

## مقایسه عملکرد منعقدکننده‌ها با شرایط انعقاد پیشرفته در حذف کدورت و مواد آلی در رودخانه کرج

امیرحسام حسنی<sup>۱</sup>، علی تریابیان<sup>۲</sup>، محمد عبداللهزاده<sup>۳\*</sup>

۱- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران ahasani@gmail.com

۲- دانشیار مهندسی عمران محیط زیست دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران atorabi@ut.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب، امور نگهداری و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۱۴

### چکیده

انعقاد پیشرفته در واقع بهینه‌سازی فرایند به‌منظور حذف مواد آلی پیش‌سازهای حاصل از ضدعفونی‌کننده‌ها در فرایند متداول تصفیه آب است. در فرایند انعقاد پیشرفته با استفاده از مواد منعقدکننده، حذف مواد آلی طبیعی به عنوان پیش‌ساز تری‌هالومتان‌ها صورت می‌گیرد. در این زمینه با انجام آزمایش جار اثر دوز بیشتر منعقدکننده‌های کلروفریک و پلی‌آلومینیوم کلراید را در حذف بیشتر کل کربن آلی، کربن آلی محلول، جذب ماده آلی در طول موج ۲۵۴ نانومتر و قلیابیت، آلومینیوم و آهن باقیمانده، کل تری‌هالومتان‌ها، از آب رودخانه کرج واقع در استان تهران بررسی و مورد مقایسه قرار گرفت. pH مؤثر برای حذف مواد آلی طبیعی در شرایط انعقاد پیشرفته برای کلروفریک و پلی‌آلومینیوم کلراید، به ترتیب معادل ۶/۲ و ۶/۵ به دست آمد. این بررسی تأثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیوم کلراید و کلروفریک را بر حذف TOC به ترتیب ۶۵-۶۰٪ و ۵۵-۵۰٪ نشان می‌دهد. درصد حذف تری‌هالومتان در استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید مایع نسبت به کلروفریک ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر نشان می‌دهد. نتایج این بررسی‌ها از نظر کمی، عملکرد بهتر پلی‌آلومینیوم کلراید را در مقایسه با کلروفریک در کدورت‌های میانگین سالانه (۶NTU) در حذف بیشتر کدورت، TTHM، TOC، DOC، UV<sub>254</sub> و افت pH و قلیابیت، مقدار کمتری نسبت به کلروفریک نشان می‌دهد. از نظر کیفی استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید نسبت به کلروفریک، سایز ذرات تشکیل شده درشت‌تر، سرعت ته‌نشینی فلوک‌ها بیشتر، درصد حجمی لجن ته‌نشین شده و میزان حذف کدورت را بیشتر نشان می‌دهد.

### کلید واژه

انعقاد پیشرفته، پلی‌آلومینیوم کلراید، کلروفریک، رودخانه کرج، کدورت و مواد آلی

### سرایاز

آمینواسید، تجزیه می‌شوند. پلیمرهای فنل نیز از تراکم منومرها نظیر لیگنین و تانین گیاهان تشکیل می‌شوند. دو منبع دیگر ترکیبات آلی در آب، میکروارگانیسم‌ها و بقایای مواد نفتی هستند. جلبک‌ها، باکتری‌ها و اکتینوماست‌ها آلاینده‌هایی که در تمام منابع آبهای سطحی وجود دارند. زمانی که تحت شرایطی خاص جمعیت این ارگانیسم‌ها رشد کند، مانند شرایط تشکیل لخته‌های جلبکی<sup>۱</sup> توده سلولی آنها به‌طور مشخصی می‌تواند سبب ایجاد کل کربن آلی (TOC)<sup>۲</sup> در آب شود علاوه بر مواد سلولی تعدادی از گیاهان و میکروارگانیسم‌ها مواد متابولیکی را از طریق فرایندهای دفعی به محیط‌های آبی وارد می‌کنند مثل مواد مولد بو و مزه

در حال حاضر یکی از مشکلات منابع آب ورود ترکیبات آلی به این منابع بوده که ناشی از تجزیه بقایای گیاهی و تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به این منابع است. ضدعفونی آب آشامیدنی یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های بهداشت عمومی در قرن بیستم است و عامل مهمی در کاهش بسیاری از اپیدمی‌ها مثل تیفوئید و وبا بوده و امروزه یکی از ضروری‌ترین مراحل تصفیه آب است. کربوهیدرات و پروتئین در طول واکنش‌های اکسیداسیون شیمیایی و میکربی به واحدهای شیمیایی کوچکتر، مثل اسید دی‌هیدروکسی بنزوئیک و

مقایسه عملکرد مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده در شرایط انعقاد پیشرفته در حذف کل تری‌هالومتانها (TTHM<sub>3</sub>)<sup>۱۱</sup>، TOC، UV<sub>254</sub> و تعیین pH مؤثر، و امکان‌سنجی نیاز به کاربرد انعقاد پیشرفته در آب رودخانه کرج، بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

آزمایش جار با استفاده از آب خام در ظروف جار به احجام یک لیتری با  $L-1/4$  و با نمونه‌برداری از عمق ۲ cm از سطح آب صورت گرفت. برنامه‌ریزی دستگاه جارتست با روند زیر دنبال شد: ۶۰ ثانیه اختلاط سریع با ۱۴۰ دور در دقیقه، ۲۰ دقیقه اختلاط آرام با ۴۰ دور در دقیقه، ۳۰ دقیقه زمان ته‌نشینی، بعد از اتمام زمان ته‌نشینی نمونه‌های جار بلافاصله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

