

Research Paper

مقاله پژوهشی

Turbidity and Some Heavy Metals Removal Efficacy by Poly Aluminium Chloride (PAC) Coagulant in the Presence of Bentonite and Polyelectrolyte Coagulant Aid (Case Study: Isfahan Babashikhali Water Treatment Plant)

کارایی حذف کدورت و برخی از فلزات سنگین آب توسط منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در حضور کمک منعقدکننده‌های بنتونیت و پلی الکترولیت (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی اصفهان)

Fahimeh Mehranfar

Ph.D. in Physical Chemistry, Quality Control Expert of Water and Wastewater Quality Monitoring and Supervision Center, Tehran Province Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

*Corresponding Author, Email: fmehr_63@yahoo.com

فهیمة مهرانفر

دکترای شیمی فیزیک، کارشناس کنترل کیفیت مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: fmehr_63@yahoo.com

Received: 22/02/2021

Revised: 28/04/2021

Accepted: 14/06/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

One of the important steps in the process of removing water turbidity is the use of coagulants. Amongst the most applied materials is poly aluminum chloride (PAC) which is used to precipitate colloidal particles. The use of this compound, which contains Aluminum, in the coagulation causes some residual aluminum in the water. Natural and synthetic coagulants aid can be used to reduce the effects of overuse of poly aluminum chloride. In this study, the effect of bentonite and polyelectrolyte coagulant aid in the turbidity removal process of Babasheikhali water treatment plant is investigated. The results showed that optimum pH for turbidity removal was 8 and the optimal concentration of poly aluminum chloride at the optimum pH was 10 mg/L. In the presence of bentonite, the optimal PAC concentration decreased to 4mg/L and the turbidity removal efficiency increased to 92%. The results also showed that the combination of PAC and polyelectrolyte together can be used to reduce the concentration of heavy metals in the incoming water. Therefore, bentonite and polyelectrolyte coagulants aid can be used as a suitable option along with poly aluminum chloride to remove turbidity from the water treatment plant.

یکی از مراحل مهم در فرآیند حذف کدورت آب، استفاده از مواد منعقدکننده است. یکی از موادی که کاربرد مهمی دارد، پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) است که به منظور ته‌نشینی ذرات کلویدی از آن استفاده می‌شود. استفاده از این ترکیب در فرآیند انعقاد به دلیل داشتن آلومینیوم، باعث باقی‌ماندن مقداری آلومینیوم در آب می‌شود. برای کاهش اثرات استفاده بیش از حد مجاز از پلی‌آلومینیوم کلراید می‌توان از کمک منعقدکننده‌های طبیعی و مصنوعی کمک گرفت. در این مطالعه، اثر کمک منعقدکننده‌های بنتونیت و پلی‌الکترولیت در حذف کدورت تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج نشان داد که pH بهینه برای حذف کدورت ۸ و مقدار غلظت بهینه PAC در pH بهینه برابر ۱۰ mg/L به دست آمد و در حضور بنتونیت و پلی‌الکترولیت، غلظت بهینه PAC به ۴ mg/L کاهش یافته و راندمان حذف کدورت به ۹۲٪ افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که از ترکیب PAC و پلی‌الکترولیت در کنار هم می‌توان برای کاهش غلظت فلزات سنگین آب ورودی استفاده کرد. بنابراین، مواد کمک منعقدکننده بنتونیت و پلی‌الکترولیت می‌توانند به‌عنوان گزینه مناسبی در کنار پلی‌آلومینیوم کلراید برای حذف کدورت آب تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار بگیرند.

Keywords: Babasheikhali water treatment, Poly aluminium chloride, Bentonite, Polyelectrolyte, Turbidity

کلمات کلیدی: تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی، پلی‌آلومینیوم کلراید، بنتونیت، پلی‌الکترولیت، کدورت

محللول آبی تشکیل کمپلکس چندهسته‌ای داده که همین امر توانایی منحصر به فرد این ترکیب را برای انعقاد نشان می‌دهد (عروجی و همکاران، ۱۳۹۱). مقدار مناسب استفاده از این ترکیب در تصفیه آب یکی از فاکتورهای مهمی است که باید به آن توجه شود. به دلیل این که استفاده زیاد و نادرست از این ترکیب باعث افزایش آلومینیوم در آب می‌شود، مقادیر زیاد آلومینیوم اثرات خطرناکی در انسان نظیر آنتی میکروستتیک، پوکی استخوان، آلزایمر و نارسایی کلیه در بیماران دیالیزی ایجاد می‌کند. برای به حداقل رساندن هر گونه خطر ناشی از افزایش آلومینیوم باقی مانده در آب تصفیه شده‌ای که از منعقدکننده آلومینیومی استفاده می‌شود، فرآیندهای تصفیه آبی باید به منظور کاهش میزان آلومینیوم باقی مانده تا حد ممکن بهینه شوند. یکی از روش‌های بهینه کردن، استفاده از کمک منعقدکننده‌های طبیعی و مصنوعی است (Takdastan, 2012).

در تحقیقات گذشته اثر پلی‌آلومینیوم کلراید و مواد کمک منعقدکننده در تصفیه آب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج یکی از این تحقیقات نشان داد که بازده حذف کدورت توسط PAC بین ۹۳/۸٪ تا ۹۹/۶٪ است. هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد که کمک منعقدکننده Lime (5mg/L) می‌تواند در کنار PAC باعث توسعه فرآیند لخته‌سازی و کاهش کدورت شود (Daryabeigi Zand and Hoveidi, 2015). در مطالعه دیگری اثر مقدار مصرفی مواد منعقدکننده پلیمری و شرایط انعقاد در کاهش کدورت و هم‌چنین اثر بنتونیت به‌عنوان کمک منعقدکننده در آب‌های با کدورت پایین مورد بررسی قرار گرفته است (Shen, 2005). تحقیقات اخیر نشان داده است که پلی‌آلومینیوم کلراید سولفات به‌عنوان منعقدکننده می‌تواند برای حذف اسیدهیومیک با کارایی انعقاد بالا استفاده شود (Wu, 2020).

تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی یکی از بزرگ‌ترین تصفیه‌خانه‌های آب ایران به‌شمار می‌رود که در کیلومتر ۴۵ جاده اصفهان-شهرکرد و در جوار شهر زاینده‌رود واقع شده است. آب مورد نیاز بیشتر شهرهای استان اصفهان از تصفیه‌خانه باباشیخعلی تأمین می‌شود و مستقیماً از مسیر انحراف رودخانه زاینده‌رود در بالادست اصفهان آب دریافت می‌کند. آب خام ورودی این تصفیه‌خانه از سد چم آسمان که در محل چم آسمان در فاصله ۸ کیلومتری تصفیه‌خانه بر روی رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته تأمین می‌شود. آب خام پس از طی مراحل آشغال‌گیری، ماسه‌گیری، ته‌نشینی مقدماتی و کلرزنی در سد چم آسمان توسط تونلی به طول ۷۷۷۹ متر و قطر ۳۰۰۰ میلی‌متر به تصفیه‌خانه انتقال یافته و از ضلع شمال غربی با روش ثقلی وارد و به تصفیه‌خانه تحویل

بدون شک آب حیاتی‌ترین عنصر در بین منابع طبیعی است. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه دسترسی به آب تمیز و سالم یک مسئله مهم است. آب موجود در منابع مختلف قبل از مصرف باید تصفیه شود. روش‌های مختلفی وجود دارد تا آب سالم و مناسبی به‌دست مصرف‌کننده برسد. یکی از مشکلات مهم تصفیه‌خانه‌های آب، تغییرات فصلی در میزان کدورت آب است (Asrafuzzaman et al., 2011).

وجود کدورت در آب می‌تواند مانع ضدعفونی کردن مناسب آب و حذف پاتوژن‌ها (میکروب‌های بیماری‌زا) شود. قسمت عمده کدورت در آب‌های سطحی ناشی از فرسایش مواد کلئیدی نظیر خرده‌سنگ‌ها، خاک رس، اکسیدهای فلزی ناشی از فرسایش خاک و مجاورت منابع آب با فعالیت‌های صنعتی است. بر همین اساس کدورت را به‌عنوان یک عامل غیر مستقیم آلودگی آب می‌شناسند. براساس استاندارد آب آشامیدنی ایران (۱۰۵۳)، حداکثر مقدار مجاز کدورت NTU ۵ و حد مطلوب آن کمتر یا مساوی ۱ NTU است (تراپیان و شاهوی، ۱۳۹۶).

روش‌های مختلفی برای حذف یا کاهش کدورت آب وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها استفاده از مواد منعقدکننده است. دو گروه اصلی از مواد مورد استفاده در فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی عبارتند از: منعقدکننده‌های آلی و معدنی (غیرآلی) (Kaggwa, 2001). منعقدکننده‌های آلی خود شامل پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی و آنیونی و پلیمرهای غیریونی هستند.

طی فرآیند انعقاد، ذرات غیرقابل ته‌نشینی که اصطلاحاً کلئید نامیده می‌شوند و عامل مهمی در بروز کدورت هستند؛ به یکدیگر چسبیده و ذرات درشت و قابل ته‌نشینی را تشکیل می‌دهند (شایسته و همکاران، ۱۳۹۱). در فرآیند تصفیه آب از منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌های مختلفی استفاده می‌شود. از منعقدکننده‌های اصلی برای ناپایداری ذرات و چسباندن آن‌ها به یکدیگر و از کمک منعقدکننده‌ها برای افزایش دانسیته ذرات به هم چسبیده و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر آن‌ها استفاده می‌شود. تاریخچه استفاده از منعقدکننده‌ها طولانی است. از پلیمرهای آلی طبیعی بیشتر از ۲۰۰۰ سال استفاده شده است. در هند، آفریقا و چین سال‌ها است که از منعقدکننده‌ها و کمک‌منعقدکننده‌ها در حذف کدورت آب استفاده شده است (Kawamura, 1991).

پلی‌آلومینیوم کلراید^۱ یک ماکرومولکول معدنی است که پلیمر آن یک کمپلکس دوهسته‌ای از آلومینیوم است. این ترکیب در

دستورالعمل ذکر شده در کتاب استاندارد متد ویرایش ۲۰۱۷ (SM 2130 B) انجام شد. در این روش، ابتدا دستگاه کدورت‌سنج با استفاده از ست کالیبراسیون دستگاه (محلول CRM کدورت) کالیبره شده و سپس کدورت محلول‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل 220FS ساخت شرکت Varian استفاده شد. از اسیدنیتریک ۱:۱ برای تثبیت نمونه‌ها استفاده شد. برای اندازه‌گیری مس (Cu, $\lambda=324.7$ nm) و روی ($\lambda=213.9$ nm) Zn) از روش مستقیم شعله استفاده شد. اندازه‌گیری سرب ($\lambda=283.3$ nm) Pb)، کروم (Cr, $\lambda=357.9$ nm)، کادمیم ($\lambda=228.8$ nm) Cd) و نیکل (Ni, $\lambda=352.5$ nm) با استفاده از کوره گرافیتی انجام شد. آرسنیک ($\lambda=193.7$ nm) As) هم به روش VGA مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- انتخاب pH بهینه

به منظور تعیین pH بهینه از ماده PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L استفاده شد. بدین ترتیب ۵ بشر آماده شده حاوی نمونه PAC به ترتیب در pHهای مختلف (۵، ۶، ۷، ۸، ۹) تنظیم شدند. به منظور تنظیم pH از اسیدسولفوریک و هیدروکسیدسدیم ۰/۰۲ نرمال استفاده شد.

۲-۳- انتخاب غلظت بهینه PAC مورد استفاده

به منظور تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده، آزمایش جار در ۵ بشر حاوی یک لیتر نمونه در pH بهینه ۸ انجام شد. محلول در غلظت‌های مورد نظر (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ mg/L) ساخته و به ترتیب به هر یک از بشرها اضافه شد. با افزودن PAC، ابتدا فرآیند اختلاط سریع با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه و زمان ۱ دقیقه انجام گرفت. سپس به منظور اختلاط کند، سرعت اختلاط به ۴۰ دور بر دقیقه کاهش یافت. این مرحله ۲۰ دقیقه به طول انجامید. بعد از این که فرآیند اختلاط کامل شد، نمونه‌ها از زیر دستگاه خارج شدند تا لخته‌های تشکیل شده فرصت ته‌نشین شدن پیدا کنند. پس از پایان یافتن آزمایش، با استفاده از پیپت از عمق ۵ سانتی‌متری زیر سطح محلول، نمونه‌برداری انجام شد تا کدورت محلول، pH و آلومینیوم باقی‌مانده و در نهایت غلظت بهینه PAC اندازه‌گیری شود.

