بررسی مقدار آلومینیوم باقی‌مانده ناشی از انعقاد متداول و پیشرفته با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید (PACL) در آب تصفیه شده

محمد مهدی امین[۱]، حسن هاشمی[۲]، مهدی صفری[۳]، زینب رضایی[۴]

چکیده

مقدمه: پلی‌آلومینیوم کلراید (PACL) یک منعقد کننده معدنی می‌باشد که در سال‌های اخیر کاربرد زیادی جهت حذف رنگ و کدورت در صنعت تصفیه آب پیدا کرده است. در اثر اضافه نمودن مواد منعقد کننده به آب، مقادیری از این مواد در آب حل شده و در آب تصفیه شده نهایی باقی می‌مانند. آلومینیوم یکی از موادی است که در منعقد کننده‌هایی با پایه آلومینیوم (مثل آلوم و PACL) وجود دارد و مقادیر ناچیزی از آن در آب، باعث بروز مشکلات بهداشتی زیادی مانند آلزایمر و آنسفالوپاتی دیالیزی می‌شود. آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) حداکثر غلظت مجاز آلومینیوم در آب آشامیدنی را ۰/۲ mg/l تعیین کرده است. انعقاد پیشرفته به صورت اضافه نمودن ماده منعقد کننده اضافی در جهت حذف مواد آلی طبیعی (Natural organic matter یا NOM)، به عنوان پیش‌سازهای محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) تعریف می‌شود و به عنوان بهترین تکنولوژی در دسترس جهت تصفیه و حذف این مواد استفاده می‌گردد.

روش‌ها: این مطالعه بر روی تصفیه‌خانه آب اصفهان انجام شد و مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در اثر اضافه نمودن PACL در انعقاد متداول و پیشرفته در مقیاس آزمایشگاهی جار تست مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که میانگین آلومینیوم باقی‌مانده در انعقاد پیشرفته بیشتر از انعقاد متداول می‌باشد، ولی مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در این دو مرحله کمتر از حداکثر مجاز توصیه شده توسط EPA می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با به کارگیری فرایند انعقاد پیشرفته به همراه استفاده از PACL، نه تنها اهداف اصلی این فرایند یعنی بالا بردن درصد حذف مواد آلی طبیعی و کدورت، محقق گردید؛ بلکه با چندین برابر کردن مصرف ماده منعقد کننده، مقدار آلومینیوم باقی‌مانده آن کمتر از حداکثر مجاز توصیه شده بود.

واژه‌های کلیدی: انعقاد متداول، انعقاد پیشرفته، آلومینیوم باقی‌مانده، NOM، PACL، DBPs

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۹۱/۱/۱۰ *پذیرش مقاله: ۹۱/۳/۱۳*

مقدمه

یکی از مواد منعقد کننده جدید که به تازگی استفاده زیادی در فرایند انعقاد تصفیه آب پیدا کرده است، پلی‌آلومینیوم کلراید می‌باشد. PACL به گروهی از منعقد کننده‌ها اطلاق می‌شود که در اثر خنثی شدن کلرید آلومینیوم ($AlCL_3$) با برخی از محلول‌های بازی تولید و به عنوان یکی از منعقد کننده‌های

۱- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران (نویسنده مسؤول)

Email: h2_hashemi62@yahoo.com

۳- مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

۴- کارشناس، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

جایگزین استفاده می‌شود (۲، ۱). این ماده یک منعقد کننده قوی و فاقد مواد آلی است (منعقد کننده معدنی) که در کشورهای پیشرفته جهان کاربردهای گسترده‌ای جهت تصفیه و بهسازی منابع آب به منظور جداسازی و استخراج ناخالصی‌ها مثل مواد معلق و آلی، رنگ و بو، چربی، فلزات سنگین و سایر آلودگی‌ها دارد (۴، ۳).

در حال حاضر پلی‌آلومینیوم کلراید در کشورهای ژاپن، آمریکا، کانادا، چین، فرانسه، آلمان و ایتالیا به دلیل عملکرد بهتر و بهداشتی بودن جایگزین آلوم و کلرور آهن شده است (۵، ۴). PACL به دلیل داشتن مواد مؤثر بیشتر Al_2O_3 و همچنین بار کاتیونی قوی‌تر (۷+) می‌تواند ۱/۳ آلوم مصرف شود (۶).

