مقایسه عملکرد پلی‌آلومینیوم کلراید (PACl) و فریک کلراید ($FeCl_3$) در حذف کدورت و مواد آلی منابع آب، مطالعه موردی: رودخانه کرج، تصفیه‌خانه آب شماره ۲ تهران

محمد عبداله زاده[۱] علی ترابیان[۲] امیرحسام حسنی[۳]

(دریافت ۸۷/۸/۱۲ پذیرش ۸۷/۱۱/۵)

چکیده

در تصفیه‌خانه‌های آب، علاوه بر تعیین ماده منعقد کننده مناسب برای حذف کدورت و مواد آلی، یافتن روشهایی که در عین کارایی مؤثر منجر به کاهش مقدار مصرف و هزینه‌ها شود از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این تحقیق با انجام آزمایش‌های جار، اثر کدورت، pH و کل کربن آلی، بر روی منعقدکننده‌های فریک کلراید ($FeCl_3$) و پلی‌آلومینیوم کلراید (PACl)، برای حذف بیشتر کدورت و کل کربن آلی، کربن آلی محلول، جذب ماده آلی در طول موج ۲۵٤ نانومتر ($UV_{254}nm$)، قلیائیت، آلومینیوم و آهن باقیمانده، تری‌هالومتان‌ها (THM_S)، از آب رودخانه کرج در سال ۱۳۸٦ در ورودی تصفیه‌خانه آب شماره ۲ تهران با شرایط کواگولاسیون متداول مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در مقادیر pH طبیعی و پایه، PACl اثر بیشتری را در حذف کدورت، TOC، DOC، UV_{254} و THM_S نسبت به $FeCl_3$ نشان می‌دهد. نتایج این بررسی‌ها عملکرد بهتر پلی آلومینیوم کلراید را در مقایسه با فریک کلراید از نظر مصرف کمتر مواد منعقدکننده، تشکیل لخته‌های درشت‌تر، کاهش مدت زمان ته‌نشینی لخته، تولید لجن با ضریب چسبندگی بیشتر، عدم نیاز به تنظیم pH در کدورتهای ۲ تا ۵NTU و نیاز به مقدار آهک کمتر در سایر کدورتهای مورد آزمایش تا ۱۰۰ NTU نشان داد. همچنین نتایج این بررسی‌ها نشان داد که در کدورتهای پایین (۲NTU) و کدورتهای بیشینه (۱۰۰ NTU) با PACl، درصد حذف کدورت، TOC، DOC، $UV_{254}nm$ بیشتر و افت pH و قلیائیت نسبت به فریک کلراید کمتر است. در نهایت PACl را می‌توان به‌عنوان جایگزین مناسب و اقتصادی برای فریک کلراید در واحد انعقاد فرایند تصفیه آب تهران پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آلومینیوم کلراید (PACl)، فریک کلراید($FeCl_3$) ، انعقاد و لخته‌سازی متداول.

Comparison of the Performance of Poly Aluminum Chloride (PACl), Ferric Chloride ($FeCl_3$), in Turbidity and Organic Matter Removal; from Water Source, Case-Study: Karaj River, in Tehran Water Treatment Plant No. 2

Mohammad Abdolah zadeh [1] Ali Torabian [2] Amir Hesam Hassani [3]

(Received June 11, 2008 Accepted Jan. 30, 2009)

Abstract

Coagulation and flocculation are the principal units in water treatment processes. In this study, the Jar test was used to investigate the effects of the pH and TOC on $FeCl_3$ and PACl coagulants for further removal of turbidity, organic matter, aluminum, total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), organic Aadsorption at a wavelength of 254 nm ($UV_{254\ nm}$), alkalinity, residual aluminum and ferric, total trihalomethans (TTHMs) in the Karaj River in the year 2007- 2008. These experiments were conducted through a bench scale study using conventional coagulation in the influent to Tehran Water Treatment Plant No. 2 (TWTP2).With normal pH levels, PACl demonstrated more efficiency than $FeCl_3$ in removing turbidity, TOC, $UV_{254\ nm}$, and TTHMs. The lower coagulant consumption, high floc size, lower floc detention time, lower sludge production, lack of the need for pH adjustment in turbidity of 25 NTU and the lower alum consumption were the advantages of PACl application instead of $FeCl_3$ as a coagulant. Also, PACl application was efficient at low turbidity (2 NTU), average turbidity (6 NTU), and high turbidity (100 NTU) in TOC, turbidity, $UV254_{\ nm}$, and DOC removal. Thus, PACl is an economical alternative as a coagulant in TWTP2.

Keywords: Poly Aluminum Chloride (PACl), Ferric Chloride ($FeCl_3$), Conventional Coagulation and Flocculation.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، امور نگهداری و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب تهران، (نویسنده مسئول) ۸۱۷۵۲٦۷٤ (۰۲۱)، Abdollahzadeh.278@gmail.com
۲- دانشیار دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

1. M.Sc. of Environmental Engineering Water & Wastewater Eengineer, Maintenance and Operation of Tehran Water Treatment Plants Directory, (Corresponding Author) (+98 21) 81752674 Abdollahzadeh.278@gmail.com
2. Assoc. Prof., Dept. of Environmental Engineering, University of Tehran
3. Assist. Prof., Dept. of Energy and Environment, Islamic Azad University of Tehran

۱- مقدمه

در حال حاضر یکی از مشکلات و معضلات منابع آب تهران ورود ترکیبات آلی به این منابع است. این مواد از تجزیه بقایای گیاهی و تخلیه فاضلابهای شهری، صنعتی و کشاورزی به این منابع ایجاد می‌گردند. در تصفیه‌خانه‌های آب تهران از مواد منعقدکننده قدیمی نظیر کلرورفریک ($FeCl_3$) استفاده می‌شود، در حالی‌که بسیاری از مواد منعقدکننده جدید نظیر پلی‌آلومینیوم کلراید (PACl) دارای عملکرد بهتری بوده و می‌توانند جایگزین این ترکیبات گردند. لذا در این تحقیق، مقایسه عملکرد مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده در حذف کدورت و کل کربن آلی[1]، کربن آلی محلول[2]، جذب ماده آلی در طول موج ۲۵۴ نانومتر، میزان کاهش قلیائیت و pH در شرایط مختلف کواگولاسیون متداول و امکان‌سنجی جایگزینی PACl به‌جای $FeCl_3$ در آب رودخانه کرج، تصفیه‌خانه آب شماره ۲ تهران مورد بررسی قرار گرفت.

