

کاربرد پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب تهران - مطالعه

موردی تصفیه خانه آب جلالیه

سید محمد رضا علوی مقدم^۱، آوید بنی هاشمی^۲، رضا مکنون^۳ و منوچهر نیک آذر^۴

چکیده

هدف از این بررسی، مقایسه ماده منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید (PACI) با کلراید فریک، بهینه سازی فرآیند و بررسی استفاده توأم آن با بنتونیت بر بازدهی کدورت و همچنین بررسی میزان آلومینیوم باقیمانده با مصرف PACI در مقایسه با آلوم در آب خام تهران، بوده است. در این راستا، نمونه هایی از آب خام ورودی به تصفیه خانه آب جلالیه تهران برداشته شد. در فاز اول با آزمایش جار، غلظتهای بهینه دو ماده منعقد کننده کلراید فریک و پلی آلومینیوم کلراید مقایسه شد. غلظت بهینه برای حذف کدورت، برای کلراید فریک ۴۰ mg/L و برای PACI ۳۵ mg/L بدست آمد. در فاز دوم، با اضافه کردن بنتونیت (به میزان ۲۰ میلی گرم بر لیتر)، غلظت بهینه برای کاربرد کلراید فریک و PACI به ترتیب به ۲۵ mg/L و ۱۵ mg/L کاهش یافت. نتایج حاصل از فاز سوم نشان داد که غلظت یون آلومینیوم باقیمانده در آب با مصرف PACI، در مقایسه با آلوم، کاهش یافته و به حدود استاندارد مجاز (۰/۲ mg/L) نزدیکتر است.

کلمات کلیدی: پلی آلومینیوم کلراید (PACI)، کلراید فریک، آلوم، آلومینیوم باقیمانده، آب شرب تهران، تصفیه آب

۱- مقدمه

اندازه ذرات کلوئیدی موجود در آب بین ۱ تا ۰/۰۰۱ میکرون می باشد. این در حالی است که سرعت ته نشینی خود به خود ذره های با قطر ۰/۱ میکرون، حدود ۳ متر در یک میلیون سال است. لذا فرآیند صاف سازی آب بدون استفاده از موادی که سرعت ته نشینی ذرات کلوئید را افزایش دهند، غیر ممکن می نماید [۲].

پیشینه استفاده از مواد منعقد کننده بسیار کهن بوده و به استفاده مصریان از آلوم در ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد باز می گردد [۳]. حاصل تحولات طی سالهای متمادی این بود که عمل انعقاد به عنوان پیش فرآیندی که فیلتراسیون را کامل خواهد کرد شناخته شد. معمولاً نمک های فلزی نظیر آلوم، سولفات فریک، سولفات فرو، کلراید فریک، پلی مرهای آلی آنیونی، کاتیونی و غیر یونی، از جمله مواد منعقد کننده می باشند و از کمک منعقد کننده ها می توان به سیلیکات سدیم، کربنات کلسیم، بنتونیت و آلومینات سدیم اشاره نمود [۲].

این در حالی است که در سال های اخیر استفاده از

منابع آب طبیعی اغلب حاوی ناخالصیهای محلول و معلق متعددی می باشند. ذرات درشت معلق در آب، مانند شن و ماسه به صورت واحد های کوچک مجزا به سادگی در فرآیندهای فیلتراسیون و ته نشینی از آب حذف می گردند. ذرات ریزتر که اصطلاحاً کلوئید نامیده می شوند، تنها پس از عملیات انعقاد و لخته سازی قابل حذف می باشند. طی این عملیات ذرات ریز کلوئیدی به تدریج به هم چسبیده و ذرات درشت تر تشکیل می دهند [۱].

مقاله در تاریخ ۸۷/۲/۲۳ دریافت شده و در ۸۷/۹/۱۱ به تصویب نهایی رسیده است.