در تصفیه آب‌های سطحی، فرایند انعقاد یکی از معمول‌ترین فرایندهایی است که در ابعاد مختلف به کار می‌رود. هدف اصلی از کاربرد فرایند انعقاد، بهبود کارایی حذف ذرات کوچک مولد کدورت در حوضچه ته‌نشینی است که به دنبال آن از فیلتراسیون برای صاف کردن و شفاف کردن آب استفاده می‌شود (۷).

در این فرایند ابتدا ناپایدار سازی ذرات مورد نظر انجام می‌گیرد و حذف کدورت، شاخص کارایی فرایند است، این فرایند انعقاد متداول نامیده می‌شود. در سال‌های اخیر از فرایند انعقاد به طور گسترده برای حذف نه تنها کدورت، بلکه سایر آلاینده‌های آلی و غیر آلی از آب خام استفاده شده است. این اهداف با کاربرد فرایند انعقاد پیشرفته قابل دستیابی هستند (۸).

انعقاد پیشرفته توسط سازمان حفاظت محیط زیست (EPA) با کاربرد مواد منعقد کننده اضافی (نسبت به انعقاد متداول) برای بهبود حذف کل کربن آلی (TOC) تعریف شده است. این فرایند چندین سال به عنوان یک روش عملی برای حذف رنگ از آب خام با آلودگی مواد آلی طبیعی (NOM) مثل اسید هیومیک و تانین استفاده می‌شد.

حذف مواد آلی طبیعی آب‌دوست به وسیله انعقاد و لخته سازی و با استفاده از نمک‌های فریک و آلومینیوم ممکن می‌شود (۸، ۷). یکی از جنبه‌های منفی انعقاد متداول و پیشرفته با استفاده از منعقد کننده‌هایی که پایه آلومینیوم دارند، تولید آلومینیوم محلول باقی‌مانده در آب است (۸). وجود آلومینیوم در آب باعث ایجاد بیماری آلزایمر می‌شود. نتایج فعلی به دست آمده این نظرات را تأکید کرده است (۶).

آنسفالوپاتی دیالیزی مرتبط با وجود مقادیری از آلومینیوم در بافت مغز است. در دهه ۱۹۷۰ جنون پیش رونده‌ای در بیماران دیالیزی مشاهده شد که علایم آن به طور مثبتی با غلظت آلومینیوم در آب شهرهای کشور انگلستان و همچنین شیکاگو و دنور در اواخر آن دهه مرتبط بود. استفاده از سولفات آلومینیوم و PACL به عنوان منعقد کننده، موجب باقی گذاردن آلومینیوم در آب شرب می‌گردد. باقی‌مانده آلومینیوم در آب برای بیماران کلیوی یا افرادی که عمل دیالیز انجام می‌دهند، ایجاد سمیت می‌نماید (۹). حداکثر غلظت آلومینیوم در آب آشامیدنی ۰/۲ mg/lit توصیه شده است (۷).

با توجه به اثراتی که غلظت بیش از حد مجاز آلومینیوم می‌تواند بر انسان داشته باشد، باید مقدار باقی‌مانده آن در آب بعد از فرایندهای تصفیه کنترل شود.

این مطالعه با هدف بررسی میزان آلومینیوم باقی‌مانده در اثر اضافه نمودن ماده منعقد کننده پلی‌آلومینیوم کلراید در دو فرایند انعقاد متداول و پیشرفته در آب و در مقیاس آزمایشگاهی جار تست انجام شد. بنابراین با توجه به کاربرد زیاد این منعقد کننده‌ها در ایران و به خصوص کاربرد PACL در تصفیه‌خانه آب اصفهان و همچنین با توجه به اهمیت حذف مواد آلی به وسیله کاربرد تکنولوژی انعقاد پیشرفته، بررسی مقدار آلومینیوم باقی ناشی از انعقاد ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌ها

مطالعه حاضر به صورت مقطعی و به مدت چهار فصل در تصفیه‌خانه آب اصفهان (باباشیخ‌علی) انجام گردید. تعداد ۴ نمونه به صورت ماهانه و در مجموع ۴۸ نمونه در سال برداشت گردید و شاخص‌های آلومینیوم، UV_{254}، قلیایی بودن، کدورت، EC و pH بر اساس کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب (کتاب استاندارد متد ۲۰۰۵) سنجیده شد. ماده منعقد کننده مورد استفاده در این مطالعه پلی‌آلومینیوم کلراید (ماده منعقد کننده مورد استفاده در تصفیه‌خانه آب اصفهان) بود.

www.mui.ac.ir

برای اندازه‌گیری مقدار آلومینیوم باقی‌مانده از روش آلومین (آلوور)، به شماره ۸۰۱۲ شرکت تجاری HACH استفاده شد. این تکنیک یک روش رنگ‌سنجی می‌باشد که با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-۵۰۰۰ تخمینی از مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در محلول ارایه می‌نماید. دستور کار مورد استفاده جهت اندازه‌گیری آلومینیوم، همان روش استاندارد موجود در کاتالوگ دستگاه DR-۵۰۰۰ می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان غلظت آلومینیوم بین ۰/۸ تا ۰/۰۰۸ میلی‌گرم بر لیتر را اندازه‌گیری نمود. مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در نمونه با آماده سازی آن طبق روش استاندارد و خواندن مقدار آن از روی دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۳).

جذب اشعه ماوراء بنفش با طول موج ۲۵۴ نانومتر یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری مواد آلی در آب می‌باشد و تخمینی از میزان مواد آلی موجود در آب را نشان می‌دهد. این روش در کتاب استاندارد متد سال ۲۰۰۵ هم آمده است (روش ۵۹۱۰B). روش مورد استفاده در این تحقیق روش شماره ۱۰۰۵۴ بود که توسط شرکت تجاری HACH ارایه شده است.

ابتدا نمونه‌ها توسط یک فیلتر ۰/۴۵µ صاف شدند. اندازه‌گیری نمونه‌ها با ریختن نمونه در سل‌های مخصوص کوارتزی (سل‌های ۱ سانتی‌متری) و قرار دادن آن در داخل دستگاه اسپکتروفتومتر DR-۵۰۰۰ از طریق خواندن مستقیم انجام گرفت.

کدورت نمونه‌ها بلافاصله بعد از نمونه‌برداری در آزمایشگاه تصفیه‌خانه با استفاده از کدورت‌سنج HACH مدل ۲۱۰۰P مورد تجزیه قرار گرفت. میزان قلیایی بودن نمونه‌های جمع‌آوری شده بر اساس روش تیتراسیون و با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال انجام شد. اندازه‌گیری pH به وسیله دستگاه pH متر EUTECH مدل ۳۱۰ (۶) و هدایت الکتریکی به روش الکترومتری با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج دیجیتالی مدل HACH مدل Sension۷ انجام گردید.

یافته‌ها

میانگین یافته‌های حاصل از آزمایش‌های جار و نمونه‌های آب تصفیه‌خانه اصفهان در جدول ۱ آمده است. این نتایج و میانگین‌ها هر کدام از دو سری متوالی جار تست برای هر یک از مراحل مختلف آزمایش به دست آمده‌اند. به علاوه نمونه‌های مختلفی نیز در طول انجام کار از آب خام و بعد از ته‌نشینی تصفیه‌خانه آب اصفهان مورد تجزیه قرار گرفت که میانگین نتایج حاصل در جدول مذکور آمده است.

جدول ۱: میانگین یافته‌های حاصل از آزمایش‌های جار و نمونه‌های آب تصفیه‌خانه اصفهان