### نمونه برداری و نگهداری

حذف مواد آلی طبیعی با انعقاد به عواملی مثل غلظت و ماهیت کربن آلی محلول، نوع و غلظت منعقدکننده و pH، شرایط انعقاد، خصوصیات مواد آلی طبیعی، غلظت ترکیبات معدنی، طراحی و عملکرد تصفیه‌خانه بستگی دارد. در این راستا نمونه برداری از آذر ماه سال ۱۳۸۵ به مدت یک سال از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه کن مطابق با روشهای استاندارد آنالیز آب ویرایش ۲۱ سال ۲۰۰۵، نمونه برداری و در آزمایشگاه شیمی فیزیک و میکروبیولوژی تصفیه‌خانه کن با رعایت قانون نمونه برداری "نمونه جزئی از کل باشد" مورد آزمایش قرار گرفت. اصول نمونه‌برداری (ظروف، حجم نمونه، نگهداری و زمان ماند) طبق جدول I: ۱۰۶۰ کتاب استاندارد متد و سازمان حفاظت محیط زیست امریکا U.S.EPA انجام شد. (Standard Methods, 2005)

### جدول شماره (۲): میانگین مشخصه‌های کیفی آب خام

#### رودخانه کرج ۱۳۸۶

مشخصه	مقادیر بر حسب	
	متوسط سالانه	ماکزیمم سالانه
TOC(mg/l)	۳	۱۰
DOC(mg/l)	۲/۵	۶
Turbidity(NTU)	۶	۱۰۰۰
Temperature(°C)	۱۲	۱۷
pH	۷/۹۵	۸/۲۵
Alkalinity(mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	۱۲۰	۱۴۵
UV <sub>254</sub> (l/cm)	۰/۰۵	۰/۱۲
SUVA(l/mg.m)	۱/۹	۲
EC μs/cm	۳۸۸	۴۵۰

(مأخذ: یافته‌های تحقیق)

که از طریق الگ‌های سبز-آبی و اکتینوماست‌ها وارد آب می‌شوند (Montgomery, 1985). انعقاد پیشرفته (EC) جایگزین اقتصادی برای بهبود حذف مواد آلی طبیعی (NOM)<sup>۴</sup>، کنترل مقادیر محصولات حاصل از ضد عفونی کننده‌ها (DBPs)<sup>۵</sup>، و دستیابی به قانون D/DBP Rule<sup>۶</sup> است. (US.EPA, 1999), (Volk :Bell, 2000). اجرای تکنیک انعقاد پیشرفته و اهداف آن در فرایندهای تصفیه آب در حذف TOC در کتاب راهنمای کواگولاسیون پیشرفته ارائه شده است. جدول شماره (۱) ماکزیمم حد مجاز اضافه کردن مواد شیمیایی را در سیستم‌های انعقاد لخته‌سازی نشان می‌دهد. این حدود بر مبنای استاندارد بهداشتی تعیین شده است.

### جدول شماره (۱): حد ماکزیمم مجاز اضافه کردن مواد شیمیایی در

#### مرحله انعقاد

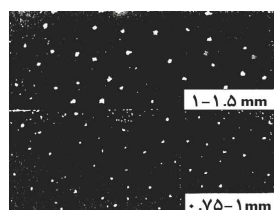
حد ماکزیمم mg/l	مواد شیمیایی اضافه شده
۱۵۰	آلوم
۲۰۰ - ۶۰۰	سولفات فریک
۱۴۱ - ۲۵۰	کلور فریک (FeCl <sub>3</sub> ) <sup>۷</sup>
۵۰	اسید سولفوریک
۱۰۰ - ۴۵۴	پلی آلومینوم کلراید (PACl) <sup>۸</sup>

(مأخذ: US.EPA, 1999)

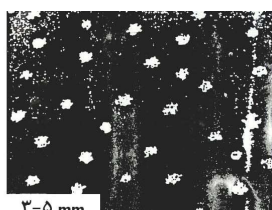
در انعقاد پیشرفته، میزان حذف کل کربن آلی، به مقدار کل کربن آلی آب خام و قلیابیت بستگی دارد. اما معمولاً حذف مواد آلی با انعقاد به غلظت کربن آلی محلول، ماهیت شیمیایی مواد آلی طبیعی، نوع منعقد کننده، غلظت منعقد کننده و pH بستگی دارد. غلظت منعقد کننده ارتباط استوکیومتریک با کربن آلی محلول (DOC)<sup>۹</sup> آب خام یا جذب در طول موج ۲۵۴ نانومتر (UV<sub>254</sub>)<sup>۱۰</sup> دارد. این رابطه استوکیومتری به منعقدکننده مورد نیاز از گونه‌های آلومینوم با بار مثبت بستگی دارد که برای خنثی کردن بار منفی مواد آلی طبیعی مورد نیاز است. انعقاد در تصفیه آب اهداف زیادی دارد. انعقاد بهینه، به عنوان انعقاد با شرایط pH و غلظتی تعریف شده، تا بدین وسیله حداکثر حذف کدورت و ذرات حداکثر حذف کل کربن آلی و پیش‌سازها (DBPs) و حداقل منعقدکننده باقیمانده را ایجاد کند. ادوارد و تویاسن در سال ۱۹۹۹ بر مبنای اصولی که در قانون D/DBPs با EPA بیان داشته‌اند، در صورتی که کیفیت آب خام مطابق با یکی از معیارهای اشاره شده آن باشد، اجرای انعقاد پیشرفته ضرورتی نخواهد داشت (Edwald & Tobiason, 1999) و (US.EPA, 1999). در این تحقیق،

آزمایش توسط محلول اسید سولفورومیک مطابق با دستورالعمل US.EPA به کار رفته، و سطوح تمامی پدال‌ها و میله‌های همزن دستگاه جارتست ابتدا با آب مقطر معمولی، سپس با آب دمین با هدایت الکتریکی کمتر از  $0.5 \mu\text{s}/\text{cm}$  آبکشی شدند.

