

## کاربرد پلی آلومینیوم کلراید در تصفیه آب آشامیدنی آبادان

امیرمسین مموی<sup>۱\*</sup>، راضیه شیفی<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش:

تاریخ دریافت:

### چکیده

مقدمه: در آبهای سطحی انواع مختلفی از مواد معلق و کلوئیدی وجود دارد که جهت حذف آنها در تصفیه خانه های آب باید از مواد منعقدکننده استفاده گردد. یکی از جدیدترین مواد منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید با علامت اختصاری PAC1 می باشد. در این مطالعه برای حذف کدورت از آب رودخانه های اروند و بهمیشیر که منابع تامین آب آبادان به حساب می آیند، از PAC1 استفاده گردید.

مواد و روشها: جهت انتخاب دوز بهینه و شرایط عملکرد PAC1 در تصفیه آب آبادان، نمونه به تعداد کافی از منابع تامین آب این شهر تهیه گردید. با توجه به افزایش کدورت آب در فصول بارانی، کدورت تعدادی از این نمونه ها با افزودن خاک رس افزایش داده شد و دوز بهینه منعقدکننده از طریق آزمایش جار تعیین گردید. همچنین به دلیل اهمیت باقی ماندن آلومینیوم و مواد آلی در آب تصفیه شده، علاوه بر آزمایشات معمول آب شناسی، آزمایشات تعیین آلومینیوم و COD نیز انجام شد. یافته های پژوهش: نتایج نشان می دهد درصد حذف کدورت در آزمایش جار نمونه های آب خام رودخانه های اروند و بهمیشیر ۹۸-۹۰٪ بوده و مقدار آلومینیوم باقی مانده ۰/۴۱mg/l می باشد. اما در شرایطی که کدورت افزوده شده است، درصد حذف کدورت ۹۹-۹۸٪ و مقدار آلومینیوم باقیمانده بطور متوسط ۰/۰۶mg/l می باشد.

نتیجه گیری نهایی: نتایج بطور کامل بیانگر عدم وجود مخاطرات بهداشتی در کاربرد این ماده منعقدکننده در تصفیه آب می باشد، زیرا که غلظت تمامی آلاینده های باقی مانده در آب بعد از تصفیه با PAC1 به کمتر از حدود مجاز از لحاظ ترسیب رسیده است و بدین ترتیب و با توجه به مزایای PAC1 نسبت به سایر منعقدکننده ها پیشنهاد می گردد در تصفیه آب آبادان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: پلی آلومینیوم کلراید، آزمایش جار، تصفیه آب آبادان

۱- انستیتو تحقیقات بهداشتی، مرکز تحقیقات ممیص زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران

## مقدمه

آبهای سطحی عموماً محتوای انواع مختلفی از ناخالصی‌های کالوئیدی هستند که باعث کدورت و تا حدودی رنگ می‌شوند. برای حذف کلوئیدها باید ذرات مجرای کلوئید با هم مجتمع و از نظر اندازه بزرگ شوند. برای این کار می‌توان از مواد شیمیایی استفاده کرد. این مواد نیروهایی را که موجب پایداری ذرات کلوئیدی می‌شوند خنثی می‌کنند. به فرآیند ناپایداری ذرات کلوئیدی انعقاد شیمیایی می‌گویند. سپس به ذرات ناپایدار شده در حالی که به آرامی به هم زده می‌شود زمان داده می‌شود تا لخته‌ها ایجاد شوند که به این عمل فلوکولاسیون می‌گویند. سرانجام آب از حوضچه ته‌نشینی رد می‌شود و در آنجا مواد جامد لخته شده بوسیله ته‌نشینی حذف می‌شوند (۱).

مهمترین عوامل موثر در کارایی فرآیند انعقاد عبارتند از: pH، یونهای موجود در محلول آبی (قدرت یونی آب)، غلظت مواد هیومیک، دمای آب و نوع منعقدکننده (۲).

یکی از جدیدترین مواد منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید با علامت اختصاری PACI می‌باشد.