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر - پست الکترونیکی: alavi@aut.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد، محیط زیست دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی

امیرکبیر

^۴ استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

آلوم در آب خام تهران، به عنوان منبع تأمین آب شرب شهری بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این بررسی، نمونه‌های مورد نیاز در طول مدت انجام طرح از آب خام ورودی تصفیه خانه جلالیه تهران برداشته شد. بر روی نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه، آزمایش‌های زیر به ترتیب اعمال گردید:

- ۱- تعیین میزان PH و کدورت اولیه نمونه‌ها
- ۲- فاز ۱: آزمایش جار بر روی نمونه‌های آب خام با هر یک از منعقد کننده های کلرید فریک و PACI به تنهایی انجام گرفت و غلظت بهینه هر یک از این مواد در حذف کدورت، به دست آمد. در این آزمایش‌ها برای تعیین غلظت بهینه برای کلرید فریک و PACI از غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد.
- ۳- فاز ۲: آزمایش جار بر روی نمونه‌های آب خام با هر یک از منعقد کننده‌های کلرید فریک و PACI به همراه ۲۰ میلی گرم بر لیتر بنتونیت انجام گرفت و غلظت بهینه هر یک از این مواد در حذف کدورت، به دست آمد. در این آزمایش‌ها، برای تعیین غلظت بهینه برای کلرید فریک و PACI از غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد.

۴- فاز ۳: تعیین میزان غلظت اولیه و ثانویه یون آلومینیوم در نمونه‌ها، با بکارگیری PACI و آلوم بدون افزودن بنتونیت.

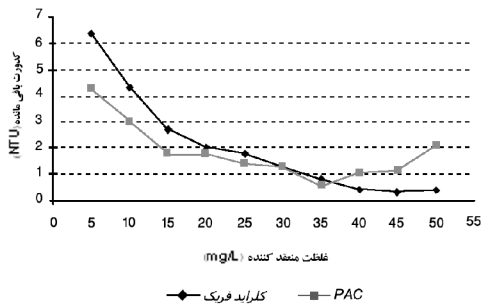
برای انجام آزمایش جار از دستگاه شش خانه‌ای ساخت شرکت زاک شیمی استفاده گردید. میزان سرعت اختلاط تند و سرعت اختلاط کند به ترتیب ۱۲۰ دور بر دقیقه به مدت ۱ دقیقه و ۴۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه، و زمان ته نشینی برابر ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای تعیین کدورت نمونه‌ها از دستگاه کدورت سنج Hach1200 و برای اندازه گیری میزان PH از PH متر موجود در آزمایشگاه استفاده گردید. همچنین برای اندازه گیری غلظت یون آلومینیوم، از دستگاه اسپکتروفوتومتر Hach 2100N (دستورالعمل شماره ۱۲۸۰) استفاده شد [۱۴]. جهت بالا بردن دقت و صحت آزمایش‌ها، کلیه آزمایش‌ها در سه فاز یاد شده، دو بار تکرار گردید.

نمک‌های پلیمری آلومینیوم با موفقیت‌های قابل توجهی مواجه گردیده است [۴]. به گونه‌ای که هم اکنون PACI یا پلی آلومینیوم کلراید اکنون در کشورهای نظیر آمریکا، کانادا، چین، ایتالیا، فرانسه و انگلستان و به تازگی در تصفیه خانه بابا شیخ علی اصفهان در ایران کاربرد پیدا کرده است [۳]. پلی آلومینیوم کلراید از لحاظ ترکیب، یک ماکرو ملکول معدنی است که منومرهای آن یک کمپلکس دو هسته ای از آلومینیوم می‌باشد. این ترکیب در غلظت‌های پایین در محیط آبی تشکیل کمپلکس‌های چند هسته‌ای می‌دهد که همین خاصیت باعث توانایی منحصر به فرد آن در فرآیند انعقاد و لخته سازی گردیده است.

عملکرد نمک‌های فلزی غیرآلی، ناپایدار سازی ذرات است که به واسطه فشردگی لایه مضاعف الکتریکی در اطراف ذره کلونیدی رخ می‌دهد. حال آنکه پلیمرها، عملیات ناپایدار سازی را از طریق جذب در سطح ذره کلونیدی و ایجاد پلهای اتصالی ذره- پلیمر- ذره، انجام می‌دهند [۵]. بنابراین از نمک‌های پلیمری فلزی نظیر PACI، با توجه به کارایی‌های فوق الذکر می‌توان هر دو عملکرد ناپایدار سازی فوق را به صورت توأم انتظار داشت، که مسلماً پیشرفت، بهبود و سرعت بخشی عملیات ناپایدار سازی ذره‌ای و در نتیجه رشد سریعتر ذرات و نهایتاً بهبود جدا سازی را به دنبال خواهد داشت.