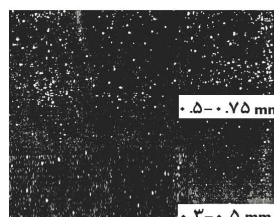
تمام غلظت مواد منعقدکننده‌ها در این تحقیق بر اساس یون فعال مطابق با بخش سه EPA May 1999 815-R-99-012 تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.



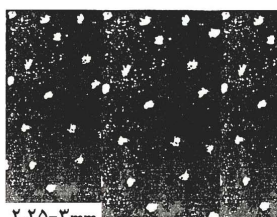
فلوک ریز



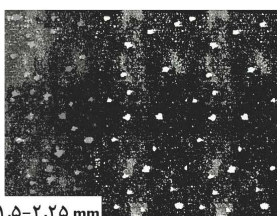
فلوک خیلی خوب



فلوک به سختی دیده می شود



فلوک خوب



فلوک متوسط

### شکل شماره (۱): شاخص کیفی اندازه فلوک

#### مشخصات منعقدکننده‌های مورد استفاده در تحقیق

برای انجام تحقیق دو ماده منعقدکننده با مشخصات کارخانه‌ای، که در جدول شماره (۳) ارائه شده، استفاده شد.

قبل از انجام آزمایش، استاندارد TOC و  $UV_{254}$  مطابق نمودار شماره (۱)، استاندارد TOC با استفاده از پتاسیم هیدروژن فتالات مطابق دستورالعمل استاندارد متد آب و فاضلاب تهیه شد.

#### روشهای اندازه‌گیری

کدورت مطابق استاندارد متد با استفاده از روش نفلومتری با دستگاه N ۲۱۰۰ مارک HACH امریکا اندازه‌گیری شد. pH با استفاده از دستگاه متروم سوئیس مدل ۸۳۰ که روزانه با استفاده از محلول‌های بافر استاندارد کالیبره می‌شد، اندازه‌گیری شد. قلیابیت با استفاده از روش تیتراسیون استاندارد متد ۲۰۰۱ ویرایش ۲۱ اندازه‌گیری شد.

شکل کربن آلی با استفاده از روش-SM 5310 C Persulfate-Ultraviolet Oxidation با دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 متد  $10.129 \text{ mg/l}$  با دامنه  $20-0$  مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کل کربن آلی محلول (DOC)، مطابق با استاندارد متد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 متد  $10.129$  در دامنه  $20-0$  بعد از فیلتر کردن نمونه از صافی فاقد کربن آلی با مش  $0.45$  میکرون با مارک MN آلمان، اندازه‌گیری شد.

$UV_{254}$  با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 با متد  $10.054$  بعد از فیلتر کردن نمونه از صافی  $0.45$  میکرون با استفاده از سل‌های کوارتز به طول ۱ و ۵ سانتیمتری تجزیه و تحلیل شد.

SUVA از تقسیم  $UV_{254}$  به غلظت DOC (mg/l) محاسبه شد. کل آلومینیوم و آهن باقیمانده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 مارک HACH امریکا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

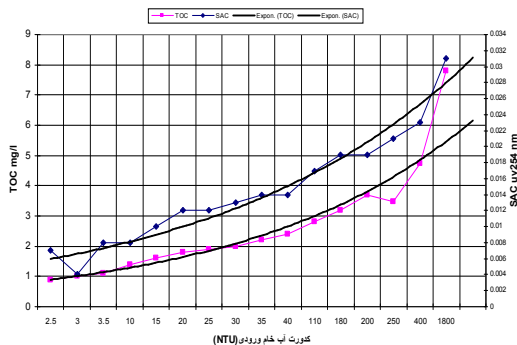
THMs مطابق با روش ۶۲۳۱ استاندارد متد نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 مارک HACH امریکا متد  $10.132$  در محدوده  $200-0$  ppb تجزیه و تحلیل شد.

تمام دستگاهها مطابق با دستورالعمل راهنمای دستگاه قبل از استفاده کالیبره می‌شد. شاخص کیفی اندازه ذرات فلوک با استفاده از شکل شماره (۱) مورد بررسی قرار گرفت.

#### مواد شیمیایی مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق فریک کلراید  $37\%$  و پلی آلومینیوم کلراید مایع با غلظت  $13\%$  یون فعال  $Al_2O_3$  به عنوان منعقدکننده، پتاسیم هیدروژن فتالات  $13$  Merck Pro analysi KHP به عنوان استاندارد ماده آلی و تمام آزمایش‌های جار در دمای اتاق  $20$  درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفت.