پلی‌آلومینیوم کلراید با فرمول  $[Al_2(OH)_{6-x}Cl_xYH_2O]_z$  به نوعی از منعقدکننده‌ها گفته می‌شود که قدرت و سرعت بالایی در جداسازی و استخراج ناخالصی‌های آب دارند، که در اثر خنثی شدن کلراید آلومینیوم با برخی از محلولهای بازی در دو نوع با سولفات و بدون سولفات تهیه می‌شود. تفاوت آن با سولفات آلومینیوم به دلیل نوع ساختار آلومینیوم در هر کدام از این نمک‌هاست. در سولفات آلومینیوم یونهای  $Al^{3+}$  موجود می‌باشند. مشخصه PACI این است که در کنار کلراید و سولفات، بخشی از آن نیز شامل یون‌های هیدروکسید می‌باشد. این یون‌های هیدروکسید باعث ایجاد مجموعه‌های کوچک پولیمر از

Al در PACI می‌شوند.

بخش اصلی در PACI را در مجموعه  $Al_{13}^{7+}$  تشکیل می‌دهد. به دلیل تناسب مناسب تر بار الکتریکی به شعاع، این گونه ساختارهای پلیمری تاثیر بهتری بر بی‌ثباتی کلوئیدها دارند تا مولکولهای منفرد  $Al^{3+}$  (۳ و ۴).

در خصوص مزایای PACI بعنوان منعقدکننده، موارد متعددی ذکر شده است که می‌توان گفت مهمترین این امتیازها قابلیت استفاده از دامنه‌های بسیار وسیعتری از کدورت و دمای آب می‌باشد.

امروزه PACI در تصفیه‌خانه‌های کشورهای پیشرفته جهان همانند ژاپن، آمریکا، کانادا، چین، فرانسه، انگلستان، آلمان و ایتالیا بدلیل عملکرد بهتر و بهداشتی بودن جایگزین سولفات آلومینیوم و کلرور آهن شده است (۴).

در این مطالعه نیز برای بهبود کیفیت آب رودخانه‌های بهم‌نشیر و اروند که دو منبع اصلی تامین آب در آبادان می‌باشند از ماده منعقدکننده PACI استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق کاربرد پلی‌آلومینیوم کلراید در تصفیه آب آبادان از نظر انتخاب دوز بهینه و شرایط بهینه عملکرد آن، مورد بررسی قرار گرفت. مراحل اساسی این تحقیق در بخش‌های مختلف به شرح ذیل انجام شده است:

- آزمایشات در فصل تابستان انجام شد، محل نمونه برداری رودخانه‌های اروند و بهم‌نشیر بود. نمونه‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران ارسال گردید. برای نمونه‌های ارسالی آزمایشات معمول کیفیت آب خام و COD انجام گرفت.

بررسی گردد. برای افزایش کدورت از خاک رسی که از الک شماره  $\mu$  ۱۲۰ عبور کرده بود استفاده شد و بعد نمونه ها توسط همزن مخلوط گردیده و در کدورت های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ واحد نظری، آزمایش جار بر روی آنها انجام شد. سپس اندازه گیری حجم لجن و آزمایشات AI و COD انجام شد. از آنجا که آزادسازی و یا مازاد آلومینیوم پس از فرایند انعقاد با PACI محتمل به نظر می رسد، توجه به غلظت آلومینیوم در آب خام و آب تصفیه شده در مراحل مختلف کاملاً ضروری بود.

### نتایج

محدوده های کدورت برای رودخانه اروند (۲۰، ۳۰ و ۴۰ واحد کدورت) و برای رودخانه بهمنشیر (۴۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ واحد کدورت) تعیین گردید. راندمان حذف کدورت در آزمایش جار این نمونه ها در حدود ۹۰-۹۸٪ حاصل شد. جداول ۱ و ۲ نتایج آزمایش جار بر روی نمونه مخلوط شده رودخانه های مذکور را نشان می دهد.

در مرحله بعد کدورت بطور دستی افزوده شد و قدرت عمل PACI بررسی گردید. جداول ۳ و ۴ این مطلب را نشان می دهد. در نمودار ۱ آلومینیوم باقیمانده پس از آزمایش جار در نمونه های رودخانه اروند را نشان داده شده است.

- کدورت نمونه های ارسالی سنجیده شد و هر نمونه در یک محدوده کدورت قرار گرفت.

- آزمایش جار (انعقاد، لخته سازی و ته نشینی) با توجه به غلظت های مختلف مواد معلق و تزریق مقادیر مختلف ماده منعقدکننده PACI در هر یک از محدوده های کدورت انجام گردید.