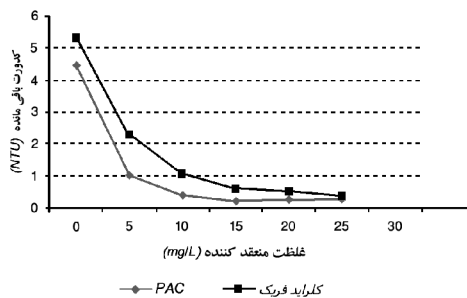
از میان نمک‌های فلزی منعقد کننده، آلوم به عنوان قدیمی‌ترین و معمول‌ترین منعقد کننده کاربرد فراوانی داشته است. اما با انحلال این نمک فلزی، مقادیری یون آلومینیوم به آب آشامیدنی وارد می‌شود. این در حالی است که در سال‌های اخیر مصرف خوراکی آلومینیوم در آب، مشکوک به عامل تقویت کننده ریسک ابتلا به آلزایمر شناخته شده است [۶-۸].

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در خصوص مکانیزم عملکرد، کاربرد PACI و مقایسه آن با سایر مواد منعقد کننده برای حذف کدورت و سایر آلاینده‌ها در صنعت تصفیه آب و فاضلاب انجام پذیرفته است [۲ و ۹-۱۳]. هدف از این بررسی مقایسه ماده منعقد کننده PACI با کلرید فریک، بهینه سازی شرایط کاربرد و بررسی استفاده توأم آنها با بنتونیت برای حذف کدورت و همچنین بررسی میزان آلومینیوم باقیمانده با مصرف PACI در مقایسه با



نمودار ۲ مقایسه قدرت حذف کدورت کلراید فریک و PAC

نتایج حاصل از افزودن بنتونیت به میزان ۲۰ mg/L به عنوان ماده کمک منعقد کننده در نمودار (۳) آمده است. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزودن بنتونیت به نمونه‌ها در همان غلظت‌های پیشین، حذف کدورت بهینه در پایین تر از هر دو ماده منعقد کننده اتفاق می‌افتد. در این حالت غلظت بهینه، با کاربرد کلراید فریک به ۱۵ mg/L و با کاربرد PAC به ۱۵ mg/L کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که با صرف ۲۵ mg/L کلراید فریک، کدورت از حدود ۱۱ NTU به ۰/۳۸ NTU و با صرف ۱۵ mg/L پلی آلومینیوم کلراید، به ۰/۲۱ NTU کاهش یافت.



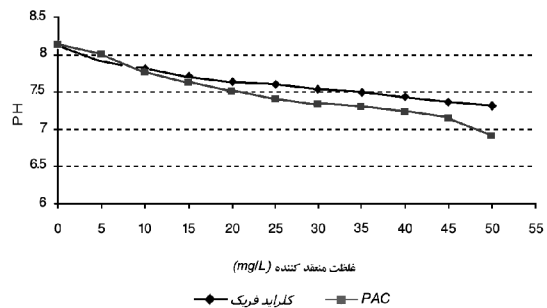
نمودار ۳ مقایسه قدرت حذف کدورت کلراید فریک و PAC به همراه بنتونیت

جدول (۱)، خلاصه نتایج به دست آمده در دو فاز را در این بررسی نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی‌ها در فازهای ۱ و ۲ بیانگر غلظت بهینه مواد منعقد کننده کلراید فریک و PAC در حذف کدورت، به تنهایی و سپس با کاربرد کمک منعقد کننده بنتونیت همراه هر یک از مواد فوق بود. در نمودار (۱) تغییرات PH با غلظت PAC و کلراید فریک نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود کلراید فریک با کاهش PH بیشتری همراه است، اگرچه کاهش PH به گونه‌ای نیست که در محدوده‌ای خارج از استاندارد آب آشامیدنی قرار گیرد.

نمودار (۲) تغییرات حذف کدورت با تغییرات غلظت دو ماده کلراید فریک و PAC مشاهده می‌شود. غلظت ماده کلراید فریک ۴۰ mg/L و برای کلراید فریک ۳۵ mg/L بر روی نمودار به دست آمد. در اکثر غلظت‌ها میزان حذف کدورت توسط PAC بیش از کلراید فریک بوده است.



نمودار ۱ مقایسه افت PH در حذف کدورت با کلراید فریک و PAC

در این غلظت‌های بهینه، میزان کدورت‌های ثانویه مورد قبول حاصل گردید، به گونه‌ای که با صرف ۴۰ mg/L کلراید فریک، کدورت از حدود ۱۱ NTU به ۰/۴۲ NTU و با صرف ۳۵ mg/L پلی آلومینیوم کلراید، به ۰/۵۶ NTU کاهش یافت.