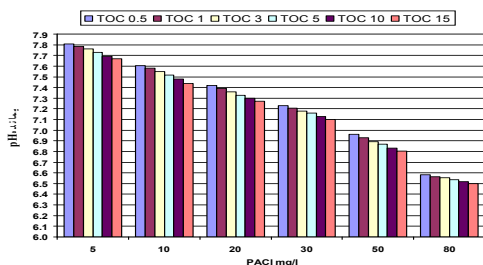
برای حذف هر گونه مواد آلی از ظروف مورد استفاده، تمامی ظروف شیشه‌ای اعم از پیپت و بشر، سل‌های کوارتز استفاده شده در



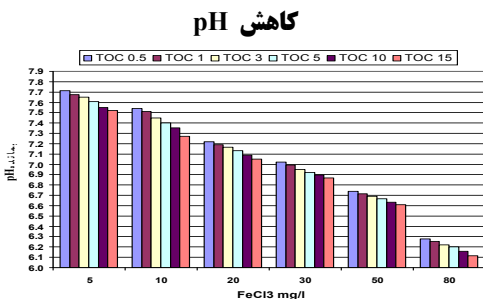
**نمودار شماره (۲): ارتباط UV<sub>254</sub> و TOC با کدورت در آب خام ورودی به تصفیه‌خانه (مأخذ: یافته‌های تحقیق)**

**نتایج**

با تعیین میانگین ۹۵٪ کدورت سالانه (۶ NTU)، دوزهای بالای هر دو ماده منعقدکننده PACI و FeCl<sub>3</sub> در غلظت‌های ۳۰-۲۰-۵۰-۸۰-۱۰ mg/l آزمایش جار اقدام شد. نمودارهای شماره (۳، ۴، ۵، ۶) تاثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده‌های PACI و FeCl<sub>3</sub> را به ترتیب بر pH و TOC نشان می‌دهد. با افزایش دوز ماده منعقدکننده pH نمونه آب پس از جار تست کاهش و به دنبال آن حذف TOC افزایش می‌یابد. نمودارهای شماره ۳ و ۴ مؤثرترین pH برای PACI و FeCl<sub>3</sub> به ترتیب برابر ۶/۵ و ۶/۲ نشان می‌دهند.



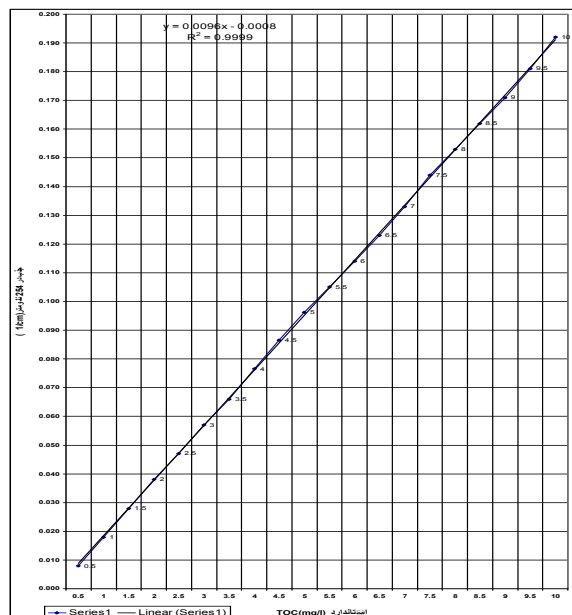
**نمودار شماره (۳): تأثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده PACI بر کاهش pH**



**نمودار شماره (۴): تأثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده FeCl<sub>3</sub> بر کاهش pH**

**جدول شماره (۳): مشخصات شیمیایی و فیزیکی منعقدکننده ها و پلی الکترولیت مصرفی**

	(PACI)Falo pac	کلرو فریک
Appearance	مایع زرد مایل به قهوه ای	مایع قرمز
Alumina Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	۱۴-۱۶	۳۵ - ۴۷
Relative density	۱/۳-۱/۳۵	۱/۳ - ۱/۵
pH Solution	۳/۵-۵	۱/۵_۲
Sulphate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> %<	<۱	درصد وزنی کلرور فریک حداکثر ۰/۵ mg/l
Basicity	۷۰-۹۰	-
Insoluble matter %<	-	-
Amino nitrogen %<	۰/۰۱	-
Manganese Mn %<	۰/۰۰۲۵	-
Leed pb %<	۰/۰۰۱	-
Cadmium Cd %<	۰/۰۰۰۲	-
Chromium Cr <sup>6</sup> %<	۰/۰۰۰۵	-
Arsenic As %<	۰/۰۰۰۵	-
Mercury Hg %<	۰/۰۰۰۰۲	-
نوع بار	کاتیونی	کاتیونی



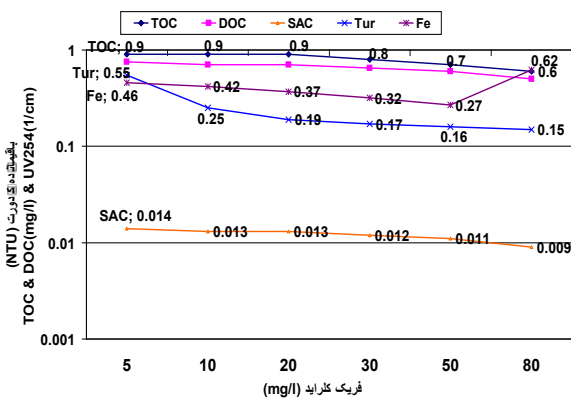
**نمودار شماره (۱): استاندارد TOC بر حسب UV<sub>254</sub> در محدوده**