ناخالصی‌هایی که در طول چرخه هیدرولیکی و فعالیتهای انسان به آب اضافه می‌شوند می‌توانند به دو صورت محلول و معلق باشند. کلوئیدها ذرات بسیار ریزی هستند که از لحاظ فنی معلق بوده ولی اغلب بسیاری از خصوصیات مواد محلول را نشان می‌دهند [۱].

تری‌هالومتان‌ها (THM_s) که از محصولات جانبی ضدعفونی هستند، برای اولین بار در دهه هفتاد شناسایی شدند و این مسئله ضرورت تحقیق در مورد تشکیل این مواد در اثر فرایند تصفیه را بیشتر می‌کند. اثرات سمّی این ریز آلاینده‌ها در آب به سه دسته موتاژنیکی[3]، تراتوژنیکی[4] و کارسینوژنیکی[5] تقسیم می‌شود. تحقیقات اپیدمیولوژیک احتمال وجود رابطه‌ای بین اثرات موتاژنیکی آب آشامیدنی و خطر لنفوم، سرطان پانکراس، مثانه، معده و کلیه را نشان دادند[۲].

برخی از مطالعات انجام شده در ایران در زمینه PACl به شرح زیر است:

• تعیین ماده منعقدکننده مناسب برای حذف کدورت در تصفیه‌خانه‌ها در سال ۱۳۸۲ در تصفیه‌خانه ۳ و ۴ تهران انجام یافته است [۳].

• در دانشگاه صنعتی امیرکبیر با هدف بررسی مقایسه ماده منعقدکننده PACl با کلرید فریک، بهینه‌سازی شرایط کاربرد و بررسی استفاده توأم آن با بنتونیت برای حذف کدورت از آب خام تهران (تصفیه خانه جلالیه) صورت گرفته است [۴].

• تحقیق دیگری با عنوان مقایسه کارایی عصاره دانه مورینگا اولیفرا و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت آب در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان صورت پذیرفته است [۵].

• ارزیابی تأثیر نوع منعقد کننده بر شاخصهای بهره‌برداری در فرایند فیلتراسیون مستقیم در دانشکده مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران صورت پذیرفته است [۶].

۲- روش کار

آزمایش جار با استفاده از آب خام در ظروف جار با حجم‌های یک لیتری و با نمونه‌برداری از عمق ۳ سانتی‌متر از سطح آب صورت گرفت. برنامه ریزی دستگاه جارتست با روند زیر دنبال گردید. 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 آنالیز قرار گرفتند.

۲-۱- نمونه برداری و نگهداری

نمونه‌برداری از آذرماه سال ۱۳۸۵ به‌مدت یک‌سال از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه کن مطابق با خصوصیات جدول ۱ و منطبق با روشهای استاندارد آنالیزآب ویرایش ۲۱ سال ۲۰۰۵، انجام شد و در آزمایشگاه شیمی فیزیک و میکروبیولوژی تصفیه‌خانه کن با رعایت قانون نمونه‌برداری- نمونه جزئی از کل باشد- مورد آنالیز قرار گرفت [۷]. در این تحقیق آنچه حائز اهمیت بود ثابت ماندن ماهیت فیزیکی و شیمیایی آب مورد استفاده به گونه‌ای بود که حتی الامکان کدورت نمونه‌ها مشابه کدورتهای ایجاد شده در فصلهای مختلف سال، حاصل از بارندگی باشد. بنابراین نمونه‌ها در طول یک‌سال بررسی شد و حتی‌الامکان سعی گردید از

جدول ۱- پارامترهای کیفی آب خام ورودی به تصفیه خانه کن (رودخانه کرج)

پارامتر	مقدار (بر حسب متوسط سالیانه)
TOC(mg/L)	۳
DOC(mg/L)	۲/۷۵
کدورت	۶
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۴
pH	۷/۹۵
قلیائیت (mg/L as $CaCO_3$)	۱۲۰
UV_{254}(1/Cm)	۰/۱
SUVA(1/mg.m)[6]	۱/۹
هدایت الکتریکی	۳۸۸
THMFP(µg/l)[7]	۱۸۰

[1] Total Organic Carbon (TOC)
[2] Disolved Organic Carbon (DOC)
[3] Mutagenic
[4] Teratogenic
[5] Carcinogenic
[6] Specific Ultra Violet Absorption
[7] پتانسیل تشکیل تری‌هالومتان‌ها

کدورت واقعی ورودی به تصفیه‌خانه متناسب با کدورت مورد نیاز، نمونه‌برداری شود و اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار گیرد.

۲-۲- روشهای اندازه‌گیری

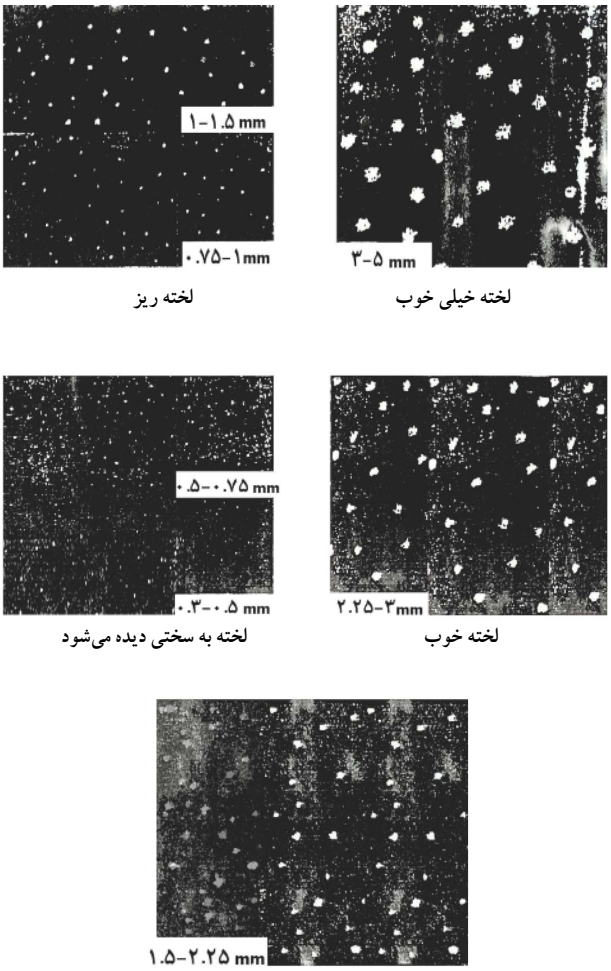
کدورت از روش نفلومتری[1] با استفاده از دستگاه N ۲۱۰۰ محصول شرکت هچ[2] آمریکا اندازه‌گیری شد.

