر شدن مصرف ماده شیمیایی و افزایش محدود راندمان حذف (حداکثر ۱/۴٪)، دوز ppm ۱۰ از دیدگاه فنی و اقتصادی به عنوان دوز بهینه در نظر گرفته می‌شود. این نتیجه نشان دهنده وقوع پدیده بازده نزولی در افزایش دوز این ماده و عدم توجیه اقتصادی مصرف مقادیر بالاتر کلروفریک به همراه پریستول است.

در کدورت اولیه ۱۷۵ NTU، براساس نتایج **شکل ۳-پ**، با افزایش دوز ماده کلروفریک به همراه کمک منعقدکننده پریستول، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است و میانگین کدورت خروجی برای دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه به ترتیب در گستره‌ای بین ۲/۶۷ تا ۳/۳۹ NTU، ۰/۵۴ تا ۰/۵۹ NTU و ۰/۵ تا ۱/۲۹ NTU قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره در دمای ۱۰ درجه بین حداقل ۹۸/۴۷٪ تا ۹۹/۶۹٪، در دمای ۲۰ درجه ۹۸/۱٪ تا ۹۹/۶۶٪ و در دمای ۳۰ درجه ۹۹/۳۴٪ تا ۹۹/۷۵٪ بوده است. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود با افزایش دوز کلروفریک به همراه پریستول از ۵ تا ۱۰ ppm، راندمان حذف کدورت به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و ppm

در کدورت اولیه ۱۷۵ NTU، براساس نتایج **شکل ۳-ب**، با افزایش دوز ماده منعقدکننده کلروفریک، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است. در این مدت میانگین کدورت خروجی برای دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه به ترتیب در گستره‌ای بین ۲۲/۲ تا ۴۰/۴ NTU، ۰/۶۱ تا ۰/۸۳ NTU و ۰/۶ تا ۱/۵ NTU قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره در دمای ۱۰ درجه بین حداقل ۹۸/۷۳٪ تا ۹۹/۶۵٪، در دمای ۲۰ درجه ۹۷/۷٪ تا ۹۹/۵٪ و در دمای ۳۰ درجه ۹۹/۲۴٪ تا ۹۹/۷٪ بوده است. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود با افزایش دوز کلروفریک از ۵ تا ۱۰ ppm، راندمان حذف کدورت به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و ppm ۱۰ یک نقطه ویژه در نمودار باشد. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵٪ در دمای ۱۰ درجه، برای دوزهای منعقدکننده ppm ۲۰ و ۱۰ معادل ۹۹/۴٪ و ۹۹/۷٪، در دمای ۲۰ درجه، معادل ۹۹/۴٪ و ۹۹/۵٪ و در دمای ۳۰ درجه، ۹۹/۶٪ و ۹۹/۷٪ است و اگرچه افزایش دوز کلروفریک از ۱۰ به ۲۰ ppm موجب افزایش راندمان حذف کدورت در تمامی دماهای مورد مطالعه شد، اما آزمون آنالیز واریانس اختلاف مشاهده شده را از نظر آماری معنادار نشان نداد ($P > 0.05$). این موضوع بیانگر این است که افزایش دوز این ماده تاثیر چشمگیری بر بهبود حذف کدورت نداشته است. همچنین با توجه به دو برابر شدن مصرف ماده شیمیایی و افزایش محدود راندمان حذف (حداکثر ۰/۳٪)، دوز ppm ۱۰ از دیدگاه فنی و اقتصادی به عنوان دوز بهینه در نظر گرفته می‌شود. این نتیجه نشان دهنده وقوع پدیده بازده نزولی در افزایش دوز این ماده و عدم توجیه اقتصادی مصرف مقادیر بالاتر کلروفریک است.

تعیین دوز بهینه کلروفریک به همراه کمک منعقدکننده پریستول

در کدورت اولیه ۵۰ NTU، براساس نتایج **شکل ۲-پ**، با افزایش دوز ماده کلروفریک به همراه کمک منعقدکننده پریستول، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است و میانگین کدورت خروجی برای دمای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه به ترتیب در گستره‌ای بین ۲/۶۷ تا ۴/۳ NTU، ۰/۵۹ تا

بهتر است ماده‌ای انتخاب گردد که از نظر اقتصادی بهینه باشد همچنین در شرایط افزایش کدورت (۱۷۵ NTU) و در شرایط دمایی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه، هر سه ماده از عملکرد تقریباً مشابهی بر کاهش کدورت آب ورودی به تصفیه‌خانه برخوردارند و انتخاب ماده منعقدکننده بهینه تابع شرایط اقتصادی خواهد بود.