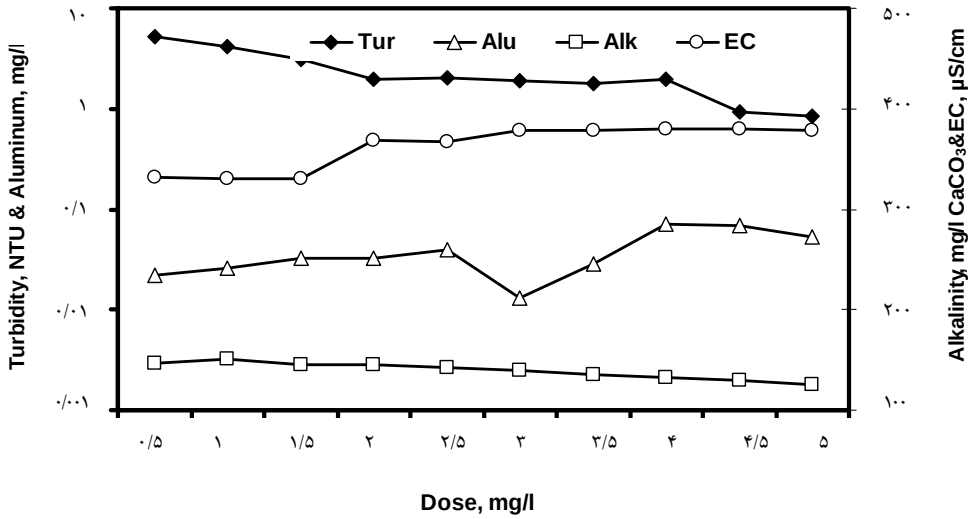
		pH	دوز ماده منعقد کننده mg/l	کدورت باقی‌مانده، (NTU)	قلیایی بودن (l/mg) $CaCo_3$	µS/cm² EC,()	آلومینیوم باقی‌مانده mg/l	(l/cm) UV_{254}
جار تست	انعقاد متداول	ثابت (۷/۵)	متغیر (۰/۵-۵)	۲/۳۸	۱۳۷	۳۶۲/۵	۰/۰۴	۷/۸۶
		متغیر (۴/۵-۹)	ثابت (۲)	۳/۰۲	۱۳۲/۷	۳۴۲/۷	۰/۰۴	۸
	انعقاد پیشرفته	ثابت (۶/۵)	متغیر (۲-۲۰)	۴/۳۸	۱۳۱	۳۷۰	۰/۰۶	۶/۴۵
		متغیر (۴/۵-۹)	متغیر (۲-۲۰)	۴/۱	۱۲۶	۳۶۰	۰/۰۹۷	۶/۱۴
تصفیه‌خانه	آب خام	۷/۵	۰	۱۵	۱۴۵	۳۷۵	۰	۱۲/۰۶
آب اصفهان	آب بعد از ته‌نشینی	۷/۵	۳	۳/۷۳	۱۳۸	۳۸۱	۰/۰۶	۸/۲۴

www.mui.ac.ir

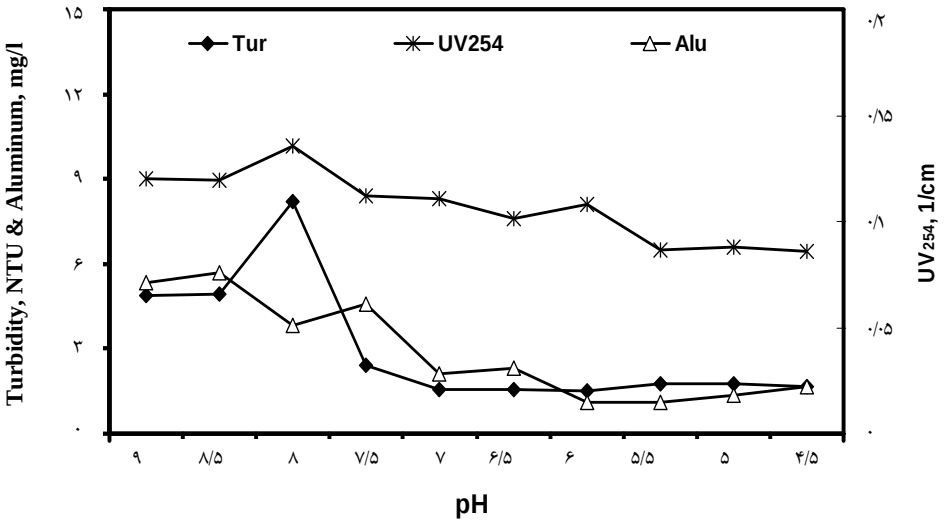
انعقاد متداول در یک مرحله و انعقاد پیشرفته در سه مرحله در جار تست انجام شد. بیشترین مقدار آلومینیوم باقی‌مانده مربوط به انعقاد پیشرفته (با اعمال تغییرات توأم pH و مقدار ماده منعقد کننده) به میزان ۰/۰۹۷ mg/l و کمترین مقدار آلومینیوم باقی‌مانده مربوط به آب خام بود.