pH با استفاده از دستگاه متروم[3] سوئیس مدل ۸۳۰ که روزانه با استفاده از محلولهای بافر استاندارد کالیبره می‌شد، اندازه‌گیری گردید. قلیائیت با استفاده از روش تیتراسیون استاندارد متد ۲۰۰۱ ویرایش ۲۱ اندازه‌گیری گردید. TOC با استفاده از استاندارد متد[4] روش SM اکسیداسیون فرابنفش پرسولفات با دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 متد ۱۰۱۲۹ با دامنه ۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کرمن مورد آنالیز قرار گرفت. DOC، مطابق با استاندارد روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 روش ۱۰۱۲۹ در دامنه ۰ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کربن بعد از فیلتر کردن نمونه از صافی با مش ۰/۴۵ میکرون بدون کربن آلی تولید شرکت MN آلمان، اندازه‌گیری گردید. UV_{254}[5] با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 با روش ۱۰۰۵۴ بعد از فیلتر کردن نمونه از صافی ۰/۴۵ میکرون (فاقد کربن آلی و نیترات) با استفاده از سل‌های کوارتز به طول ۱ و ۵ سانتی‌متری مورد جذب ویژه فرابنفش آنالیز قرار گرفت. SUVA[6] از تقسیم UV_{254} به غلظت DOC (mg/L) محاسبه شد. کل آلومینیوم و آهن باقیمانده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 محصول شرکت هچ آمریکا مورد آنالیز قرار گرفت [۸].

THM_S مطابق با روش ۶۲۳۱ استاندارد متد نمونه‌برداری و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR/4000 محصول شرکت هچ آمریکا با روش ۱۰۱۳۲ در محدوده ۰ تا ۲۰۰ ppb مورد آنالیز قرار گرفت. تمام دستگاهها مطابق با دستورالعمل راهنمای دستگاه، قبل از استفاده کالیبره می‌شد.

شاخص کیفی اندازه ذرات لخته[7] با استفاده از شکل ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

در بخش اول، غلظتهای بهینه دو ماده منعقدکننده PACl و $FeCl_3$ در محدوده کدورت ۲ تا ۱۰۰ NTU تعیین گردید و روند



شکل ۱- شاخص کیفی اندازه فلوک

تغییرات پارامترهای کمّی شامل کدورت باقیمانده، pH، TOC، UV_{254}، DOC و قلیائیت در حالت قبل و بعد از آزمایش جار و پارامترهای کیفی شامل اندازه ذرات، سرعت ته‌نشینی ذرات و اندیس حجمی لجن مورد مقایسه قرار گرفت. در بخش دوم، با افزودن ماده آلی در غلظتهای ۱۰،۱۵، ۵، ۳، ۱ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر، تأثیرات افزایش ماده آلی در دوزهای بهینه تعیین شده در بخش اول، به‌صورت پارامترهای کمّی و کیفی بررسی گردید. در مرحله سوم، تأثیر پلی الکترولیت حذف پارامترهای یاد شده مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۳- مواد شیمیایی مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق، کلرورفریک ۳۷ درصد و پلی آلومینیوم کلراید مایع با غلظت ۱۳درصد، یون فعال AL_2O_3 به‌عنوان منعقدکننده و پتاسیم هیدروژن فتالات صد در صد خالص شرکت مرک[8] به‌عنوان استاندارد

[1] Nephelometric Method
[2] HACH
[3] Metrohm
[4] Persulfate-ultraviolet Oxidation 5310 C
[5] Spectral Absorption Coefficient (SAC)
[6] جذب ویژه فرابنفش
[7] Floc
[8] Merck Pro Analysi KHP

ماده آلی مورد استفاده قرار گرفت. تمام آزمایش‌های جار در دمای یعنی اتاق ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. از اسید سولفوکرومیک به‌عنوان حذف کننده مواد آلی از سطوح ظروف آلوده و سطح میله و پدال‌های همزن دستگاه جار استفاده می‌گردید. تمامی غلظتهای ماده منعقدکننده بر اساس یون فعال مطابق با بخش ۳ کتاب حفاظت محیط زیست آمریکا[1] تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند [۹].

۲-۴- مشخصات منعقدکننده‌های مورد استفاده در تحقیق

قبل از انجام آزمایش TOC، DOC و $UV_{254\ nm}$، مطابق شکل ۲، استاندارد TOC با استفاده از KHP ساخت کارخانه مرک[2] آلمان مطابق دستورالعمل استاندارد متد آب و فاضلاب تهیه گردید و غلظتهای مختلف ماده آلی بر حسب جذب در طول موج ۲۴۵ نانومتر رسم گردید. در جدول ۲ مشخصات شیمیایی و فیزیکی منعقدکننده و پلی‌الکترولیت مصرفی در این تحقیق نشان داده شده است.