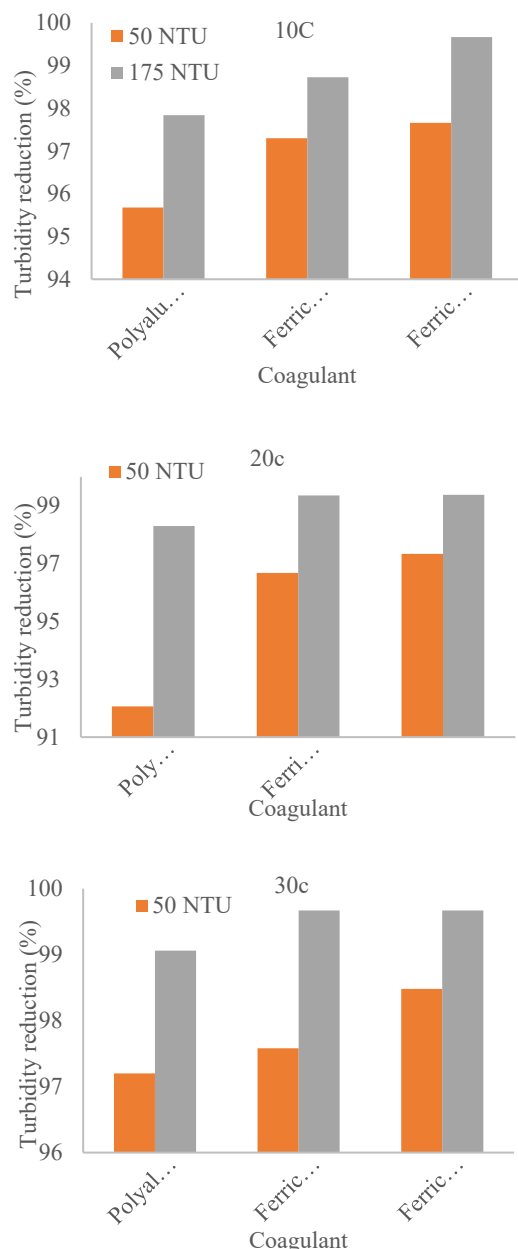


Fig. 4 Comparison of turbidity removal efficiency under optimal coagulant performance conditions

شکل ۴ مقایسه راندمان حذف کدورت در شرایط بهینه عملکرد مواد منعقدکننده

۱۰ یک نقطه ویژه در نمودار باشد. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵٪ در دمای ۱۰ درجه، برای دوزهای ۲۰ ppm و ۱۰ معادل ۹۹/۶٪ و ۹۹/۷٪، در دمای ۲۰ درجه، معادل ۹۹/۴٪ و ۹۹/۷٪ و در دمای ۳۰ درجه، ۹۹/۷٪ و ۹۹/۷۵٪ است و اگرچه افزایش دوز کلروفیک به همراه کمک منعقدکننده پرستول از ۱۰ به ۲۰ ppm موجب افزایش راندمان حذف کدورت در تمامی دماهای مورد مطالعه شد، اما آزمون آنالیز واریانس اختلاف مشاهده شده را از نظر آماری معنادار نشان نداد ($P > 0.05$). این موضوع بیانگر این است که افزایش دوز این ماده تاثیر چشمگیری بر بهبود حذف کدورت نداشته است. همچنین با توجه به دو برابر شدن مصرف ماده شیمیایی و افزایش محدود راندمان حذف (حداکثر ۱/۳٪)، دوز ۱۰ ppm از دیدگاه فنی و اقتصادی به عنوان دوز بهینه در نظر گرفته می‌شود. این نتیجه نشان‌دهنده وقوع پدیده بازده نزولی در افزایش دوز این ماده و عدم توجیه اقتصادی مصرف مقادیر بالاتر کلروفیک به همراه پرستول است.

مقایسه راندمان حذف کدورت در شرایط بهینه عملکرد مواد منعقدکننده

در این بخش، میزان راندمان حذف کدورت دو نمونه آب کارون با کدورت اولیه ۱۷۵ NTU و ۵۰ و به تفکیک در هر سه دما در شرایط بهینه عملکرد مواد منعقدکننده مورد آزمایش در شکل ۴، مقایسه شده‌اند.