- با بررسی کدورت ها و مشاهده فلوک ها، دوز بهینه ماده منعقدکننده مشخص گردید.

- نمونه ای که مقدار مصرف ماده منعقدکننده آن بهینه بود، انتخاب و بر روی آن آزمایش های AI، COD و حجم لجن انجام شد.

- بعد از تعیین مقدار بهینه، باید بهترین محدوده pH هم مورد بررسی قرار گیرد. pH نمونه ها را بین ۹-۴ تنظیم کرده و آزمایش جار با تزریق مقدار بهینه مجدداً انجام شد و بهترین محدوده pH تعیین گردید. سپس نمونه بهینه از نظر آزمایش AI و COD و حجم لجن مورد بررسی قرار گرفت.

- در مرحله بعد نمونه های هر رودخانه بطور جداگانه توسط همزن مخلوط و یک کدورت همگن حاصل و آزمایش جار بر روی آن انجام گردید.

- بدلیل اینکه در روزهای بارانی کدورت آب خام در این رودخانه ها می تواند تا حدود ۸۰۰ الی ۹۰۰ واحد نفلومتری افزایش یابد، به نمونه ها بصورت دستی کدورت افزوده شد تا مقدار دوز بهینه ماده منعقدکننده

جدول ۱- آزمایش جار رودخانه بهمنشیر (نمونه مخلوط)

۲۵	۲۰	۱۵	*۱۰	۵	Dose PACI mg/l	
۲/۷۲	۲/۲۸	۲/۱۸	۳/۶۶	۸/۳۲	کدورت بعد از آزمایش جار (NTU)	
۹۸/۱	۹۸/۴	۹۸/۵	۹۷/۵	۹۶/۶	راندمان حذف %	
۷/۴	۷/۵	۷/۶	۷/۷	۷/۸	pH بعد از آزمایش جار	
۱۲	۱۲	۱۰	۱۲	۱۲	COD (mg/l)	
۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۴	Al (mg/l)	
۱۲۶	۱۳۱	۱۴۵	۱۳۶	۱۳۰	قلیائیت CaCO <sub>۳</sub> (mg/l)	
۱۶۵۲	۱۶۲۴	۱۶۴۲	۱۶۴۳	۱۶۴۵	هدایت الکتریکی (μs/cm)	
۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۱۵ min	حجم لجن (ml/l)
۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۳۱	۳۰ min	

\* مقدار بهینه PACI ، ۱۰ mg/l است.

Turbidity= ۱۵۰ NTU

pH= ۷/۸

EC= ۱۶۵۴ μs/cm

Cl<sup>-</sup>= ۳۳۰ mg/l

جدول ۲- آزمایش جار رودخانه اروند(نمونه مخلوط)

۲۵	۲۰	۱۵	*۱۰	۵	Dose PACI mg/l
۰/۸۸	۰/۹۱	۱/۴۱	۱/۵۷	۳/۴۵	کدورت بعد از آزمایش جار (NTU)
۹۸/۴	۹۸/۳	۹۷	۹۷	۹۳/۷	راندمان حذف %
۷/۶	۷/۷	۷/۸	۷/۹	۸	pH بعد از آزمایش جار
۲	۲	۲	۲	۲	COD (mg/l)
۰/۴۳	۰/۴	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۳۹	Al (mg/l)
۱۲۷	۱۴۰	۱۳۲	۱۳۴	۱۴۱	قلیائیت CaCo <sub>3</sub> (mg/l)
۱۶۶۶	۱۶۵۳	۱۶۵۲	۱۶۶۷	۱۶۴۸	هدایت الکتریکی (μs/cm)
۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۴	حجم لجن (ml/l)
۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۶	۱/۲	

\* مقدار بهینه PACI ، ۱۰ mg/l است.