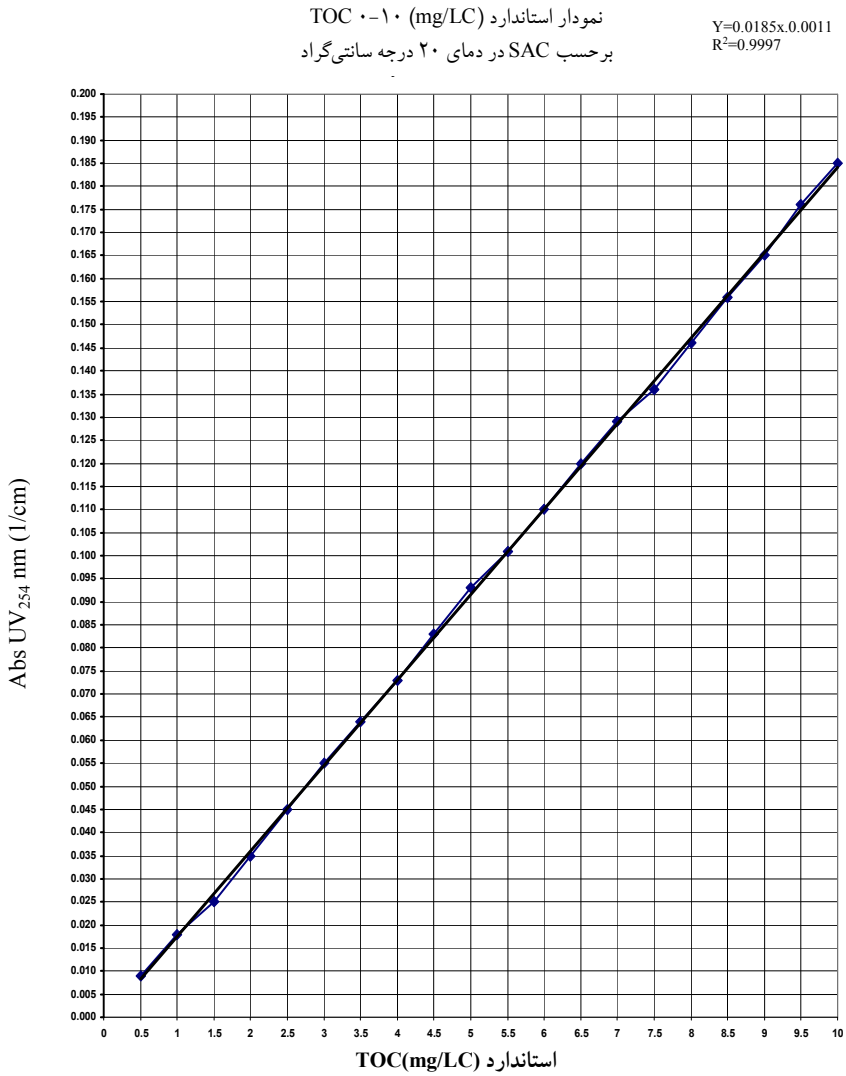
اصول نمونه‌برداری (ظروف، حجم نمونه، نگهداری و زمان ماند) طبق جدول I: ۱۰۶۰ کتاب استاندارد متد و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) انجام شد [۹].

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تعیین دوز بهینه منعقدکننده‌ها

کدورتهای مختلف ۲، ۶، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ NTU مورد آزمایش جار قرار گرفت و دوز بهینه عملی برای هر کدام مشخص گردید. نتایج هر کدام از کدورتها در جدول ۳ و شکلهای مربوط به آن ارائه شده است.

[1] EPA 815-R-99-012
[2] Merck



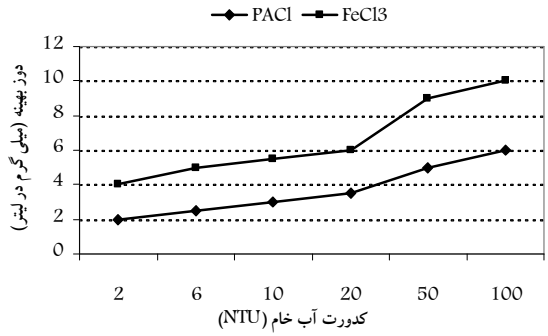
شکل ۲- استاندارد TOC بر حسب UV_{254} در محدوده ۱۰mg/LC — ۰

جدول ۲- مشخصات شیمیایی و فیزیکی منعقدکننده‌ها

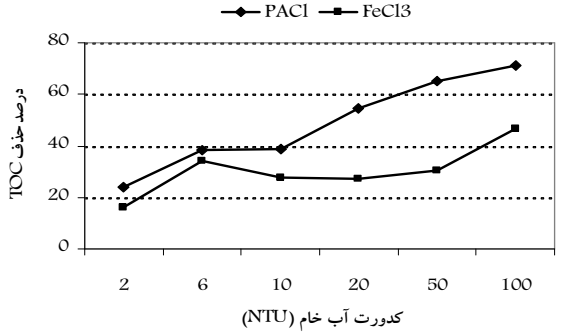
	PACl	کلرور فریک
مشخصات ظاهری	مایع زرد مایل به قهوه‌ای	مایع قرمز
آلومینا Al_2O_3 (درصد)	۱۴-۱۶	۳۵-۴۷
دانسیته نسبی	۱/۳-۱/۳۵	۱/۳-۱/۵
pH محلول	۳/۵-۵	۱/۵-۲
سولفات (درصد)	<۱	درصد وزنی کلرور فریک حداکثر mg/L ۰/۵
خاصیت بازی	۷۰-۹۰	
مواد غیر محلول (درصد)	-	-
آمینو نیتروژن (درصد)	۰/۰۱	-
منگنز (درصد)	۰/۰۰۲۵	-
سرب (درصد)	۰/۰۰۱	-
کادمیم (درصد)	۰/۰۰۰۲	-
کروم (درصد)	۰/۰۰۰۵	-
آرسنیک (درصد)	۰/۰۰۰۵	-
جیوه (درصد)	۰/۰۰۰۰۲	-
نوع بار	کاتیونی	کاتیونی

جدول ۳- نتایج بخش اول تحقیق، تعیین دوز بهینه منعقدکننده‌ها

کدورت آب خام NTU	PACl					FeCl3				
	دوز بهینه mg/L	درصد حذف TOC	درصد حذف DOC	درصد حذف uv_{254}	کدورت باقیمانده	درصد حذف کدورت	دوز بهینه mg/L	درصد حذف TOC	درصد حذف DOC	درصد حذف uv_{254}	کدورت باقیمانده	درصد حذف کدورت
۲	۲	۲۴	۱۶/۷	۲۰	۰/۳	۸۵	۴	۱۶	۱۶/۷	۲۰	۰/۵۸	۷۱
۶	۲/۵	۳۸/۶	۳۰	۴۲/۸	۰/۲	۹۶/۶۶	۵	۳۴/۳	۱۲/۵	۱۴/۳	۰/۹۵	۸۴/۳
۱۰	۳	۳۸/۹	۵۱/۶	۵۴/۵	۰/۲	۹۸	۵/۵	۲۷/۸	۱۷/۷	۱۸/۲	۰/۸	۹۲
۲۰	۳/۵	۵۴/۵	۴۴/۴	۴۶/۱	۰/۳	۹۸/۵	۶	۲۷/۳	۱۵/۳	۱۵/۴	۰/۵۱	۹۷/۵
۵۰	۵	۶۵/۲	۴۲/۸	۴۲/۱	۰/۱۲	۹۹/۷۶	۹	۳۰/۴	۳۳/۳	۳۱/۶	۰/۷۲	۹۹/۱
۱۰۰	۶	۷۱/۴	۴۱/۴	۴۴/۴	۰/۱۸	۹۹/۸۲	۱۰	۴۶/۷	۳۱/۰	۳۳/۳	۰/۷۲	۹۹/۳