۱۰ mg/l C - (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

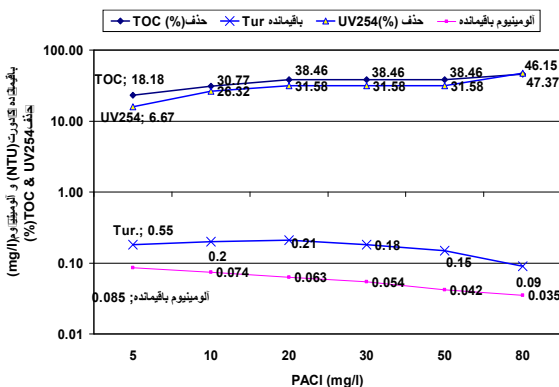
مطابق روشهای پیش گفته نمودار شماره (۲)، منحنی ارتباط UV<sub>254</sub> و TOC با کدورت در آب خام ورودی تصفیه‌خانه کن در طول سال ۱۳۸۶ تهیه شد.

با افزایش دوز ماده منعقدکننده سائز فلوک‌ها به شکل غیر نرمال افزایش پیدا می‌کند و شکل فلوک‌ها از حالت متوسط به درشت ابری تبدیل می‌شود و سرعت ته‌نشینی به‌طور چشم‌گیری با مکانیسم جاروبی افزایش می‌یابد. با افزایش ماده منعقدکننده pH، محلول از ۷/۴۷ به ۶/۵ کاهش می‌یابد. در این راستا با کاهش pH، میزان حذف TOC و UV<sub>254</sub> افزایش نشان می‌دهد. میزان آلومینیوم باقیمانده در تمام آزمایش جار در اتمام مرحله ته‌نشینی در دوزهای بالای منعقدکننده در محدوده ۰/۰۳ AL<sup>+++</sup> تا ۰/۰۸ برای PACI نشان می‌دهد.

با افزایش میزان ماده آلی و دوز ماده منعقدکننده PACI میزان حذف ماده آلی افزایش می‌یابد. همچنین در مورد FeCl<sub>3</sub>، با افزایش دوز ماده منعقدکننده، میزان آهن باقیمانده در آب پس از ته‌نشینی کاهش می‌یابد، به طوری که مقدار آن در ۵ mg/l FeCl<sub>3</sub> معادل ۰/۴۶ mg/l و در دوز FeCl<sub>3</sub>=۸۰ mg/l برابر ۰/۱۵ mg/l بود. در حداکثر دوز ماده منعقدکننده کلروفریک، pH آب به ۶/۲ رسید.



نمودار شماره (۷): FeCl<sub>3</sub> + TOC 0.5 (mg/l)

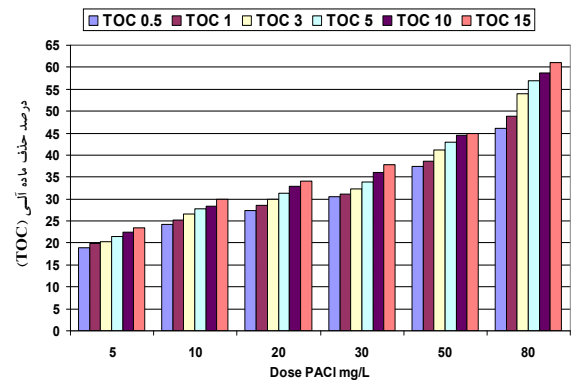


نمودار شماره (۸): PACI + TOC 0.5 (mg/l)

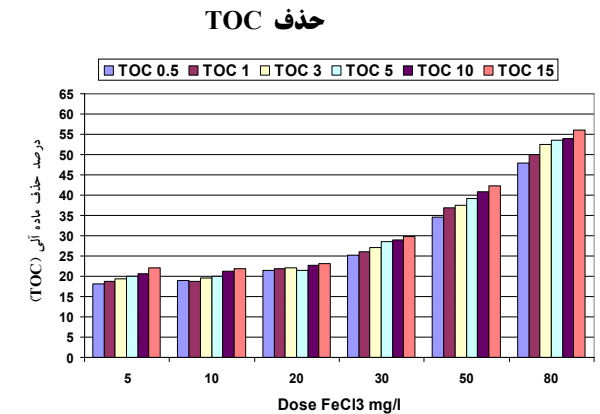
نمودارهای شماره (۵ و ۶) تأثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده PACI و FeCl<sub>3</sub> را بر حذف TOC به ترتیب ۶۱٪ و ۵۶٪ نشان می‌دهد. با استفاده از دوزهای بالای هر دو ماده منعقدکننده و با میانگین سالانه کدورت آب خام ورودی به تصفیه خانه NTU ۶ را با ماده آلی متغیر در هر جارتست در محدوده رنج‌های ماده آلی ۱۵ mg/l, ۱۰, ۵, ۳, ۱, ۰/۵ انجام و آزمایش‌ها در دو فاز بررسی شد.