۲-۴- انتخاب غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت

در این بخش دو سری آزمایش طراحی شد. در بخش اول از خاک بنتونیت با درصد خلوص ۶۰ و غلظت ۲۰ mg/L به عنوان کمک منعقدکننده استفاده شد. آزمایش جار بر روی نمونه‌های

داده می‌شود. آب صاف در مخازن داخل تصفیه‌خانه ذخیره و سپس به شبکه آبرسانی انتقال می‌یابد که علاوه بر شهر اصفهان بیش از ۴۰ شهر و ۴۰۰ روستا و نیز تعداد زیادی از صنایع بزرگ و کوچک را تحت پوشش قرار می‌دهد.

برای حذف ذرات کلوییدی آب در این تصفیه‌خانه از منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید استفاده می‌شود. همان‌طور که ذکر شد، استفاده از این مواد شیمیایی در فرآیندهای تصفیه آب باعث بروز خطراتی برای سلامتی می‌شود. اکثر پلیمرهای مصنوعی و معدنی زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و ممکن است تا سال‌ها در طبیعت یا داخل بدن باقی بمانند. بنابراین، برای بهینه کردن مصرف این پلیمرها در فرآیند تصفیه آب به تحقیقات بیشتری نیاز است. همان‌طور که ذکر شد، یکی از روش‌های بهینه کردن فرآیند تصفیه‌خانه استفاده از مواد کمک منعقدکننده است. در این تحقیق اثر کمک منعقدکننده‌های طبیعی بنتونیت^۲ و مصنوعی پلی‌الکترولیت^۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد که در صورت عملکرد مثبت آن‌ها در کنار PAC در تصفیه‌خانه استفاده شود. بنابراین اهداف مطالعه حاضر عبارتند از:

- ۱- استفاده از کمک منعقدکننده‌ها در کنار PAC برای کاهش کدورت و آلایندگی حاصل از آب؛
- ۲- تسهیل فرآیند تصفیه آب در مواقع بحرانی با استفاده از پلی‌الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده و در نتیجه کاهش مصرف PAC به عنوان عامل زیست‌تخریب‌ناپذیر.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده

آزمایش جار تست براساس روش استاندارد ASTM ۲۰۳۵ انجام شده است. آزمایش جار در واقع مدلی کوچک از واحدهای اختلاط سریع، انعقاد، لخته‌ساز و ته‌نشینی است. بر این اساس از بشرهای ۱ لیتری استاندارد به عنوان ظروف آزمایش استفاده شد. نمونه‌ها براساس برنامه آزمایش ابتدا به مدت یک دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه و پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰ دور بر دقیقه مخلوط شده، سپس ظروف از زیر دستگاه آزمایش جار خارج شده و مدت ۲۰ دقیقه برای ته‌نشینی ساکن نگه‌داشته شدند. پس از پایان مرحله ته‌نشینی، میزان مورد نیاز نمونه از حدود ۵ سانتی‌متر سطح ظرف توسط پیپت برداشته شده و برای انجام آزمایش کدورت مورد استفاده قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری کدورت از دستگاه کدورت‌سنج رومیزی مدل 2100 N ساخت شرکت Hach استفاده شد. این آنالیز مطابق با

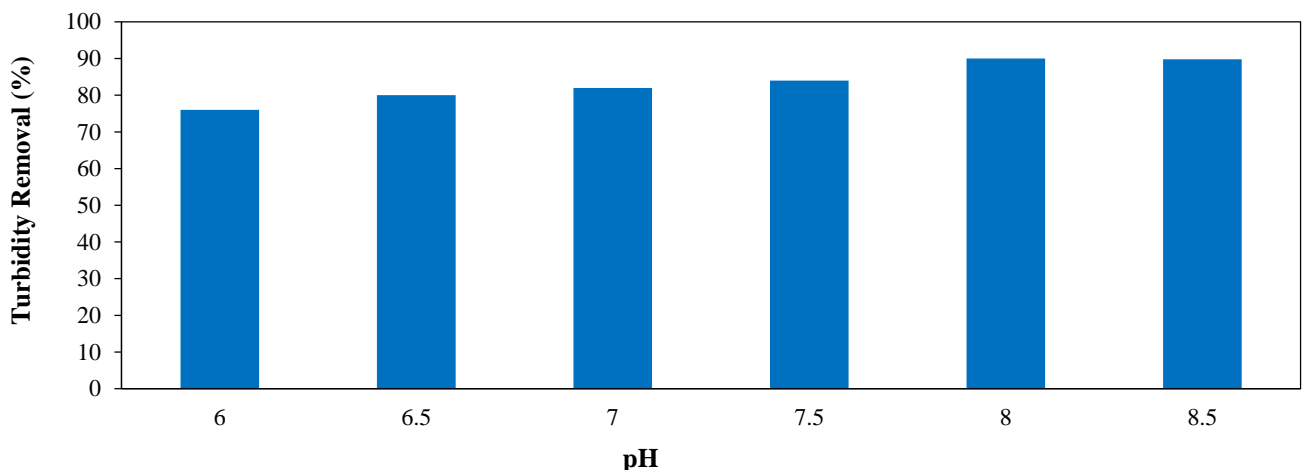
۲-۷- اثر PAC و کمک منعقدکننده در میزان حذف بعضی از فلزات سنگین ورودی تصفیه‌خانه