شکل ۳- دوز بهینه PACl و $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰



شکل ۴- حذف TOC در دوز بهینه PACl و $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰

۳-۲-کدورت ثابت، ماده آلی متغیر

برای هر کدام از کدورتهای ۲، ۶، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و NTU۱۰۰، یک آزمایش جار با ماده آلی استاندارد KHP در بازه ۰/۵، ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، با $FeCl_3$ و PACl انجام شد. در جدولهای ۴ و ۵ غلظت باقیمانده و درصد حذف هر کدام از پارامترهای TOC، DOC، UV_{254}، کدورت و قلیائیت در آب ته‌نشین شده آزمون‌های جار، مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۳-کدورت متغیر، ماده آلی ثابت با کلرورفریک

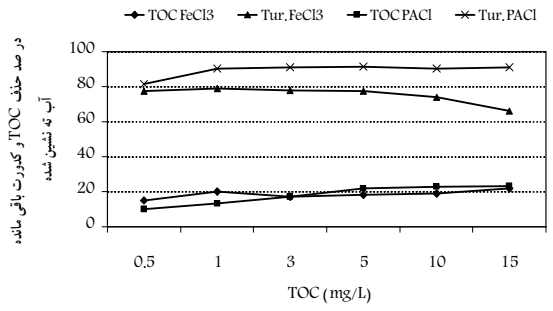
آزمایش جار با شرایط کدورت ۲، ۶، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و NTU۱۰۰ و برای هر کدام از ماده آلی در محدوده ۰/۵، ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر انجام شد. نتایج ظرف جار شماره ۱ تا ۶ به‌ترتیب

جدول ۴- جمع بندی نتایج بخش۳-۲ در کمترین ماده آلی (۰/۵ mg/L)

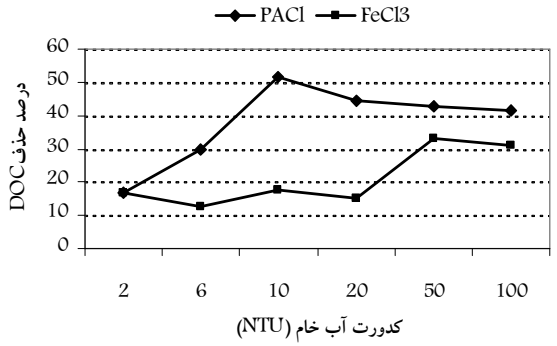
کدورت آب خام NTU	PACl				$FeCl_3$			
	میزان تزریق mg/L	درصد حذف TOC	درصد حذف UV_{254}	کدورت باقیمانده NTU	میزان تزریق mg/L	درصد حذف TOC	درصد حذف UV_{254}	کدورت باقیمانده NTU
۲	۲	۱۰	۲۱/۴	۰/۴	۴	۱۵	۱۴/۳	۰/۲
۶	۳	۳۳/۳	۲۵	۰/۲	۵	۲۳/۵	۲۳/۱	۰/۷
۱۰	۳/۵	۳۱/۴	۲۶/۳	۰/۲	۵/۵	۲۸/۶	۲۱/۱	۰/۴۵
۲۰	۴	۳۸/۹	۳۷	۰/۲	۶	۳۳/۳	۳۳/۳	۰/۳
۵۰	۵	۴۲/۹	۳۰	۰/۱	۹	۳۹/۳	۲۶/۷	۰/۵
۱۰۰	۶	۵۲/۵	۳۷/۸	۰/۱	۱۰	۵۰	۳۲/۴	۰/۳۲

جدول ۵- جمع بندی نتایج بخش۳-۲ تحقیق در بیشترین ماده آلی (۱۵ mg/L)

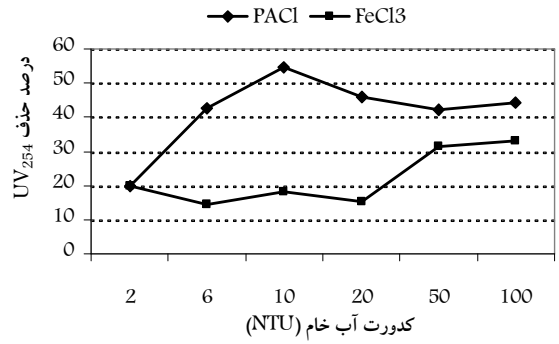
کدورت آب خام NTU	PACl				$FeCl_3$			
	میزان تزریق mg/L	درصد حذف TOC	درصد حذف UV_{254}	کدورت باقیمانده NTU	میزان تزریق mg/L	درصد حذف TOC	درصد حذف UV_{254}	کدورت باقیمانده NTU
۲	۲	۲۳/۲	۲۶/۵	۰/۲	۴	۲۲	۲۴/۹	۰/۷
۶	۳	۲۶/۷	۲۶/۵	۰/۳	۵	۱۶/۵	۱۹/۹	۱/۳
۱۰	۳/۵	۲۸/۳	۲۸/۲	۰/۲	۵/۵	۱۳/۲	۱۲/۷	۰/۸
۲۰	۴	۲۵/۲	۲۴/۱	۰/۲	۶	۱۵/۹	۱۹/۷	۰/۸
۵۰	۵	۳۱/۸	۲۸/۸	۰/۱	۹	۱۷/۹	۱۵/۳	۰/۹
۱۰۰	۶	۲۸/۶	۳۰/۱	۰/۲	۱۰	۲۱/۶	۱۹/۱	۰/۹