فاز اول: (PACI + TOC)

فاز دوم: (FeCl<sub>3</sub> + TOC)

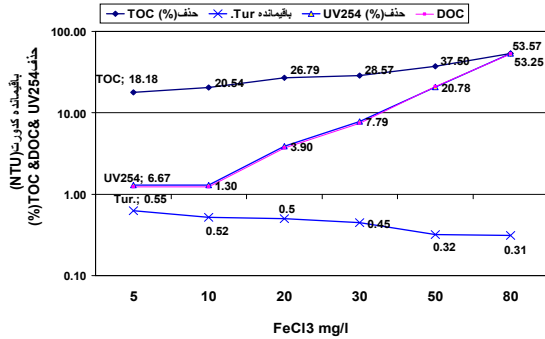


نمودار شماره (۵): تأثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده PACI بر حذف TOC

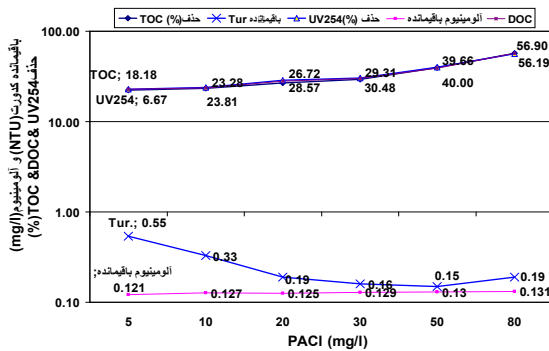


نمودار شماره (۶): تأثیر افزایش دوز ماده منعقدکننده FeCl<sub>3</sub> بر حذف TOC

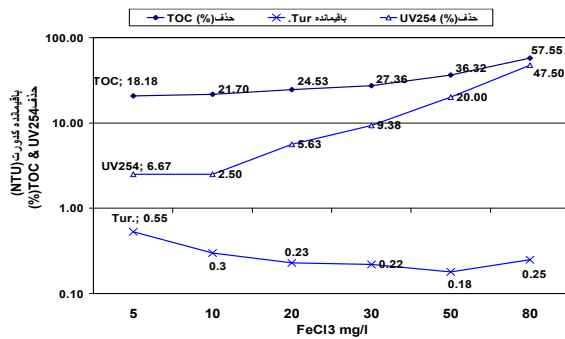
بررسی نمودارهای شماره (۷ تا ۱۸) نشان می‌دهد که با افزایش دوز ماده منعقدکننده از ۵-۸۰ mg/l، میزان آلومینیوم باقیمانده آب کاهش می‌یابد به طوری که مقدار آن در آب ته‌نشین شده در ۵ mg/l PACI=۵ معادل ۰/۸۵ mg/l و در دوز PACI=۸۰ mg/l برابر ۰/۳۵ mg/l است.



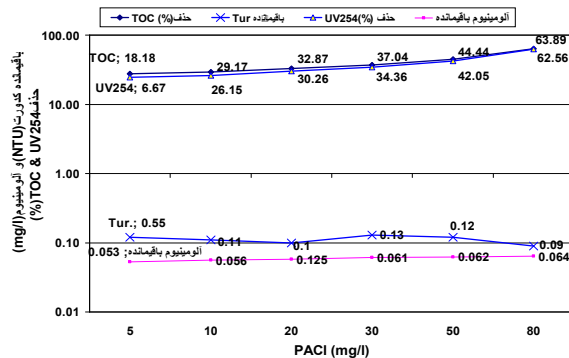
نمودار شماره (۱۳): FeCl<sub>3</sub> + TOC 5 (mg/l)



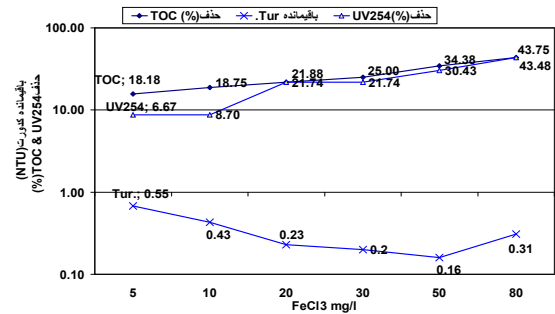
نمودار شماره (۱۴): PACl + TOC 5 (mg/l)



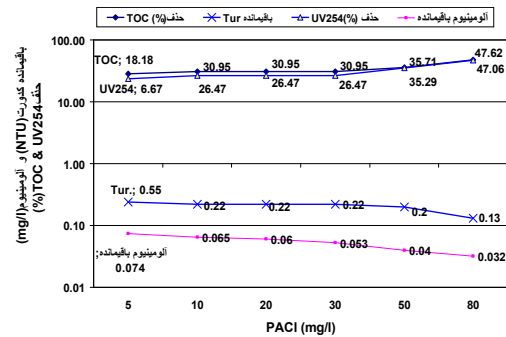
نمودار شماره (۱۵): FeCl<sub>3</sub> + TOC 10 (mg/l)



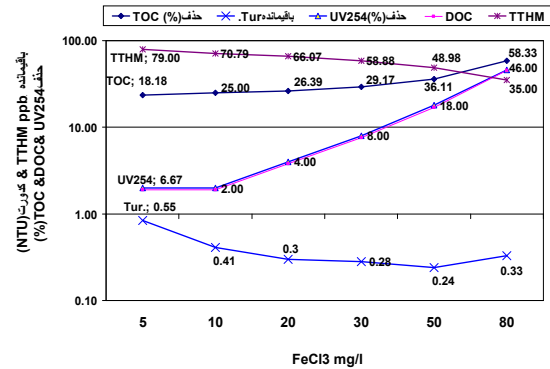
نمودار شماره (۱۶): PACl + TOC 10 (mg/l)