در این مرحله میانگین کدورت ورودی ۵ NTU در نظر گرفته شد و اثر PAC و پلی‌الکترولیت بر روی حذف فلزات سنگین آب ورودی تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. در این بخش، ابتدا غلظت فلزات سنگین موردنظر (مس، روی، سرب، کروم، کادمیم، نیکل و آرسنیک) قبل از اضافه کردن ماده منعقدکننده اندازه‌گیری شد. برای حذف فلزات سنگین آب ورودی، از محلول PAC با غلظت‌های ۱۰ mg/L و ۲۰ mg/L استفاده شد. نتایج این مرحله نشان داد که در حضور PAC، غلظت فلزات سنگین آب ورودی تا حدودی کاهش یافته است. غلظت بهینه PAC در این مرحله ۱۰ mg/L در نظر گرفته شد. در مرحله آخر، در حضور PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L، محلول پلی‌الکترولیت با غلظت ۰/۰۲ mg/L اضافه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین pH بهینه

تعیین pH بهینه در فرآیند انعقاد نقش مهمی دارد که به نوع و غلظت ماده منعقدکننده وابسته است. در pH بهینه، فرآیند لخته‌سازی در زمان کوتاه‌تر انجام شده، بنابراین بازدهی حذف ذرات معلق افزایش می‌یابد. تحقیقات گذشته نشان داد که بهترین روش برای تعیین pH بهینه روش آزمون و خطا است (Sanghi et al., 2006). در این مرحله و در حضور PAC میانگین کدورت ورودی ۵ NTU و میانگین کدورت خروجی ۰/۵ NTU به دست آمد. شکل ۱ pH بهینه در آزمایش جار برای کاهش کدورت محلول را نشان می‌دهد. معیار تعیین پارامتر بهینه در تمام مراحل این تحقیق راندمان حذف کدورت است.



شکل ۱- تعیین pH بهینه پس از اضافه کردن PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L

آب خام در حضور بنتونیت (۲۰ mg/L) و غلظت‌های مختلف PAC (۲ mg/L تا ۱۰ mg/L) به این صورت انجام شد: ۵ بشر هر کدام حاوی یک لیتر نمونه از ورودی تصفیه‌خانه با میانگین کدورت ۵ NTU در نظر گرفته شد. آزمایش ۱ دقیقه با دور تند و در حضور PAC با غلظت‌های مختلف در pH بهینه ۸ شروع شد. در لحظات پایانی دور تند، خاک بنتونیت با غلظت ثابت (۲۰ mg/L) به ترتیب به هر یک از بشرها اضافه شد. سرعت آزمایش در این مرحله به ۴۰ دور بر دقیقه کاهش یافت و به مدت ۲۰ دقیقه اختلاط کند در حضور بنتونیت انجام شد. در پایان این مرحله، به نمونه‌ها ۲۰ دقیقه فرصت داده شد تا فلوک‌های تشکیل شده ته‌نشین شوند.

۲-۵- انتخاب غلظت بهینه پلی‌الکترولیت به‌عنوان کمک‌منعقدکننده

در این بخش از تحقیق، میانگین کدورت ورودی ۲۰۰ NTU و میانگین کدورت خروجی ۲-۵/۰ NTU به دست آمد. در این مرحله، غلظت ماده منعقدکننده ۱۰ mg/L (غلظت بهینه) و از پلی‌الکترولیت به‌عنوان کمک منعقدکننده در غلظت‌های مختلف تا ۱ mg/L استفاده شد.

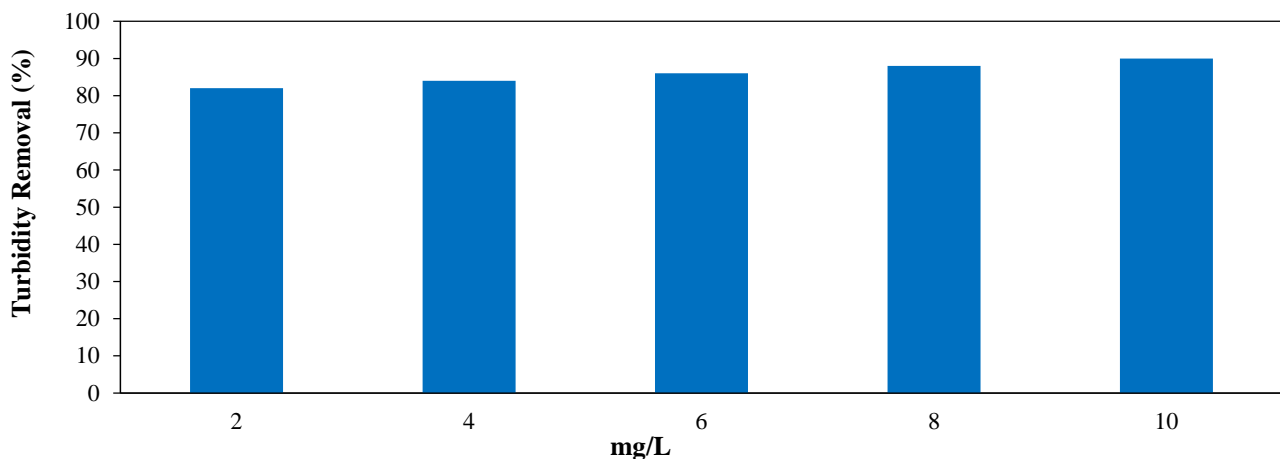
۲-۶- انتخاب غلظت بهینه PAC در ترکیب با کمک‌منعقدکننده

در این مرحله میانگین کدورت ورودی ۲۰۰ NTU در نظر گرفته شد. برای تعیین غلظت بهینه PAC در حضور پلی‌الکترولیت، ابتدا غلظت‌های مختلف آن (۱ mg/L تا ۲۰ mg/L) ساخته شده و به ترتیب به هر یک از بشرها اضافه شد. سپس در لحظات پایانی دور تند، محلول پلی‌الکترولیت با غلظت ثابت ۰/۰۲ mg/L به همه بشرها اضافه شد.

۳-۲- تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید

در این بخش میانگین کدورت ورودی تصفیه‌خانه بین ۴ تا ۵ NTU و میانگین کدورت خروجی حدود ۰/۹ NTU به دست آمد. شکل ۲ اثر ماده منعقدکننده PAC را بر میزان حذف کدورت (pH=۸) نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، با افزایش غلظت PAC میزان حذف کدورت افزایش پیدا کرده است. در حضور PAC ذرات معلق باردار به هم متصل شده و تشکیل فلوک می‌دهد که ته‌نشین می‌شوند و بدین ترتیب کدورت کاهش می‌یابد. در تعیین غلظت ماده منعقدکننده، قیمت آن و عوامل محیط‌زیستی تأثیر دارد. با توجه به این شرایط، غلظت ۱۰ mg/L با راندمان حذف ۹۰٪ به‌عنوان غلظت بهینه PAC در نظر گرفته شد.

همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، در حضور PAC و با افزایش pH، میزان کدورت کاهش یافته تا این‌که بالاترین راندمان حذف در pH ۸ اتفاق می‌افتد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که در این pH، رسوب تشکیل شده ناشی از حضور PAC دارای کمترین میزان حلالیت است. همچنین نتایج نشان داد که اندازه لخته‌های تشکیل شده در این pH، بزرگتر بودند. از طرفی همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است با افزایش pH، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است. دلیل این امر آن است که تشکیل لخته‌ها صرفاً به دلیل فرآیند خنثی‌سازی بار اتفاق نمی‌افتد. بلکه بیشتر از طریق به دام افتادن ذرات معلق در زنجیره‌های پلیمری ماده منعقدکننده انجام شده است که مکانیسم انعقاد جاروبی و به دام افتادن ذرات در رسوب نام دارد (بینا و همکاران، ۱۳۸۶).

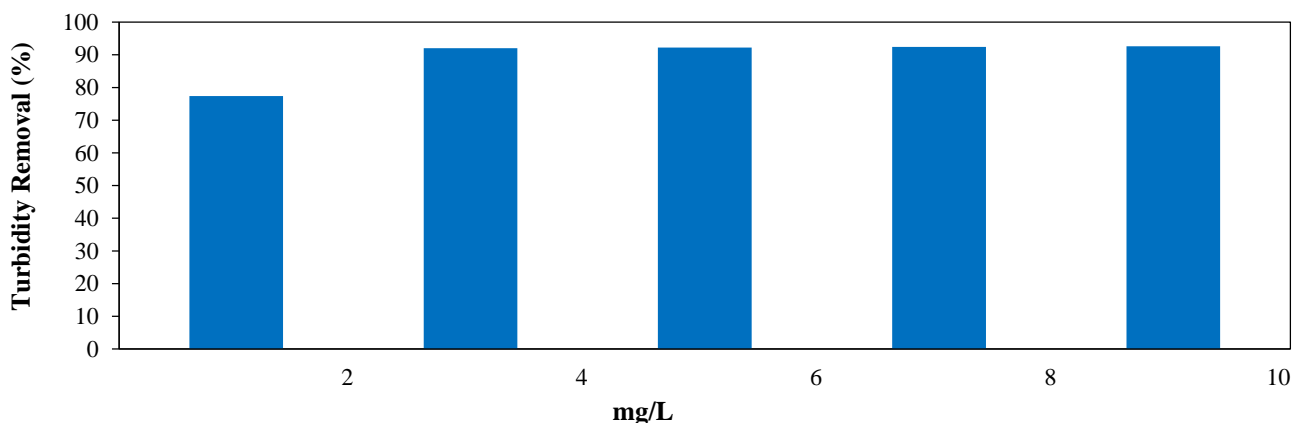


شکل ۲- تعیین غلظت بهینه PAC در pH=۸

بدین ترتیب ابتدا غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت با انجام آزمایش تعیین شد. نتایج این بخش از تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳-۳- تعیین غلظت بهینه PAC در حضور کمک منعقدکننده بنتونیت

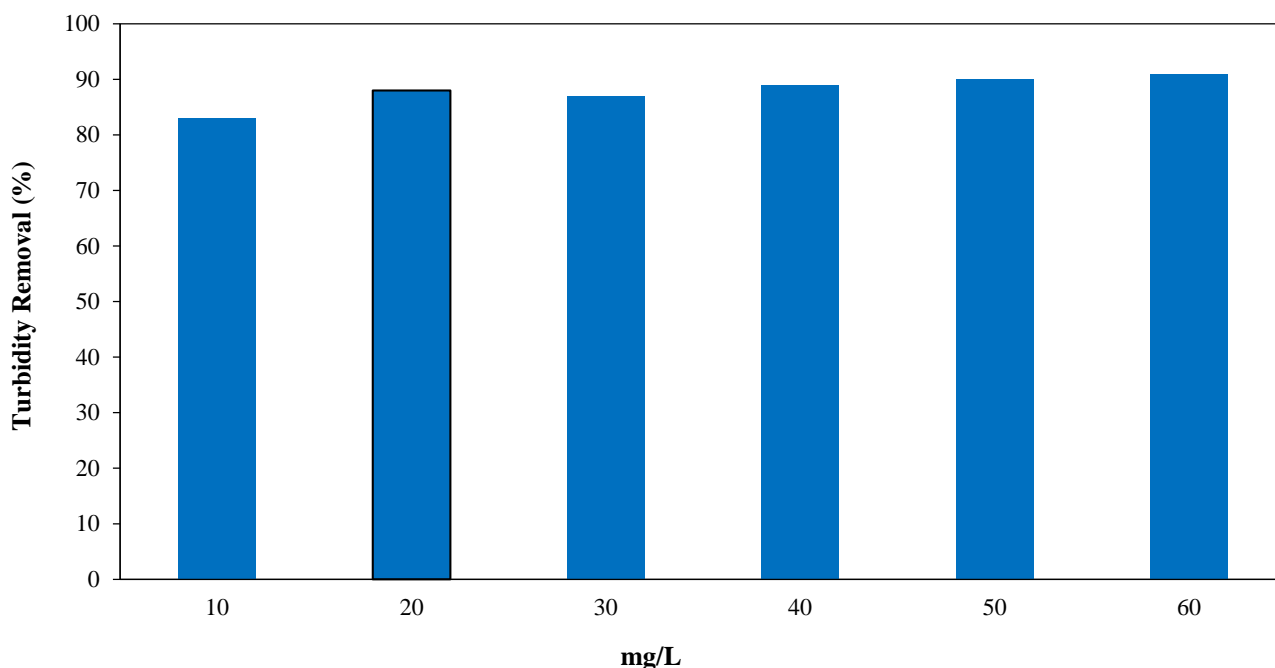
در این مرحله از کمک منعقدکننده بنتونیت استفاده شد.



شکل ۳- تعیین غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت با غلظت ثابت ۲۰ mg/L

بنتونیت به عنوان کمک منعقدکننده طبیعی در حذف مواد معلق موجود در آب و کاهش کدورت استفاده کرد. براساس این نتایج در بخش دوم تحقیق، اثر خاک بنتونیت در فرآیند حذف کدورت در غلظت‌های بالاتر بررسی شد. بر این اساس، کدورت اولیه ورودی تصفیه‌خانه ۵ NTU در نظر گرفته شد. با افزودن بنتونیت در غلظت‌های مختلف ابتدا کدورت ورودی افزایش یافت. آزمایش جار بر روی نمونه با کدورت بالاتر و در حضور غلظت بهینه PAC (۴ mg/L) انجام شد. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد در حضور بنتونیت، کدورت از ۵ به ۰/۴ NTU کاهش یافت. می‌توان نتیجه گرفت که بنتونیت به عنوان کمک منعقدکننده کدورت محلول را به طرز قابل توجهی کاهش می‌دهد. حضور بنتونیت در محلول باعث می‌شود تا فلوک‌های تشکیل شده در حضور PAC، به یکدیگر بچسبند و تشکیل لخته‌های درشت‌تر دهند که راحت‌تر و سریعتر ته‌نشین شوند. با توجه به این شرایط و با توجه به شکل ۳، غلظت ۴ mg/L با راندمان حذف ۹۲٪ به عنوان غلظت بهینه PAC در حضور بنتونیت در نظر گرفته شد. بنابراین می‌توان از خاک



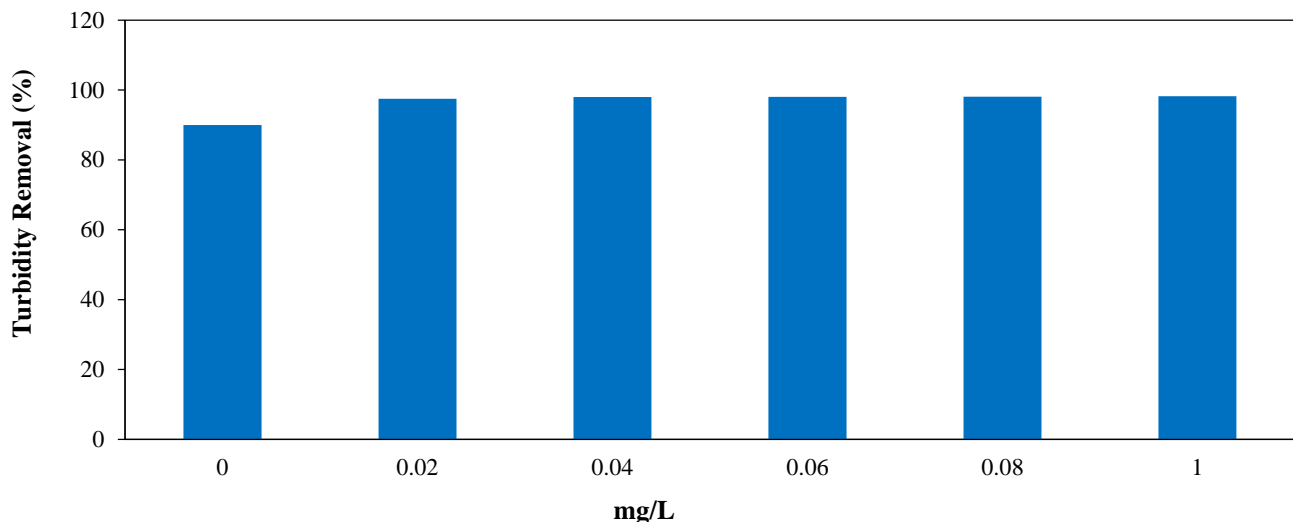
شکل ۴- تعیین غلظت بهینه بنتونیت در حضور PAC با غلظت ثابت ۴ mg/L

نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد افزایش پلی‌الکترولیت اثر زیادی در حذف کدورت داشته است. در بهترین حالت، وقتی که غلظت ماده منعقدکننده ۱۰ mg/L و غلظت کمک منعقدکننده ۰/۰۲ mg/L باشد، بالاترین درصد حذف ذرات معلق و کاهش کدورت اتفاق می‌افتد. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت پلی‌الکترولیت از ۰/۰۲ تا ۱ mg/L میزان حذف ذرات معلق موجود در آب به ۹۸٪ می‌رسید. دلیل این رفتار این است که ماده کمک منعقدکننده دارای بار مثبت بوده و ذرات کلوییدی با بار منفی را جذب کرده و در نهایت تشکیل فلوک با بار خنثی می‌دهد. این فلوک‌های تشکیل شده درشت‌تر بوده و با سرعت بالاتری ته‌نشین می‌شوند. افزایش بیشتر کمک منعقدکننده در غلظت بالاتر از ۱ mg/L باعث بار مثبت اضافی محلول شده و در نتیجه کدورت محلول افزایش می‌یابد.

همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، با افزایش غلظت بنتونیت راندمان حذف کدورت افزایش یافته است ولی با توجه به نزدیکی مقادیر راندمان از غلظت ۲۰ mg/L به بعد و با در نظر گرفتن کاهش هزینه، غلظت بهینه بنتونیت ۲۰ mg/L در نظر گرفته شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که افزایش بنتونیت در محیط قلیایی (pH=۸) باعث هیدرولیز آن شده و مواد حاصل از هیدرولیز در حضور PAC باعث تشکیل فلوک‌های بزرگ‌تر و با سرعت ته‌نشینی بالاتر می‌شود.

۴-۳- تعیین غلظت بهینه پلی‌الکترولیت به عنوان کمک منعقدکننده

در این مرحله از تحقیق، در حضور PAC از کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت به منظور کاهش کدورت آب ورودی استفاده شد.