براساس نتایج شکل ۴، با افزایش کدورت آب، کارایی هر سه ماده در حذف کدورت افزایش یافته است و در کدورت ۵۰ NTU و در شرایط دمایی ۱۰ و ۲۰ درجه، منعقدکننده‌های معدنی دارای عملکرد بهتری نسبت به منعقدکننده‌های پلیمری داشته‌اند به طوری که کارایی کلروفیک و پرستول در مقایسه با پلی‌آلومینیوم کلراید بر کاهش کدورت آب کارون موثرتر بوده است.

از آنجاکه کارایی کلروفیک و پرستول تقریباً مشابه بوده، استفاده از کلروفیک از نظر اقتصادی و بهداشتی توصیه می‌گردد. اما با افزایش دما (دمای ۳۰ درجه)، عملکرد منعقدکننده‌های مورد آزمایش نسبتاً مشابه است و بالاترین راندمان حذف کدورت تفاوت زیادی نشان نمی‌دهد بنابراین

جدول ۳ برآورد هزینه پلی‌آلومینیوم کلراید و کلروفوریک برای ۱۰ ppm

Table 3 Estimated cost of Polyaluminium chloride and Ferric chloride for 10 ppm

Coagulant	Price per Kilogram with shipping cost (IRR)	Cost per cubic meter of purified water (IRR)
Polyaluminium chloride	650000	7800
Ferric chloride	118800	1663

است. دوز بهینه برابر ۱۰ ppm به‌عنوان انتخاب گردید و با افزایش کدورت آب، کارایی هر سه ماده در حذف کدورت افزایش‌یافته است. مقایسه راندمان حذف کدورت در شرایط بهینه عملکرد مواد منعقدکننده در کدورت ۵۰ NTU، کارایی کلروفوریک و پریتول در مقایسه با پلی‌آلومینیوم کلراید بر کاهش کدورت آب کارون موثرتر بوده اما در کدورت بالاتر (۱۷۵ NTU) هر سه ماده از عملکرد مشابهی برخوردار بوده‌اند. مقایسه اقتصادی و برآورد هزینه‌ها در این پژوهش بیانگر این است که هزینه هر مترمکعب آب تصفیه‌شده کارون در محل تصفیه‌خانه دارخوین با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید در مقایسه با کلروفوریک حدود ۵ برابر بیشتر است. بنابراین در شرایطی که عملکرد هر دو ماده مشابه است استفاده از کلروفوریک از نظر اقتصادی و بهداشتی توصیه می‌گردد. در این پژوهش با توجه به اینکه در بیشتر فصول سال کدورت آب در محل تصفیه‌خانه دارخوین از ۲۰۰ NTU تجاوز نمی‌کند بنابراین آزمایش‌های در این محدوده انجام گردید اما پیشنهاد می‌گردد که تاثیر عوامل مذکور بر کدورت‌های بالاتر در محل تصفیه‌خانه‌های دیگر موردبررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه pH یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر فرآیند انعقاد است، توصیه می‌گردد که برای آب‌هایی که pH آن‌ها متغیر است، اثر تغییرات این پارامتر بر عملکرد منعقدکننده‌های نیز ارزیابی گردد.

5- List of Symbols

NTU	Nephelometric turbidity unit
p	The probability that the test hypothesis is true
pH	Speed
PPM	Part per million

Acknowledgments

۳-۴- توجیه اقتصادی کارایی پلی‌آلومینیوم کلراید در مقایسه با کلروفوریک

واضح است که اقتصاد حرف اول را برای انتخاب منعقدکننده موفق می‌زند. به‌منظور مقایسه اقتصادی و برآورد هزینه‌ها در کاربرد مواد منعقدکننده مورد استفاده در این پژوهش، مقایسه کلی از نظر هزینه‌ها در [جدول ۳](#)، با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده هر کدام از آن‌ها در سطح کدورت مورد آزمایش در این پژوهش و قیمت مواد مصرفی در بازار انجام‌شده است. هزینه هریک از مواد منعقدکننده برای هر مترمکعب آب به‌صورت زیر است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود مطابق [جدول ۳](#)، با توجه به یکسان بودن دوز تزریقی هر دو ماده منعقدکننده، هزینه مصرف کلروفوریک برای هر مترمکعب آب تصفیه‌شده برابر ۱۶۶۳ ریال و برای پلی‌آلومینیوم کلراید ۷۸۰۰ ریال برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهد استفاده از کلروفوریک موجب کاهش ۶۱۳۷ ریالی هزینه تصفیه هر مترمکعب آب کارون و حدود ۷۸٪ صرفه‌جویی اقتصادی نسبت به پلی‌آلومینیوم کلراید ایجاد می‌کند. بنابراین از دیدگاه هزینه خرید مواد شیمیایی، کلروفوریک گزینه اقتصادی‌تری بوده و هزینه بهره‌برداری را به حدود یک‌پنجم پلی‌آلومینیوم کلراید کاهش می‌دهد. در نتیجه در شرایطی که عملکرد هر دو ماده نسبتاً مشابه است کاربرد کلروفوریک از نظر اقتصادی بهینه‌تر خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