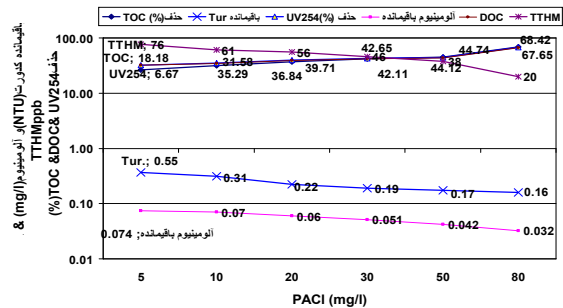
نمودار شماره (۹): FeCl<sub>3</sub> + TOC 1 (mg/l)



نمودار شماره (۱۰): PACl + TOC 1 (mg/l)



نمودار شماره (۱۱): FeCl<sub>3</sub> + TOC 3 (mg/l)

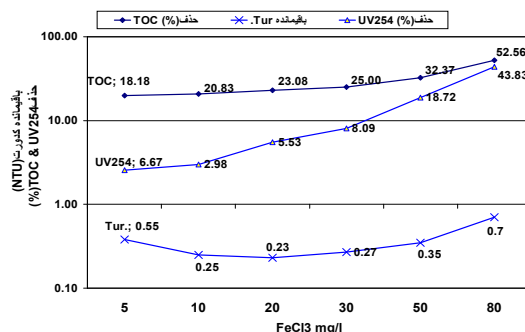


نمودار شماره (۱۲): PACl + TOC 3 (mg/l)

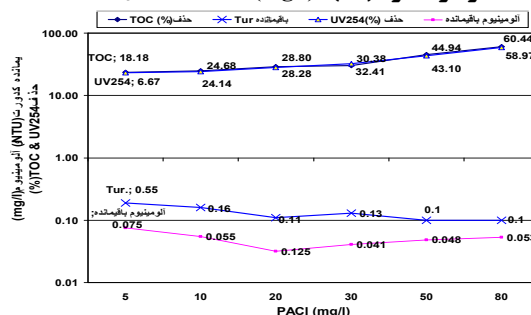
DOC، UV<sub>254</sub> و افت pH و قلیابیت کمتری نسبت به کلروفیک را نشان داد. همچنین با ایجاد شرایط انعقاد پیشرفته سایز فلوک‌ها ریز و حالت ابری به خود گرفته و درصد حجمی لجن نیز افزایش می‌یابد. سؤالی که ممکن است مطرح شود، این است که آیا افزایش درصد حجمی لجن ایجاد شده اختلالی در نظم پولساتور و افزایش غلظت لجن و در نهایت منجر به شکسته شدن پالونک‌های پولساتور نمی‌شود؟ می‌توان این‌گونه پاسخ داد که بهره‌بردار در هر ۲ ساعت یک بار توسط واحد کنترل کیفیت درصد حجمی لجن را کنترل می‌کند. چنانچه مقدار آن با این شرایط افزایش یابد با استفاده از شیرهای تخلیه لجن، درصد حجمی لجن را در محدوده مورد نظر تنظیم می‌کند. ریز شدن فلوک‌ها دلیلی بر فرار کردن آنها از سیستم کانال جمع‌کننده جریان آب نمی‌شود، همان‌طور که آزمایش جار نیز آن را تأیید می‌کند. نکته قابل توجه این تحقیق که آن را از تحقیق‌های دیگر متمایز می‌سازد این است که، دوزهای منعقدکننده‌های PACI و FeCl<sub>3</sub> بر اساس یون فعال فلز، مطابق با بخش ۳ کتاب سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA May 1999 815-R-99-012) محلول سازی شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. در این تحقیق قلیابیت قبل و بعد از جارتست نیز آنالیز شده ولی به دلیل تراکم تعداد نمودارها ارائه نشده است. به طور کلی می‌توان گفت که با کاهش pH نمونه‌های آب پس از جارتست قلیابیت آنها نیز متناسب با کاهش pH، کاهش می‌یافت. به‌طوری‌که در کمترین تزریق ماده منعقدکننده PACI، pH برابر ۷/۸ و قلیابیت آن معادل ۱۰۸ میلی‌گرم بر لیتر برحسب کربنات کلسیم و در بیشترین تزریق ماده منعقدکننده PACI، pH برابر ۶/۵ و قلیابیت آن برابر ۵۸ میلی‌گرم بر لیتر برحسب کربنات کلسیم نشان داد. در مورد FeCl<sub>3</sub> نیز در کمترین تزریق ماده منعقدکننده، pH برابر ۷/۲ و قلیابیت آن معادل ۱۰۲ میلی‌گرم بر لیتر برحسب کربنات کلسیم و در بیشترین تزریق منعقدکننده، pH برابر ۶/۱ و قلیابیت آن برابر ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر برحسب کربنات کلسیم نشان داد. نمودارهای شماره (۱۱) و (۱۲) باقیمانده کل تری هالومتان اولیه (۹۳ ppb) را نشان می‌دهد. بررسی این نمودارها افزایش حذف ۲۰ تا ۳۰٪ کل تری‌هالومتان را برای PACI نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

- مقدار آلومینیوم باقیمانده ناشی از مصرف PACI در آب ته‌نشین شده آزمایش جار تقریباً ۵ برابر کمتر از مقدار باقیمانده آهن کل مرحله ته‌نشین شده آزمایش جار توسط کلروفیک است.