Turbidity= ۵۶ NTU

pH= ۸

EC= ۱۶۸۰ μs/cm

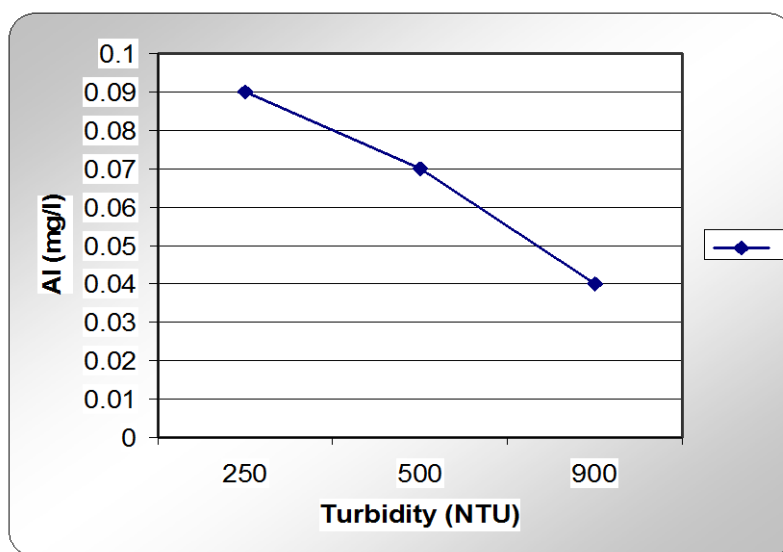
Cl= ۳۷۰ mg/l

جدول ۳- نتایج آزمایش جار مربوط به نمونه آب رودخانه اروند (با خاک رس برای بالا بردن کدورت)

کدورت نمونه (NTU)	دوز بهینه (mg/l)	حذف کدورت در دوز بهینه (%)	pH بعد از آزمایش جار	Al باقیمانده (mg/l)	حجم لجن پس از ۱۵ دقیقه (ml/l) زمان ته نشینی	حجم لجن پس از ۳۰ دقیقه زمان ته نشینی (ml/l)
۲۵۰	۱۰	۹۹	۷/۷	۰/۰۹	۱	۱/۹
۵۰۰	۱۰	۹۹	۷/۷	۰/۰۷	۲/۸	۳/۵
۹۰۰	۱۴	۹۹/۴	۷/۵	۰/۰۴	۴	۴/۵

جدول ۴- نتایج آزمایش جار مربوط به نمونه آب رودخانه بهمنشیر (با خاک رس برای بالا بردن کدورت)

کدورت نمونه (NTU)	دوز بهینه (mg/l)	حذف کدورت در دوز بهینه (%)	pH بعد از آزمایش جار	Al باقیمانده (mg/l)	حجم لجن پس از ۱۵ دقیقه زمان ته نشینی (ml/l)	حجم لجن پس از ۳۰ دقیقه (ml/l)
۲۲۵	۱۰	۹۸/۶	۷/۷	۰/۰۴	۱/۸	۲
۵۰۰	۱۰	۹۹/۴	۷/۷	۰/۰۲	۲/۸	۳/۴
۷۰۰	۷	۹۹	۷/۸	۰/۰۸	۴/۲	۴/۷



نمودار ۱- آلومینیوم باقیمانده پس از آزمایش جار در نمونه های آب رودخانه بهمنشیر با افزایش کدورت

## بحث و نتیجه گیری

آزمایشات انجام شده بر روی پلی آلومینیوم کلراید نشان می دهد که چون اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) آن صفر می باشد، مصرف این ماده بعنوان منعقدکننده در فرایند تصفیه آب نمی تواند هیچ مقدار ماده آلی به آب اضافه کند.

درخصوص مقایسه پارامترهای آب رودخانه های بهمنشیر و اروندرود، مقادیر کدورت و مواد معلق در رودخانه اروندرود پایین تر از رودخانه بهمنشیر می باشد و چنانچه بتوان آب بیشتری از رودخانه اروندرود جهت انتقال به تصفیه خانه آب برداشت نمود، مناسبتر می باشد.

به لحاظ پارامترهای هدایت الکتریکی و باقیمانده خشک، تفاوت خاصی بین این دو رودخانه وجود ندارد. مقدار سختی کل در این دو رودخانه تقریباً یکسان و در محدوده آبهای سخت می باشد. به دلیل ورود پسابهای صنعتی، کشاورزی و غیرکشاورزی (ناشی از اجرای طرحهای توسعه کشاورزی و پرورش ماهی و میگو) و فاضلاب شهری به رودخانه کارون، کاهش نزولات جوی و افزایش مصرف آب در سالهای اخیر، مشکل عمده آب این رودخانه ها افزایش کلرور و شوری می باشد (۶ و ۷).