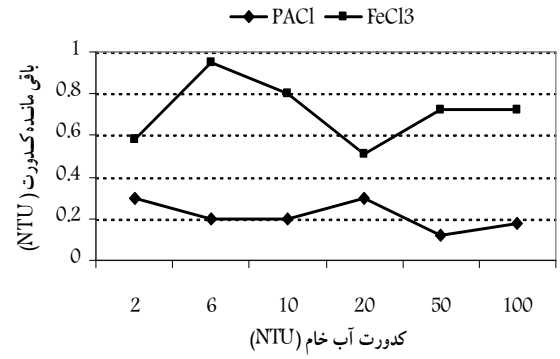
شکل ۹- مقایسه حذف TOC و کدورت با دوز منعقد کننده ($FeCl_3$ و PACl) در کدورت NTU۲



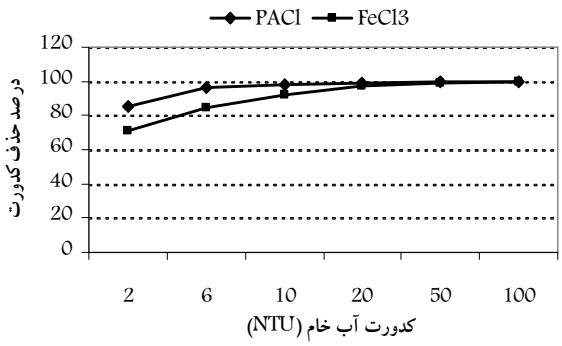
شکل ۵- حذف DOC در دوز بهینه PACl و $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰



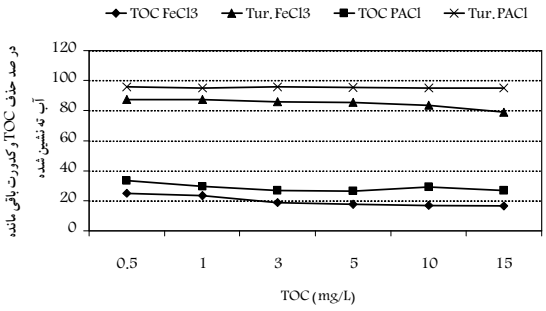
شکل ۶- حذف جذب ماده آلی در طول موج ۲۵۴ نانومتر در دوز بهینه ۲ تا NTU۱۰۰



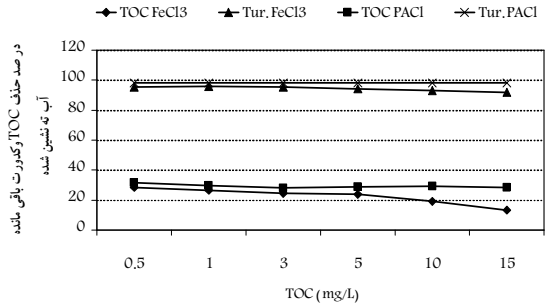
شکل ۷- باقی‌مانده کدورت در دوز بهینه PACl و $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰



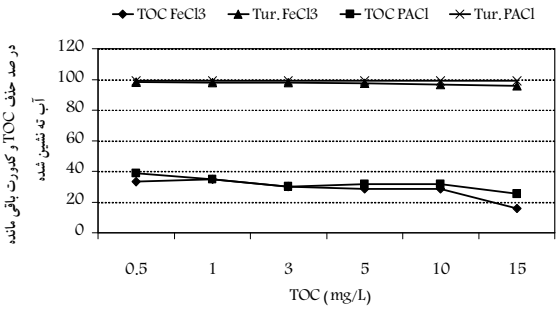
شکل ۸- باقی‌مانده کدورت در دوز بهینه PACl و $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰



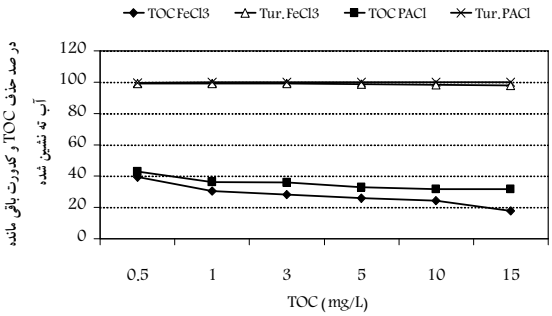
شکل ۱۰- مقایسه حذف TOC و کدورت با دوز منعقد کننده ($FeCl_3$ و PACl) در کدورت NTU۶



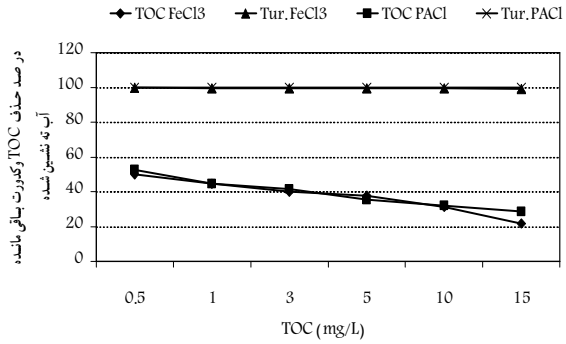
شکل ۱۱- مقایسه حذف TOC و کدورت با دوز منعقد کننده ($FeCl_3$ و PACl) در کدورت NTU۱۰



شکل ۱۲- مقایسه حذف TOC و کدورت با دوز منعقد کننده ($FeCl_3$ و PACl) در کدورت NTU۲۰

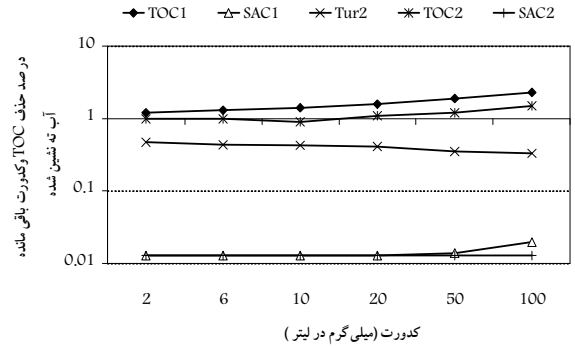


شکل ۱۳- مقایسه حذف TOC و کدورت با دوز منعقد کننده ($FeCl_3$ و PACl) در کدورت NTU۵۰