نمودار شماره (۱۷): FeCl<sub>3</sub> + TOC 15 (mg/l)



نمودار شماره (۱۸): PACI + TOC 15 (mg/)

### بحث

همان‌گونه که در آغاز گفته شد یکی از مشکلات و معضلات منابع آب، ورود ترکیبات آلی به این منابع است که ناشی از تجزیه بقایای گیاهی و تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به این منابع است. مطالعات زیادی در زمینه مقایسه منعقدکننده‌های مختلف از جمله پلی‌آلومینیوم کلراید، فریک کلراید، سولفات آلومینیوم و سایر منعقدکننده‌های آلی و معدنی در حذف کدورت در منابع آبهای مختلف صورت پذیرفته است. از جمله مطالعه آقای دکتر بدلیان در مورد رودخانه کرج با موضوع مقایسه پلی‌آلومینیوم کلراید، فریک کلراید، سولفات آلومینیوم در شرایط انعقاد متداول در حذف کدورت به عنوان طرح تحقیقاتی در سال ۱۳۸۶ انجام گرفته است و نتایج ایشان هم تأیید بازده حذف بیشتر پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت در منابع آب تهران است. ولی برای پیشگیری و استفاده به موقع در شرایط ورود مواد آلی به سیستم تصفیه آب وجود مطالعاتی که در این زمینه راهنمایی‌های لازم را داشته باشد، وجود نداشت. در این راستا طبق بررسی به عمل آمده در آزمایش جار، با میانگین ۹۵٪ کدورت سالانه (۶ NTU) آزمایش‌های جار با دو نوع ماده منعقدکننده PACI و FeCl<sub>3</sub> به عمل آمده نشان داد که با ایجاد شرایط انعقاد پیشرفته با PACI، درصد حذف کدورت، TTHM، TOC،

pH - مؤثر برای حذف کل مواد آلی در شرایط انعقاد پیشرفته برای کلروفیک و پلی‌آلومینیوم کلراید، به ترتیب معادل ۶/۲ و ۶/۵ به دست آمد.

### تشکر و قدردانی

از معاونت محترم آبرسانی آبفای شهر تهران، بویژه مدیریت محترم نگهداری و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب تهران و مدیر محترم امور تصفیه‌خانه آب شماره ۲ تهران که نهایت همکاری را با اینجانب داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

### یادداشت‌ها

- 1-Algal Bloom
- 2-Total Organic Carbon
- 3-Enhanced Coagulation
- 4-Natural Organic Matter
- 5-Disinfection By products
- 6-Disinfection / Disinfection By – products Rule
- 7-Ferric Chloride
- 8-Poly Aluminum Chloride
- 9-Dissolved Organic Carbon
- 10-Ultraviolet absorbance at a wavelength of 254 nm
- 11-Total Trihalomethans
- 12-Specific Ultraviolet Absorption
- 13-Kalium Hydrogen Phthalat

– بر اساس آزمایش باقیمانده آلومینیوم محلول در آب زلال شده ظروف جار، استفاده از PACl در کوآگولاسیون پیشرفته بر خلاف  $FeCl_3$  که به دلیل افزایش آهن محلول در آب ایجاد طعم و بو و رنگ می‌کند، فاقد هر گونه عوارض بهداشتی است.

– درصد حذف تری‌هالومتان در استفاده از PACl نسبت به  $FeCl_3$  ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر نشان می‌دهد.

– در استفاده از PACl نسبت به فریک کلراید، سایز ذرات تشکیل شده درشت‌تر، سرعت ته نشینی فلوک‌ها بیشتر است و درصد جمعی لجن ته نشین شده بیشتری را نشان داد.

– در استفاده از PACl نسبت به  $FeCl_3$ ، ۱۰٪ افزایش حذف  $TOC, DOC, UV_{254}$  را نشان می‌دهد.

– درصد حذف کدورت باقیمانده پس از ته نشینی PACl نسبت به  $FeCl_3$  بیشتر است. بنابراین میزان کدورت و مواد آلی ورودی به فیلتر در استفاده از PACl کمتر و به دنبال آن بازده فیلتراسیون و فاصله زمان عملیات شست‌وشوی صافی‌ها بیشتر و هدر رفت انرژی و آب ناشی از عملیات شست‌وشوی معکوس صافی‌ها کمتر خواهد بود.

### منابع مورد استفاده

کاوامورا، س. ۱۳۸۶. (طراحی و راهبری جامع تأسیسات تصفیه آب) مترجمان دکتر علی ترابیان، علی اصغر قدیم‌خانی، انتشارات دانشگاه تهران.

بدلیان، گ. قلی‌کندی. ۱۳۸۶. "مقایسه پلی‌آلومینیوم کلراید، فریک کلراید، سولفات آلومینیوم در شرایط انعقاد متداول در حذف کدورت" پروژه تحقیقاتی شرکت آب و فاضلاب تهران.

Edwald, J.K; J.E., Tobiason. 1999. Enhanced Coagulation: u.s. Requirements and a Broader View, J. Wat. Sci. Tech, Vol. 40, No.9, PP.63-70.

Montgomery, J.M. 1985. Water Treatment Principals and design, Published by John Wile and Sons. PP.352-372

Standard Methods for the examination of water and wastewater .2005. 21 St Edition.

U.S. Environmental Protection Agency .2002. Ground Water and Drinking Water Current Drinking Water Standards, Available from: <http://www.epa.gov/safewater/ndbp.html>

U.S. Environmental Protection Agency .1999. Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitate Softening Guidance Manual, Office of Water (4607).

Volk, Ch., et al. 2000. Impact of Enhanced and Optimized Coagulation on Removal of Organic Matter and its Biodegradable Fraction in Drinking Water. j. Wat. Res. Vol.34.No.12.PP.3247-3257