با توجه به سایر پارامترهای کیفی آب خام در این دو رودخانه، فرایندهای تصفیه متداول شامل: آشغالگیر، ته نشینی اولیه، انعقاد، لخته سازی، ته نشینی ثانویه، صاف سازی و کلرزنی برای تصفیه آب و رسیدن به استانداردهای آب شرب، مناسب است. اما با توجه به بالا بودن کدورت و مواد معلق، لازم است فرایند انعقاد و لخته سازی بطور کامل و دقیق اجرا گردد.

آزمایشات جار آب خام رودخانه های بهمنشیر و اروندرود نشان می دهد که راندمان حذف کدورت خوب بوده (۹۸-۹۰٪) و غلظت ماده منعقدکننده کم است که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است اما مقدار آلومینیوم باقیمانده ( $0/0-39/43 \text{ mg/l}$ ) بالاتر از

حد استاندارد Al ( $0/2 \text{ mg/l}$ ) در آب می باشد. به دلیل اینکه آب خام این دو رودخانه فاقد آلومینیوم است بنابراین وجود آلومینیوم پس از فرایند تصفیه ناشی از کاربرد PACI است.

با توجه به جداول ۳ و ۴ بالاتر بودن راندمان حذف کدورت در این آزمایشات به علت اضافه کردن خاک رس و افزایش مواد معلق بوده است. مواد معلق می توانند فرایند ته نشینی را بهبود بخشند. غلظت آلومینیوم باقیمانده پس از جارتست از مقدار استاندارد بسیار پایین تر می باشد. علت آن، اضافه کردن خاک رس به آب بوده است که بعنوان کمک به منعقدکننده عمل کرده و جاذب آلومینیوم از آب است (نمودار ۱). استفاده از پلی آلومینیوم کلراید در این مطالعه نه تنها مقدار COD را افزایش نداده بلکه مقدار آن را کاهش داده است.

با توجه به اینکه غلظت پلی آلومینیوم کلراید مصرفی نسبت به سایر منعقدکننده ها به ازای هر مترمکعب آب با کدورت یکسان، بسیار کمتر می باشد، حجم لجن تولید شده به مراتب کمتر خواهد بود. در ضمن زمان ته نشینی لخته های تولید شده با ماده PACI نسبت به سایر مواد منعقدکننده کمتر می باشد و این خود می تواند در کاهش حجم و هزینه تاسیسات اثر مثبت داشته باشد (۸).

در نهایت با توجه به اینکه غلظت های کمتری از پلی آلومینیوم کلراید نسبت به سایر مواد منعقدکننده استفاده می شود، به نظر می رسد که هزینه مواد منعقدکننده مصرفی به ازای هر متر مکعب آب تصفیه شده کاهش یابد (۸).

## سپاسگزاری

از معاونت مهندسی خدمات فنی پالایشگاه نفت آبادان و انستیتو تحقیقات بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تهران به دلیل تامین اعتبار طرح و فراهم نمودن تسهیلات قدرانی و تشکر می شود.

**Referenses**

- 1- Graham NJD. Ortho kinetic flocculation in rapid filtration, Water Research 1986; 54: 715- 724.
- 2- UNESCO, WHO and UNEP“Water Quality Assessments”. 25Ed, Chapman & Hall. Ltd, Landon.
- 3- Todd I A, Verdoes D, Sijstermans L, et al.“The Removal of Strontium and Cadmium from Aqua streams.
- 4-WHO.“Guideline for Drinking Water Quality”,(1997)Second Edition. Vol.3.
- 5-APHA/AWWA/WPCF., “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, (1995) 20<sup>th</sup> Edition, APHA, N. W, Washington D. C.
- 6-Technical Office, Management of Water Resources Basic Studies, Surface Water Affairs,” Survey in the Saltiness Trend of Bahmanshir Water in summer and fall”, Oct.2000.
- 7-Kashkooli A, Hossein Zare N,”The Long Term Effect of New Irrigation Projects on Caroon Water Quality”, Center for Water Resources Research 2001; 36: 522- 29.
- 8- Mahvi AH, Ahmadi Moghaddam M, “Technical, Economical and Healthy Evaluation of PACL Application in water Treatment “Iranian Journal Public Health 2003; 32: 6-8.