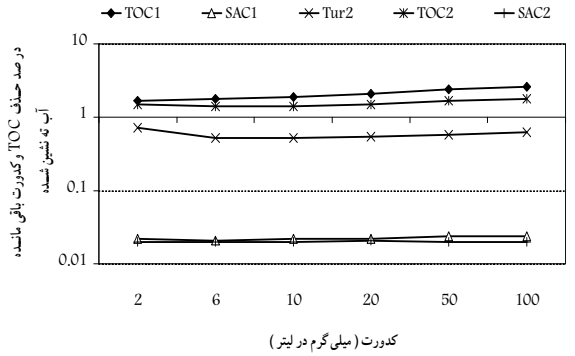


شکل ۱۴- مقایسه حذف TOC و کدورت با دوز منعقد کننده ($FeCl_3$ و PACl) در کدورت NTU۱۰۰

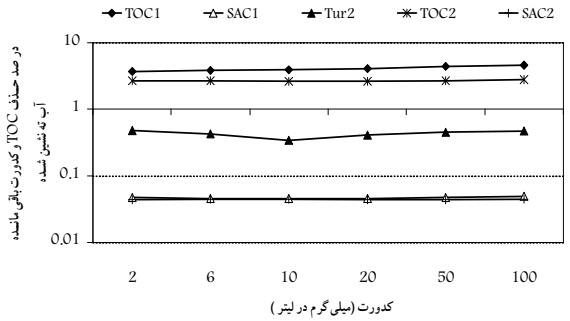
در شکلهای ۱۵ تا ۲۰ ارائه شده است. لازم به‌ذکر است با توجه به بررسی نتایج این بخش با بخشهای قبلی و مشابه و تکراری بودن نتایج، از انجام این آزمایش با PACl، خودداری گردید. در این بخش حداکثر حذف TOC در کدورت NTU ۱۰۰ در TOC برابر ۵ میلی‌گرم در لیتر و حداقل حذف TOC در کدورت NTU ۲ در TOC برابر ۱ میلی‌گرم در لیتر اتفاق افتاده است.



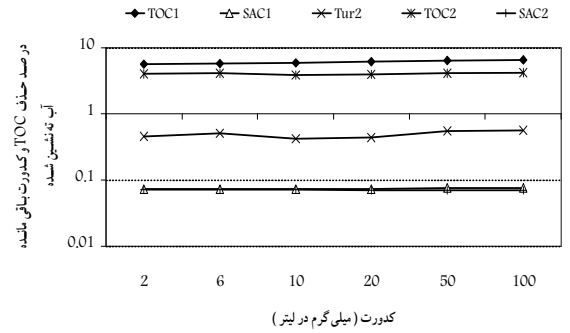
شکل ۱۵- بررسی ماده منعقد کننده $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰ و TOC برابر ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر



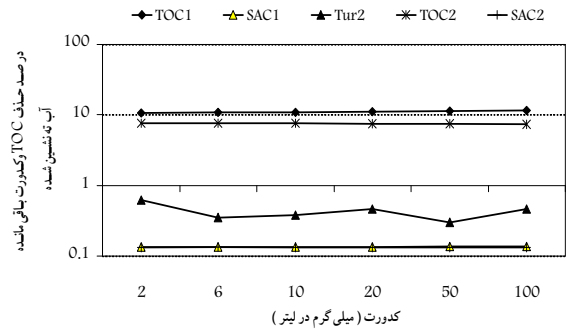
شکل ۱۶- بررسی ماده منعقد کننده $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا NTU۱۰۰ و TOC برابر ۱ میلی‌گرم در لیتر



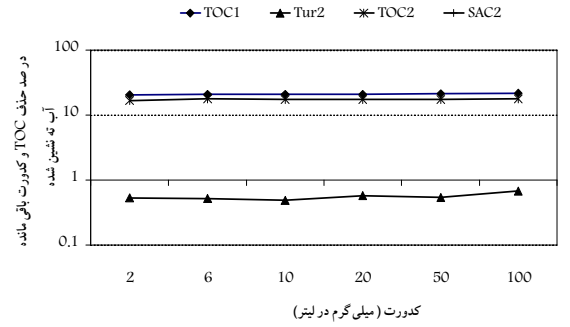
شکل ۱۷- بررسی ماده منعقد کننده $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا ۱۰۰NTU و TOC برابر ۳ میلی‌گرم در لیتر



شکل ۱۸- بررسی ماده منعقد کننده $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا ۱۰۰NTU و TOC برابر ۵ میلی‌گرم در لیتر



شکل ۱۹- بررسی ماده منعقد کننده $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا ۱۰۰NTU و TOC برابر ۱۰ میلی‌گرم در لیتر



شکل ۲۰- بررسی ماده منعقد کننده $FeCl_3$ در کدورت ۲ تا ۱۰۰NTU و TOC برابر ۲۰ میلی‌گرم در لیتر

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق عبارت‌اند از:

• PACl مایع به‌عنوان منعقد کننده در حذف کدورت، کل کربن آلی و کربن آلی محلول، بهتر از کلرورفریک در منابع آب رودخانه کرج عمل می‌کنند.

• تغییرات در حذف مواد آلی طبیعی به شرایط انعقاد، کیفیت آب و فرایند تصفیه بستگی دارد.

• پلی آلومینیوم کلراید در حذف مواد آلی طبیعی مؤثر است. مطالعاتی که در ارتباط با این منعقدکننده صورت گرفت، نشان داد که پلی آلومینیوم کلراید مؤثرتر از کلرور فریک در حذف پیش‌سازها و ماده آلی عمل می‌نمایند و این در صورتی است که دوز پایین‌تری از این منعقدکننده استفاده می‌شود.

• با توجه به این که منعقد کننده PACl به‌تنهایی خیلی بهتر از کلرورفریک در حذف کدورت و ماده آلی عمل می‌کند، نیازی به استفاده از منعقدکننده‌های پلیمری آلی و معدنی در حذف پیش‌سازها نیست.