بحث

نتایج حاصل از جار تست انعقاد متداول (A)، انعقاد پیشرفته (تغییرات pH) (B)، انعقاد پیشرفته (تغییرات مقدار ماده منعقد کننده) (C)، انعقاد پیشرفته (تغییرات pH و مقدار ماده منعقد کننده) (D) در نمودار ۱ و ۲ آمده است.



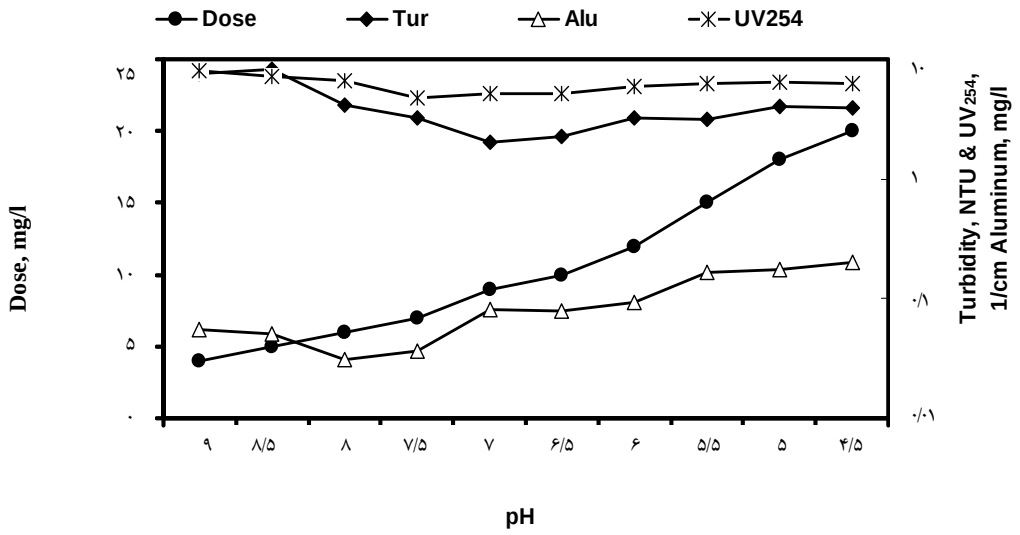
A



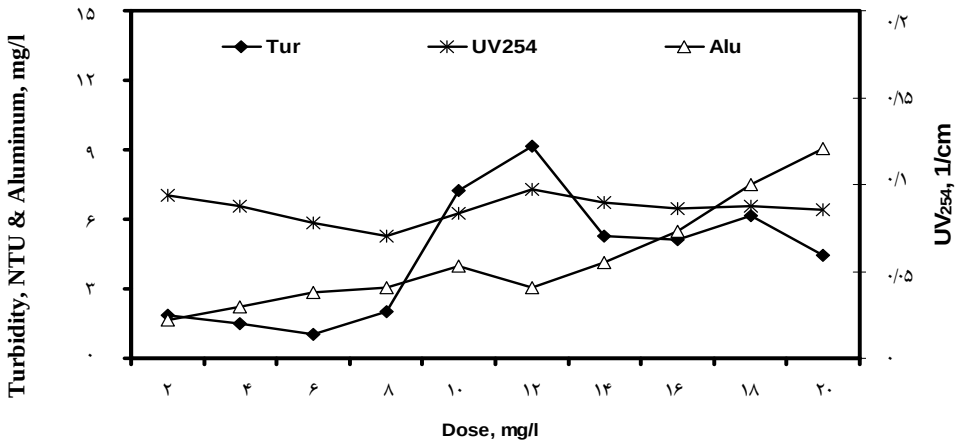
B

نمودار ۱: انعقاد متداول (A) و انعقاد پیشرفته (تغییرات pH) (B)