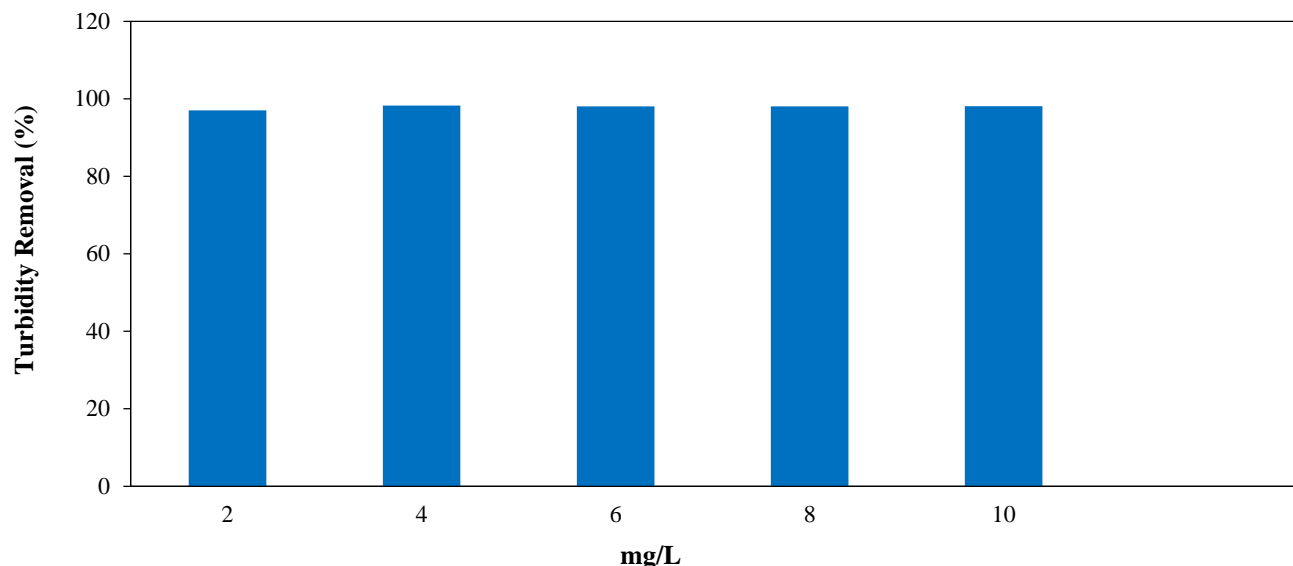


شکل ۵- تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت در حضور PAC با غلظت ثابت ۱۰ mg/L

کمک منعقدکننده ۴ mg/L در نظر گرفته شد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که پلی‌الکترولیت می‌تواند اثر مهمی در حذف کدورت داشته باشد. دلیل این امر آن است که بار مثبت پلی‌الکترولیت باعث خنثی‌سازی محلول شده و ایجاد فلوک‌های درشت‌تر کرده که سریع‌تر ته‌نشین می‌شوند. بنابراین، در مواقع بحرانی می‌توان از پلی‌الکترولیت در کنار PAC استفاده کرد. در این صورت، هم در کاهش هزینه استفاده از PAC و هم اثرات جانبی آن نقش مهمی دارد.

۳-۵- تعیین غلظت بهینه PAC در ترکیب با کمک‌منعقدکننده پلی‌الکترولیت

در این مرحله، تعیین غلظت بهینه PAC در حضور پلی‌الکترولیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد با افزایش غلظت PAC تا ۴ mg/l راندمان حذف کدورت افزایش یافته و با افزایش مقدار بیشتری از PAC تأثیر زیادی در کاهش کدورت آب ورودی نداشت. بنابراین غلظت بهینه PAC در این مرحله و در حضور

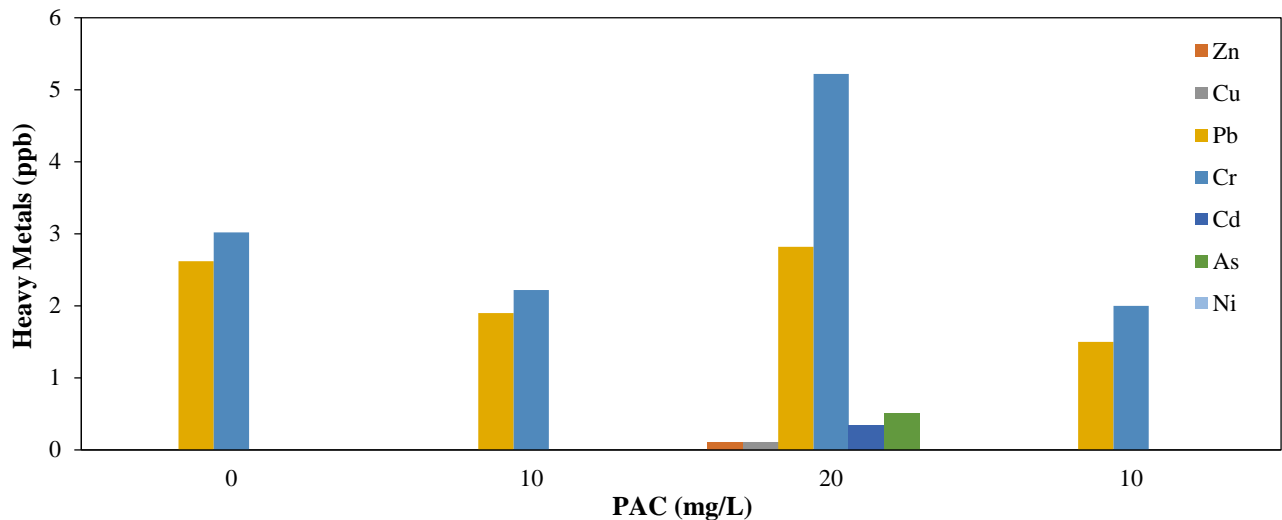


شکل ۶- تعیین غلظت بهینه PAC در ترکیب با پلی‌الکترولیت به‌عنوان کمک منعقدکننده

سنگین ورودی تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش از تحقیق در شکل ۷ نمایش داده شده است.

۳-۶- اثر PAC و کمک منعقدکننده در میزان حذف بعضی از فلزات سنگین ورودی تصفیه‌خانه

در این مرحله، اثر PAC و کمک منعقدکننده در حذف فلزات



شکل ۷- غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده قبل و بعد از اضافه کردن PAC و پلی‌الکترولیت

آب ورودی اضافه شد. نتایج نشان داد که در این مرحله غلظت فلزات سنگین به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافت. بنابراین از پلی‌الکترولیت در حد خیلی کم می‌توان برای کاهش غلظت فلزات سنگین آب ورودی استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود که برای برآورد کردن غلظت بهینه پلی‌الکترولیت و حتی بنتونیت تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود. در جدول ۲ حد مجاز فلزات سنگین مورد استفاده با توجه به استاندارد آب آشامیدنی ایران (۱۰۵۳) نشان داده شده است.