جدول ۱ خلاصه نتایج آزمایشهای تأثیر مواد منعقد کننده در غلظت بهینه در حذف کدورت

میانگین PH ثانویه	میانگین PH اولیه	میانگین درصد حذف کدورت	میانگین مقدار اولیه کدورت	غلظت بهینه mg/L	
۷/۲۴	۸/۱۲	۹۶/۲۵	۱۱/۲	۴۰	کلراید فریک
۷/۵۴	۸/۱۲	۹۵	۱۱/۲	۳۵	PACI
۷/۴۱	۸/۱۲	۹۶/۶۱	۱۱/۲	۲۵	کلراید فریک + بنتونیت
۷/۷۱	۸/۱۲	۹۸/۱۲	۱۱/۲	۱۵	PACI + بنتونیت

غلظت یون آلومینیوم در آب خام ورودی تصفیه خانه حدود 1 mg/L بوده است. مشاهده می شود که با افزودن آلوم و PACI به عنوان منعقد کننده، همواره در غلظتهای برابر، میزان یون آلومینیوم باقیمانده در نمونه های PACI کمتر از نمونه های آلوم است. همانطور که مشاهده می شود، غلظت یون آلومینیوم باقیمانده در آب با مصرف PACI، در مقایسه با آلوم، به حدود استاندارد مجاز (0.2 mg/L) نزدیک تر است [۱۵].

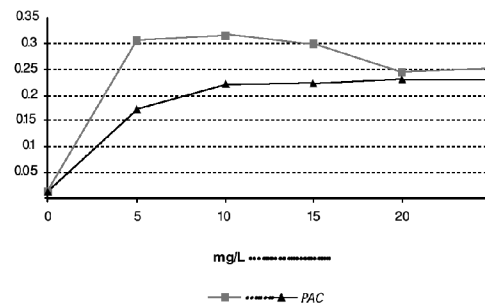
۴- نتیجه گیری

در تصفیه خانه های آب، فرآیند انعقاد جایگاه ویژه ای داشته و همواره تلاش بر این بوده است تا در عین صرف هزینه های کم، راندمان بالایی در این بخش از تصفیه آب به دست آید. این تحقیق با هدف بررسی مقایسه ماده منعقد کننده PACI با کلراید فریک، بهینه سازی شرایط کاربرد و بررسی استفاده توأم آن با بنتونیت برای حذف کدورت از آب خام تهران به عنوان منبع تأمین آب شرب شهری، صورت گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

۱. در فاز اول، پس از اندازه گیری کدورت های اولیه و PH، با آزمایش جار، غلظت های بهینه دو ماده منعقد کننده کلراید فریک و پلی آلومینیوم کلراید، و میزان کدورت و PH ثانویه به دست آمد. مقایسه صورت گرفته نشان از افت PH کمتر با کاربرد پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلراید فریک داشت. بر اساس نتایج حاصل از این مرحله، غلظت بهینه برای حذف کدورت، برای کلراید فریک 40 mg/L و برای PACI 35 mg/L به دست آمد.

مطابق جدول ۱ مشاهده می شود که در فاز اول با کاربرد هر دو منعقد کننده کلراید فریک و PACI (بدون افزودن ماده منعقد کننده)، درصد حذف در نقاط بهینه برای این دو ماده به ترتیب $96/25\%$ و 95% بوده است. در فاز دوم با کاربرد این دو منعقد کننده به همراه 20 mg/L بنتونیت، در نقطه بهینه برای حذف کدورت، درصد حذف با کلراید فریک بدون تغییر قابل توجه و با PACI بهبود یافته است، به طوری که درصد حذف در نقاط بهینه برای این دو ماده به ترتیب $96/61\%$ و $98/12\%$ بوده است. لازم به ذکر است که کدورت کمتر از 0.5 NTU مطلوب آخرین استانداردهای EPA برای آب آشامیدنی می باشد [۱۵].

نتایج حاصل از فاز ۳ در نمودار (۴) آمده است. این نمودار میزان غلظت باقیمانده یون آلومینیوم را پس از مصرف هر یک از دو منعقد کننده آلوم و پلی آلومینیوم کلراید را نشان می دهد.