براساس نتایج، در دو کدورت متفاوت، عملکرد پلی‌آلومینیوم کلراید با افزایش دما بهبود یافته ولی تاثیر قابل‌توجهی در عملکرد کلروفوریک و کمک منعقدکننده پریتول نداشته

We express our sincere thanks and appreciation to the esteemed staff of Shahid Charmin University.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, D.H. and J.A.; Methodology, S.M.S. and J.A.; Software, D.H., J.A. and M.SH.B.;

Data analysis, D.H. and J.A.; Writing-Original Draft Preparation, D.H. and M.SH.B.; Writing-Review and Editing, D.H., J.A. and M.SH.B.; Supervision, J.A.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

No financial support was received from any organization for this research.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Aghyani, R.; Nabi Bidhendi, Gh.; Mehrdadi, N. and Amiri, M.J. (2023). Comparative study of polyaluminum ferric and polyaluminum chloride performance for turbidity removal from river water. *J. Environmental Energy and Economic Research*. 7(3), 14-23, <https://doi.org/10.22097/eeer.2023.393733.1287>
- Bouchareb, R.; Bilici, Z. and Dizge, N. (2021). Potato processing wastewater treatment using a combined process of chemical coagulation and membrane filtration. *J. CLEAN-Soil, Air, Water*. 49(8), 25-37, <https://doi.org/10.1002/Clen.202100017>.
- Hessam, A. and Mehdinejad, M.H. (2021). Investigating the feasibility of removing the rapid mixing unit in conventional surface water treatment and its effect on turbidity removal. *J. Water Practice & Technology*. 16(4), 1173-1190, <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.070>.
- Masoomi, B.; Tabatabaie, T.; Jaffarzadeh, N.; Jorfi, S. and Kouhgardi, E. (2019). The impact of water quality entering the refinery on the formation of color and foams in water purification process units (case study: Koohsabz drinking water treatment plant). *J. Environmental Health Engineering*. 7(2), 212-230, <https://doi.org/10.29252/jehe.7.2.211>. (In Persian)
- Mohammadi, M.J.; Takdastan, A.; Orooji, N.; Mousavion, K.; Alborzi, M.; Kianizadeh, P.; Hormati, M. and Taherian, M. (2024). Evaluation of turbidity removal efficiency from Karun river water using polyaluminum chloride and chitosan. *J. Desalination and Water Treatment*. 320, 15-27, <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100661>.
- Nevine, K.A.; Ola, A. and Mohammad Helmy, A. (2025). Comparative analysis of new natural coagulant extracts for turbidity removal in water systems. *J. Water Science & Technology*. 91(7), 797-810, <https://doi.org/10.2166/wst.2025.044>.
- Platikanov, P.; Baquero, D.; González, S.; Alonso, J.M.; Paraira, M.; Cortina, J.L. and Tauler, R. (2019). Chemometric analysis for river water quality assessment at the intake of drinking water treatment plants. *J. Science of the Total Environment*. 667, 552-562, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.423>.
- Poustizadeh, N.; Horri, D. and Rameshi, R. (2024). Operation of the ghadir khuzestan water transmission system under defensive conditions using hydraulic modeling. *J. Water and Sustainable Development*. 11(3), 17-26, <https://doi.org/10.22067/jwsd.v11i3.2409-1361>. (In Persian)
- Vakili, Z.; Alamatian, E. and Zanguee, M. (2024). Investigation the prediction of the amount of coagulant injection in the drinking water purification process using fuzzy regression analysis (case study: Mashhad water treatment plant). *J. Water and Sustainable Development*. 10(4), 89-96, <https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2305-1240>. (In Persian)
- Yazdi, M.; Shokati, H. and Moghadami, SH. (2017). Compare the performance of conventional coagulants made of ferric sulfate turbidity and organic carbon surface water. (case study: Mashhad water treatment plant NO. 3). *J. Environmental Research and Technology*. 2(2), 45-49, <https://doi.org/10.29252/2.2.45>. (In Persian).