نتایج نشان داد که در مرحله اول با شروع اضافه کردن PAC تا حدی، غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه کاهش یافت ولی پس از اضافه کردن بیشتر PAC، تأثیر زیادی در حذف فلزات وجود نداشت. با توجه به این که PAC از فلزات سنگین تشکیل شده است، بنابراین تا حد معینی، می‌تواند در کاهش غلظت فلزات آب ورودی موثر باشد. بنابراین غلظت بهینه برای PAC، ۱۰ mg/L در نظر گرفته شد. در بخش بعدی تحقیق، در حضور PAC با غلظت بهینه ۱۰ mg/L، پلی‌الکترولیت با غلظت ۰/۰۲ mg/L به

جدول ۱- نتایج غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده قبل و بعد از اضافه کردن PAC و پلی‌الکترولیت بر حسب (mg/L)

ارسنیک	نیکل	کادمیم	کرم	سرب	مس	روی	[PAC]، [پلی‌الکترولیت]
< LOD	< LOD	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۶	< LOD	< LOD	۰،۰
< LOD	< LOD	< LOD	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۹	< LOD	< LOD	۰،۱۰
۰/۵	۰/۳۴	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۲۸	۰/۱	۰/۱	۰،۲۰
< LOD	< LOD	< LOD	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۵	< LOD	< LOD	۰/۰۲، ۱۰

۴- نتیجه‌گیری

پلی‌آلومینیوم کلراید با غلظت ۱۰ mg/L به‌عنوان منعقدکننده مناسب در آب‌های با کدورت پایین می‌تواند استفاده شود. با افزایش کدورت آب ورودی، مواد کمک منعقدکننده بنتونیت با غلظت ۲۰ mg/L و پلی‌الکترولیت با غلظت ۰/۰۲ mg/L می‌توانند هر کدام به‌عنوان گزینه مناسب برای حذف ذرات معلق و کاهش کدورت آب ورودی تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار بگیرند. با استفاده از این مواد، مقدار PAC کمتری مورد استفاده قرار گرفته، بنابراین اثرات جانبی استفاده PAC کمتر شده و از طرفی در کاهش هزینه بسیار موثر است. نیاز است که در مورد کاربرد

یادآوری می‌شود که در جدول ۱، حد تشخیص^۴ هر پارامتر اندازه‌گیری شده با LOD نشان داده شده است.

جدول ۲- حد مجاز فلزات سنگین مورد استفاده در استاندارد ۱۰۵۳

نام فلز	حد مجاز (mg/L)
روی	----
مس	۲
سرب	۰/۰۱
کرم	۰/۰۵
کادمیم	۰/۰۰۳
نیکل	۰/۰۷
ارسنیک	۰/۰۱

- turbid water”, *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 16(11), 82-88.
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., and Singh, V., (2006), “Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions”, *Journal of Environmental Management*, 81(1), 36-41.
- Shen, Y.H., (2005), “Treatment of low turbidity water by sweep coagulation using bentonite”, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology: International Research in Process, Environmental and Clean Technology*, 80(5), 581-586.
- Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Hormozi Nejad, M., and AhmadiMoghadam, M., (2012), “Comparison of lime and bentonite efficiency in orthophosphate removal from influent of secondary clarifier in west wastewater treatment plant of Ahvaz”, *Journal of Health*, 4(1), 68-76.
- Wu, Z., Zhang, X., Pang, J., Li, J., Li, J., and Zhang, P., (2020), “High-poly-aluminum chloride sulfate coagulants and their coagulation performances for removal of humic acid”, *Royal Society of Chemistry Advances*, 12(10), 7155-7162.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

غلظت‌های مختلف PAC و بنتونیت و پلی‌الکترولیت در آب‌های با کدورت متفاوت تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Poly Aluminium Chloride (PAC)
- 2- Bentonite
- 3- Polyelectrolyte
- 4- Limit of Detection (LOD)

۶- مراجع

- بینا، ب.، شاهسونی، ع.، عسگری، غ.، و حسن زاده، ع.، (۱۳۸۶)، "مقایسه کارایی عصاره دانه مورینگا اولیفرآ و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۱۸(۱)، ۲۴-۳۳.
- ترابیان، ع.، و شاهوی، ش.، (۱۳۹۶)، "بررسی و مقایسه استانداردهای کیفی آب شرب ایران و استانداردهای معتبر جهانی"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران*، ۲(۲)، ۱۳-۳.
- شایسته، ک.، کوهی، ب.، حسنونند، ح.، و یاری، و.، (۱۳۹۱)، "بررسی تأثیر پارامترهای موثر بر فرآیند انعقاد"، *چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران*، تهران، ایران.
- عروجی، ن.، تکدستان، ا.، کارگری، ع.، و رئیسی، غ.، (۱۳۹۱)، "کارایی کیتوزان به همراه پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب ورودی به تصفیه‌خانه اهواز"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۳(۴)، ۷۰-۷۷.
- Asrafuzzaman, M.D., Fakhruddin, A.N.M., and Alamgir, H., (2011), “Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants”, *International Scholarly Research Network*, Vol. 2011, Article ID. 632189, 6.
- Daryabeigi Zand, A., and Hoveidi, H., (2015), “Comparing Aluminium Sulfate and Poly-Aluminium Chloride (PAC) performance in turbidity removal from synthetic water”, *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 2(3), 287-292.
- Kaggwa, R.C., Mulalelo, C.I., Denny, P., and Okurut, T.O., (2001), “The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda”, *Water Research*, 35(3), 795-807.
- Kawamura, S., (1991), “Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment”, *Journal of the American Water Works Association*, 83(10), 88-91.
- Mehdinejad, M.H., Alimohammadi, N., Arbabmojeni, N., Soltani, A., and Amanbaei, A., (1393), “Residual Aluminum from application of Alum and Polyaluminum Chloride in removal of turbidity from