نمودار ۴ مقایسه غلظت باقیمانده یون آلومینیوم پس از مصرف آلوم و PACI

- PACI ۳۵ mg/L به دست آمد.
۲. در فاز دوم، با اضافه کردن بنتونیت عملیات حذف کدورت به طور چشمگیری بهبود یافت. با اضافه کردن بنتونیت (به میزان ۲۰ میلی گرم بر لیتر)، غلظت بهینه برای کاربرد کلراید فریک و PACI به ترتیب به ۲۵ mg/L و ۱۵ mg/L کاهش یافت.
۳. در فاز سوم، مقادیر مساوی آلوم و PACI به نمونه‌های آب خام اضافه گردیده و آزمایش جار انجام شد. با مقایسه غلظت‌های یون آلومینیوم باقیمانده در نمونه آب خام با نمونه‌ها پس از پایان زمان ته نشینی، مشاهده شد که با کاربرد PACI، غلظت یون آلومینیوم باقیمانده نسبت به کاربرد آلوم کاهش یافت.
- پیشنهاد می‌شود به کارگیری PACI در ماه‌های مختلف سال که آب ورودی به تصفیه خانه دارای کدورت و کیفیت متفاوتی است مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود استفاده از این ماده منعقد کننده از لحاظ اقتصادی نیز با سایر منعقد کننده‌های متداول مقایسه گردد.
- مراجع**
- [1] Qasim S.R., Motley E.M. and Zhu G., *Water Works Engineering*. Prentice-hall, Inc., 2004.
- [2] Shamansouri M.R. and Neshat A.A., "Comparison of PAC, Alum and Ferric Chloride in TOC and total coliform removal", *Journal of Water and Wastewater, Iran*. Vol.48, 2003, pp. 39-44.
- [3] HDR Engineering, Inc.; *Handbook of Public Water Systems*. John Wiley & sons, Inc.; 1991.
- [4] Shen Y.H. and Dempsey B.A., "Synthesis and Speciation of Polyaluminum Chloride for Water Treatment", *Environment International*, Vol. 24, 1998, pp. 899-910.
- [5] LaMer V.K. and Healy T.W., "Adsorption-Flocculation Reactions of Micromolecules at the Solid-Liquid Interface", *Rev.Pure App.Chem*. Vol. 13, 1963, pp. 112-132.
- [6] Srinivasan P.T. and Viraraghavan T., "Characterization and Concentration Profile of Aluminum During Drinking Water Treatment " *Water SA*, Vol. 28, No.1, 2002, pp. 99-106.
- [7] Flaten T.P., "Aluminium as a Risk Factor in Alzheimer's Disease, with Emphasis on Drinking Water ", *Brain Research Bulletin*, Vol. 55, No. 2, 2001, pp. 187-196.
- [8] Gauthier E., Fortier I., Courchesne F., Pepin P., Mortimer J. and Gauvreau D., "Aluminum Forms in Drinking Water and Risk of Alzheimer's Disease", *Environmental Research Section A*, Vol. 84, 2000, pp. 234-246.
- [9] Benschoten J.E. and Edzwald J.K., "Chemical Aspects of Coagulation Using Aluminum Salt-I: Hydrolytic Reaction of Alum and Polyaluminum Chloride", *Water Research*, Vol. 24, No. 12, 1990, pp.1519-1526.
- [10] Benschoten J.E. and Edzwald J.K., "Chemical Aspects of Coagulation Using Aluminum Salt-I: Coagulation of Fluvic Acid Using Alum and Polyaluminum Chloride", *Water Research*, Vol. 24, No. 12, 1990, pp.1527-1535.
- [11] Ratnaweera H.C., Ødegaard H. and Fettig J., "Coagulation with Prepolymerised Aluminium Salts and Their Influence on Particle and Phosphate Removal", *Water Sci. Technol.*, Vol. 26, 1992, pp.1229-1237.
- [12] Diamadopoulos E. and Vlachos C., "Coagulation-Filtration of a secondary Effluent by Means of Pre-Hydrolyzed Coagulants", *Water Sci. Technol.*, Vol. 33, No. 10, 1996, pp.193-201.
- [13] Kang M., Kamei T. and Magara Y., "Comparing Polyaluminum Chloride and Ferric Chloride for Antimony Removal", *Water Research*, Vol. 37, 2003, pp.4171-4179.
- [14] Hach DR400 spectrophotometer procedure manual, Method No: 8012 for Aluminum, Hach Company, 2003.
- [15] <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>, Access date, 2007.