www.mui.ac.ir

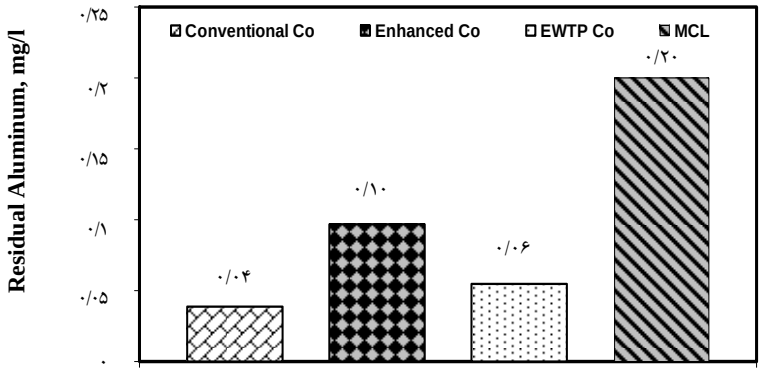


C



D

نمودار ۲: انعقاد پیشرفته (تغییرات مقدار ماده منعقد کننده) (C) و انعقاد پیشرفته (تغییرات pH و مقدار ماده منعقد کننده) (D)



نمودار ۳: مقایسه میانگین مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در فرایندهای انعقاد متداول، پیشرفته و بهینه شده با حداکثر مقدار مجاز (MCL) توصیه شده

www.mui.ac.ir

همان طور که در نمودار ۱ (A) مشاهده می‌شود، در انعقاد متداول با پلی‌آلومینیوم کلراید (PACL) و در pH طبیعی آب با افزایش مقدار ماده منعقد کننده، کدورت و قلیایی بودن کاهش و آلومینیوم باقی‌مانده و هدایت الکتریکی افزایش یافت. بر اساس کتاب کاوامورا کدورت لازم برای ورود آب به صافی‌ها کمتر از NTU ۲ می‌باشد که این کدورت در مقدار ماده منعقد کننده mg/l ۲ حاصل می‌گردد. نمودار ۱ (B) بیان می‌کند که مقادیر کدورت، $UV_{۲۵۴}$ و مقدار آلومینیوم باقی‌مانده کاهش یافت. در نمودار ۲ (C) با افزایش ماده منعقد کننده تا حدود ۸، مقادیر کدورت و $UV_{۲۵۴}$ کاهش و مقدار آلومینیوم افزایش یافت، اما با بیشتر شدن ماده منعقد کننده این پارامترها افزایش داشتند.

در نمودار ۲ (D) با افزایش ماده منعقد کننده و کاهش pH، کدورت و $UV_{۲۵۴}$ کاهش و مقدار آلومینیوم افزایش یافت. میانگین مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در فرایندهای انعقاد متداول، پیشرفته و تصفیه‌خانه آب اصفهان (EWTP) با حداکثر مقدار مجاز (MCL) توصیه شده در نمودار ۳ مقایسه گردید. مشاهده می‌گردد که میانگین مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در فرایند انعقاد پیشرفته بیشتر از انعقاد متداول در جار تست و تصفیه‌خانه بود؛ با این حال این میانگین نصف حداکثر مجاز توصیه شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در انعقاد متداول با پلی‌آلومینیوم کلراید، مقدار ماده منعقد کننده مصرفی بسیار کم بود. کم بودن مقدار مصرف PACL شاید به دلیل خصوصیات این ماده منعقد کننده و همچنین برخی خصوصیات آب خام تصفیه‌خانه اصفهان مثل کدورت پایین و قلیایی بودن بالا باشد.

نتایج دیگر نشان می‌دهد که در انعقاد متداول، چه در تصفیه‌خانه آب اصفهان و چه در مقیاس جار تست مورد بررسی، با توجه به میزان مصرف و خاصیت انحلال PACL، مقدار آلومینیوم باقی‌مانده کمتر از حداقل استاندارد ثانویه آب آشامیدنی توصیه شده توسط EPA (۰/۰۵ mg/l) اندازه‌گیری شد. به علاوه در انعقاد پیشرفته با استفاده از این ماده منعقد، حتی با چندین برابر کردن مقدار ماده منعقد کننده مصرفی، مقدار آلومینیوم باقی‌مانده کمتر از حداکثر مجاز استاندارد ثانویه آب آشامیدنی (توصیه شده توسط EPA = ۰/۲ mg/l) به دست آمد.