• غلظتهای بهینه دو ماده منعقدکننده کلرید فریک، پلی آلومینیوم کلراید، و میزان کدورت و pH ثانویه به‌دست آمد. مقایسه صورت گرفته نشان می‌دهد که افت pH هنگامی که از PACl استفاده می‌گردد کمتر از زمانی است که کلرورفریک به‌کار گرفته می‌شود.

• در تمامی کدورتهای مورد آزمایش، پلی آلومینیوم کلراید مایع مورد استفاده ، در شفاف سازی و حذف کدورت آب خیلی بهتر از کلرورفریک عمل می‌کند و مناسب‌تر است. به‌طور متوسط میزان شفافیت آب با استفاده از PACl ، ۶۰ درصد بیشتر از کلرورفریک می‌باشد.

• مقدار متوسط کاهش مصرف مواد شیمیایی و صرفه جویی ناشی از PACl به‌میزان ۴۵ تا ۶۰ درصد در محدوده کدورت ۲ تا ۱۰۰NTU است. بنابراین در زمینه مصرف بهینه مواد شیمیایی نیز، PACl مناسب‌تر از کلرور فریک به‌نظر می‌رسد.

• استفاده از کلرورفریک، سبب کاهش pH آب رودخانه کرج به میزان ۰/۱۴ به ازای هر میلی‌گرم در لیتر کلرورفریک می شود و این مقدار با مصرف PACl در محدوده ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ به ازای هر میلی‌گرم در لیتر منعقد کننده می‌رسد. بنابراین با مصرف PACl نیاز به استفاده از کمک منعقدکننده (آب آهک) برای تنظیم pH نیست. هزینه‌های مربوط به خرید، مصرف و انبار را ندارد و مقرون به صرفه است.

• استفاده از PACl موجب افزایش مقدار لجن تولیدی در فرایند زلال سازی به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد می شود و این به معنی کاهش بار بیولوژیکی ورودی به فیلترها در فرایند انعقاد به این

مقدار بوده و از نظر رعایت آثار زیست محیطی فرایند فیلتراسیون مناسب‌تر است و تعداد دفعات شستشوی صافی‌ها را کم می‌کند.

• اندازه ذرات لخته تشکیل شده توسط PACl در مقایسه با کلرورفریک به هیچ وجه کاهش نیافته و در حد لخته‌های خوب (۲/۲۵ تا ۳ میلی‌متر) بوده و در مرحله لخته سازی و ته نشینی، استحکام لخته های ناشی از PACl مناسب‌تر از کلرورفریک است.

• مدت زمان تشکیل نخستین لخته PACl به‌مراتب خیلی کمتر از کلرورفریک است به‌طوری‌که در بعضی از آزمایش‌ها به ۳۵ ثانیه رسید. ولی در مورد کلرورفریک ۴ تا ۱۰ دقیقه به طول می‌انجامید. بنابراین با توجه به شرایط فعلی آبگیری بیش از حد ظرفیت طراحی در تصفیه خانه کن(ظرفیت طراحی l/s ۸۰۰۰ و حجم بهره‌برداری فعلی l/s ۹۴۰۰) به‌نظر می رسد این ماده مناسب‌تر از کلرورفریک عمل خواهد نمود؛ زیرا مکانیسم سرعت واکنش و سرعت ته‌نشینی این ماده نسبت به کلرورفریک خیلی بیشتر است و قابل مقایسه با آن نمی‌باشد.

• از آنجایی‌که در تهیه کلرورفریک از مواد اولیه ارزان قیمت و نامرغوب (آهن قراضه) استفاده می‌شود، فلزات سنگین نظیر سرب، جیوه، کادمیم، ارسنیک و غیره به‌همراه آن وارد آب می‌شوند؛ در حالی‌که PACl از مواد اولیه بسیار مرغوب تهیه می‌گردد. همچنین این ماده، خوردگی ندارد و سیستم در اثر استفاده از این ماده از خوردگی مصون است در حالی که استفاده از کلرورفریک، خطر خوردگی را به همراه دارد.

۵- قدردانی

به این وسیله از معاونت محترم بهره برداری آبفای تهران به‌ویژه مدیریت محترم امور نگهداری و بهره‌برداری از تصفیه خانه‌های تهران و مدیر امور تصفیه خانه شماره ۲ تهران که نهایت همکاری را در این تحقیق داشتند، قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

۱- پی وی، ه. س.، راو، د. ر.، و چوپانگلوس،ج. (۱۳۷٤). *مهندسی محیط زیست*، مترجم: کی نژاد، م.ع.، جلد اول، انتشارات دانشگاه سهند، تبریز.

2- Zhang, G., and Wang, Z. (2000). "Mechanism study of the coagulant impact on mutagenic activity in water." *J. Wat.Res*, 34 (6), 1781-1790.

۳- شمسایی، ا.، مطیعی، ه.، و ساکی، ب. (۱۳۸۲). "مقایسه پلی‌آلومینیوم کلراید، کلرور فریک و آلوم در حذف کدورت در منابع آب تهران." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران.

٤- بنی‌هاشمی، آ.، علوی مقدم، م. ر.، مکنون، ر.، و نیک‌آذر، م. (۱۳۸۷). "مطالعه آزمایشگاهی کاربرد پلیمر معدنی آلومینیوم در حذف کدورت از آب." *م. آب و فاضلاب*، ٦٦، ۸۲-۸٦.

٥- بینا، ب.، شاهسونی، ع.، اصغری، غ. ر.، و حسن‌زاده، ا. (۱۳۸٦). "مقایسه کارایی عصاره دانه مورینگا اولیفرا و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت آب." *م. آب و فاضلاب*، ٦۱، ۲٤-۳۳.

٦- ترابیان، ع.، رشیدی مهرآبادی، ع، و صفایی‌فر، م. (۱۳۸٤). " ارزیابی تأثیر نوع منعقده کننده بر شاخصهای بهره‌برداری در فرایند فیلتراسیون مستقیم." *هشتمین همایش بین‌المللی بهداشت محیط*، دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.

7- APHA., AWWA., WPCF. (2005). Standard methods for examination of water and wastewater, 21th Ed., Washington, D.C.

8- Randtke, S. J. (1988). "Organic contaminant removal by coagulation and related proces combinations." *J. AWWA*., 80 (5), 40-54.

9- USEPA. (1999). "Enhanced coagulation and enhanced precipitative softening guidance manual." Office of Water (4607).