می‌توان گفت هر چند که مقدار آلومینیوم باقی‌مانده ناشی از انعقاد پیشرفته با استفاده از PACL بیشتر از انعقاد متداول به دست آمد، اما مقدار آلومینیوم باقی‌مانده اندازه‌گیری شده بعد از این فرایند کمتر از حداکثر مجاز توصیه شده بود. شایان ذکر است، فرایند انعقاد پیشرفته باعث حذف بیشتر ترکیبات آلی و کدورت و به طور کلی بهبود کیفیت آب این تصفیه‌خانه می‌گردد.

References

1. Naseri S. Physical and chemical water and wastewater treatment processes. Tehran, Iran: Tehran University of Medical Sciences; 1989. [In Persian].
2. Sadeghi MT. Environmental Engineering Chemistry. Tehran, Iran: Tehran University of Medical Sciences; 2000. [In Persian].
3. Torkian A. Environmental Engineering. (Water & wastewater). Tehran, Iran: Kankash Publication; 1995. [In Persian].
4. Motamed Hashemi Y. Design of chemical reactors. Bandarabbas, Iran: Hormozgan University; 2001. [In Persian].
5. Rendelz T, Richards P. Operational and process units in Environmental Engineering. Trans. Torkian A, Jafarzadeh MT. Tehran, Iran: Sharif University Press; 2000. [In Persian].
6. Gabelich CJ, Ishida KP, Gerringer FW, Evangelista R, Kalyan M, Suffet IH. Control of residual aluminum from conventional treatment to improve reverse osmosis performance. Desalination 2006; 190(1-3): 147-60.
7. Kawamura S. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. New Jersey, NJ: John Wiley and Sons; 2000.
8. Qasim SR, Motley EM, Zhu G. Title Water works engineering: planning, design, and operation. New York, NY: Prentice Hall PTR; 2000.
9. Kord Mostafa Pour F. Removal of Arsenic and aluminum in drinking water by DAF presses [PhD Thesis]. Isfahan, Iran: School of Environmental Health engineering, Isfahan University of Medical Sciences; 2005. [In Persian].

www.mui.ac.ir

Evaluating the Amount of Residual Aluminum from Conventional and Enhanced Coagulation Using Poly-aluminum Chloride in Refined Water

Mohammad Mehdi Amin[1], Hassan Hashemi[2], Mehdi Safari[3], Zeinab Rezaei[4]

Abstract

Background: Poly-aluminum chloride (PACL) is an inorganic coagulant used in recent years for the removal of color and turbidity in refining water industry. When coagulants are added to water, some amount of this material dissolves in water and remains in the final refined water. Aluminum is also a material that is found in aluminum coagulants base (Alum and PACL), and little amounts of this material in the water causes many health problems such as dialysis encephalopathy and Alzheimer. Environmental Protection Agency (EPA), has determined the maximum concentrations level (MCL) allowable in drinking water as 0.2 mg/l. Advanced coagulation process is defined as the addition of excess coagulant for the removal of natural organic matter (NOM), as precursors of disinfection by products. It is expressed as the best available process for the treatment and removal of this material.

Methods: The amount of residual aluminum was studied in conventional and advanced coagulation after adding PACL in jar test.

Findings: Results showed that mean residual aluminum in enhanced coagulation was more than conventional coagulation. But the amount of residual aluminum in both processes was lower than the MCL recommended by EPA.

Conclusion: It can be conclude that using enhanced coagulation by PACL in water, not only causes turbidity and NOM removal, but even with multiplying the coagulant dose, the residual aluminum is less than the recommended maximum concentration level.

Keywords: Conventional coagulation, Enhanced coagulation, Residual aluminum, NOM, PACl, DBPs

1- Associate Professor, Environment Research Centre, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Lecturer, Department of Environmental Health Engineering, School of health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran (Correspondings Auther) Email: h2_hashemi62@yahoo.com
3- Lecturer, Department of Environmental Health Engineering, School of Medical Sciences, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
4- BSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran