مطالعه آزمایشگاهی کاربرد پلیمر معدنی آلومینیم در حذف کدورت از آب

آوید بنی‌هاشمی[۱] محمدرضا علوی مقدم[۲] رضا مکنون[۳] منوچهر نیک‌آذر[۴]

(دریافت ۸٤/۱۰/۲٤ پذیرش ۸٦/۱۰/٤)

چکیده

امروزه در ایران، منعقدکننده‌هایی که بیشترین کاربرد را در تصفیه‌خانه‌های آب دارند، سولفات آلومینیم (آلوم) و کلرید فریک می‌باشند. این در حالی است که در کشورهایی نظیر کانادا، ایتالیا، امریکا، چین، فرانسه و انگلستان و به تازگی در ایران در تصفیه‌خانه باباشیخ علی اصفهان، ماده‌ای به نام پلی آلومینیم کلراید (PACl) جایگزین گردیده است. هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه عملکرد ماده منعقد کننده PACl با کلرید فریک و آلوم، بررسی تأثیر شرایط متغیر دمایی، و مطالعه عملکرد توأم آن با کمک منعقدکننده نشاسته، برای حذف کدورت از آب کدر شبیه‌سازی شده با کائولین، بوده است. نتایج مشاهدات، علاوه بر آشکارسازی روند ته‌نشینی توسط هر یک از منعقدکننده‌های مذکور، نشان از سرعت بالای ته‌نشینی فلاک‌ها با پلی آلومینیم کلراید داشت. بر خلاف دو منعقدکننده آلوم و کلرید فریک، پلی آلومینیم کلراید به تغییرات دمایی آب حساس نبوده و نوسانات کدورت باقی‌مانده دیده نشد. در غلظتهای بالای PACl، افزودن نشاسته تأثیری بر میزان کدورت باقی‌مانده نداشت؛ در حالی که در غلظتهای پایین‌تر، نشاسته به خوبی به عنوان کمک‌منعقدکننده وارد عمل شده و به‌طور قابل توجهی باعث کاهش کدورت باقی‌مانده گردید.

واژه‌های کلیدی: تصفیه آب، انعقاد و لخته سازی، پلی آلومینیم کلراید، کلرید فریک، آلوم، نشاسته.

Lab-scale Study of Water Turbidity Removal Using Aluminum Inorganic Polymer

Avid Banihashemi [1] *Mohammad Reza Alavi Moghaddam [2]*
Reza Maknoun [3] *Manochehr Nikazar [4]*

(Received Jan. 14, 2006 Accepted Jan. 14, 2008)

Abstract

Today, coagulants used for water treatment in Iran are predominantly inorganic salts of iron and aluminum while in many countries like Canada, Italy, U.S., China, France and England, and newly in Iran, In Baba Sheikh Ali Water Treatment Plant in Isfahan, a new coagulant named Polyaluminum Chloride (PACl) is used as the alternative coagulant. The present investigation mainly aims to evaluate: (1) the use of Polyaluminum Chloride in place of Ferric Chloride and Alum used as coagulants, (2) the effect of temperature conditions, and (3) the effectiveness of using PACl doubled with starch as a coagulant aid, for turbidity removal of a simulated turbid water with Kaolin. The results showed the trend of floc settlement and higher settling velocity for PACl flocs as well. Coagulation efficiency of PACl proved not to be sensitive to temperature changes, while Ferric Chloride and Alum did. Starch showed to be an effective coagulant aid only at low doses of PACl.

Keywords: Water Treatment, Coagulation and Flocculation, Polyaluminum Chloride, Ferric Chloride, Alum, Starch, Temperature.

۱- کارشناس ارشد عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، alavim@yahoo. com
۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴- استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

1. Graduate Student of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Amir-Kabir University of Technology
2. Assistant Professor of Civil Engineering and Environmental Engineering, Amir-Kabir University of Technology, alavim@yahoo. com
3. Assistant Professor of Civil Engineering and Environmental Engineering, Amir-Kabir University of Technology
4. Professor of Chemical Engineering, Amir-Kabir University of Technology

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

پیشینه استفاده از مواد منعقد کننده بسیار کهن بوده و به استفاده مصریان از آلوم در ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد باز می‌گردد [۱]. حاصل تحولات طی سالهای متمادی این بود که عمل انعقاد به‌عنوان پیش فرایندی که فیلتراسیون را کامل می‌کند شناخته شد. معمولاً نمکهای فلزی نظیر آلوم، سولفات فریک، سولفات فرو، کلرید فریک، پلیمرهای آلی آنیونی، کاتیونی و غیر یونی، از جمله مواد منعقد کننده می‌باشند [۲]. اخیراً با استفاده از نمکهای معمول آهن و آلومینیم دسته جدیدی از منعقد کننده‌ها تحت نام منعقد کننده‌های پلیمری معدنی[1]، تهیه و در بسیاری از کشورهای دنیا خصوصاً در چین، ژاپن، روسیه و کشورهای اروپای غربی به کار گرفته می‌شوند [۳ و ۴]. از میان آنها، پلی آلومینیم کلراید[2] از معمول‌ترین آنهاست که به صورت گسترده‌ای به کار گرفته می‌شود[۳]. عملکرد نمکهای فلزی غیرآلی، ناپایدارسازی ذرات است که به واسطه فشردگی لایه مضاعف الکتریکی در اطراف ذره کلوئیدی رخ می‌دهد. حال آنکه پلیمرها عملیات ناپایدارسازی را از طریق جذب در سطح ذره کلوئیدی و ایجاد پلهای اتصالی ذره-پلیمر- ذره، انجام می‌دهند [۵]. بنابراین از نمکهای پلیمری فلزی نظیر پلی آلومینیم کلراید، 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 ناپایدارسازی ذره‌ای و در نتیجه رشد سریع‌تر ذرات و نهایتاً بهبود جداسازی را به دنبال خواهد داشت.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسه عملکرد ماده منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید با کلرید فریک و آلوم، بررسی تأثیر شرایط متغییر دمایی بر عملکرد آن در مقایسه با کلرید فریک و آلوم، و همچنین مطالعه عملکرد توأم آن با کمک منعقدکننده نشاسته، برای حذف کدورت از آب کدر شبیه‌سازی شده با کائولین، بوده است.

۲- مواد و روشها

نوع مطالعه در این پژوهش، تحلیلی- کاربردی است. در این مطالعه، ضمن تهیه مصنوعی آب مورد نظر، تأثیر افزودن ماده منعقد کننده به سیستم مورد بررسی دقیق قرار گرفت و مقایسه‌های لازم صورت پذیرفت. برای دستیابی به اهداف پژوهش، آزمایش‌های متعددی با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف انجام شد. برای بررسی خواص پلی آلومینیم کلراید، کدورت مصنوعی به کمک کائولین با آب آشامیدنی تهیه و ساخته شد. آزمایش‌های جار با کمک شش بشر ۱ لیتری انجام شد. زمانهای اختلاط سریع اولیه به مدت ۱ دقیقه با دور ۱۲۰ rpm و اختلاط کُند در مدت ۲۰ دقیقه با دور ۴۰ rpm در نظر گرفته شدند. مواد منعقد کننده مصرفی جامد، شامل پلی آلومینیم کلراید پودری، کلریدفریک، سولفات آلومینیم و نشاسته، پیش از تزریق به صورت محلولهای استاندارد تهیه شده و در هر آزمایش به مقدار مشخص، در نمونه‌ها تزریق گردید. پس از اتمام مرحله اختلاط کُند، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه رها شدند تا ته‌نشینی فلاک‌های تشکیل شده اتفاق افتد. سپس برای بررسی نمونه‌ها پس از ته‌نشینی فلاک‌ها، به کمک پیپت مقدار مورد نیاز آب از ۲ سانتی‌متر زیر سطح نمونه‌ها برداشته و میزان کدورت در دستگاه کدورت سنج قرائت شد. تمامی مراحل این تحقیق در سه مرحله زیر انجام شد: ۱- در مرحله نخست، آزمایش با استفاده از سه ماده منعقد کنندهٔ PACl(I)، آلوم و کلریدفریک به طور جداگانه انجام گرفت. به منظور مقایسه سرعت ته‌نشینی با این سه منعقد کننده و همچنین روند ته‌نشینی فلاک‌ها با هر ماده منعقد کننده، نمونه‌گیری با گذشت ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه پس از آغاز زمان ته‌نشینی انجام شد و داده‌های به دست آمده مقایسه گردید. ۲- در مرحله دوم، اثر تغییرات دمای آب در غلظتهای مختلف از هر سه منعقد کنندهٔ PACl(I)، آلوم و کلرید فریک بررسی شد. دمای آب کدر در چهار دمای ۱/۵، ۵، ۱۰و ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و داده‌های مورد نظر به دست آمد. ۳- در مرحله سوم، اثر تزریق نشاسته در غلظتهای مختلف PACl، در حذف کدورت مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ روند ته نشینی فلاک‌ها را در غلظتهای مختلف مواد منعقد کننده مورد استفاده در این تحقیق نشان می‌دهد. با مقایسه کدورتهای باقی‌مانده در اثر مصرف آلوم (شکل ۱-الف) در زمانهای ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه مشخص می‌شود که سرعت ته‌نشینی در تمامی غلظتهای آلوم مصرفی برابر است. اما چنانچه انتظار می‌رود، سرعت ته‌نشینی فلاک‌ها با گذشت زمان کاهش می‌یابد و این روند نسبت به تغییر غلظت مواد منعقد کننده بی‌تفاوت است، به طوری که با گذشت زمان، خطوط همتراز زمانی برای کدورت باقی‌مانده، فشرده‌تر می‌شوند. این امر در حالی است که در رفتار ته‌نشینی فلاک‌ها با گذشت زمان تغییر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. شکل (۲-ب) نیز روند ته‌نشینی فلاک‌ها را در غلظتهای مختلف کلرید فریک نشان می‌دهد. همانند نمودار مشابه برای آلوم، سرعت ته‌نشینی فلاک‌ها در غلظتهای مختلف تقریباً برابر است و با گذشت زمان سرعت ته‌نشینی فلاک‌ها کاهش یافته و خطوط همتراز زمانی فشرده‌تر شده‌اند. محدوده بهینه غلظت در حذف کدورت بین ۲۵ تا

[1] Inorganic Polymer Flocculants (IPFs)

[2] PACl

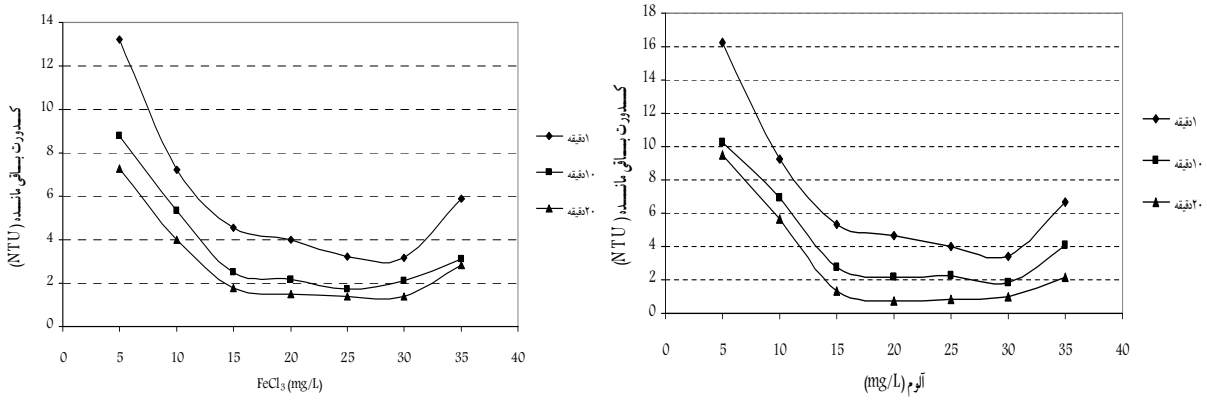
Archive of SID

www.SID.ir

۳۰ میلی‌گرم در لیتر بود. به‌خلاف آلوم سرعت ته‌نشینی فلاک‌ها به گونه‌ای است که پس از ۲۰ دقیقه ته‌نشینی، هنوز کدورت باقی‌مانده در غلظتهای بهینه، بیش از NTU ۱ است.

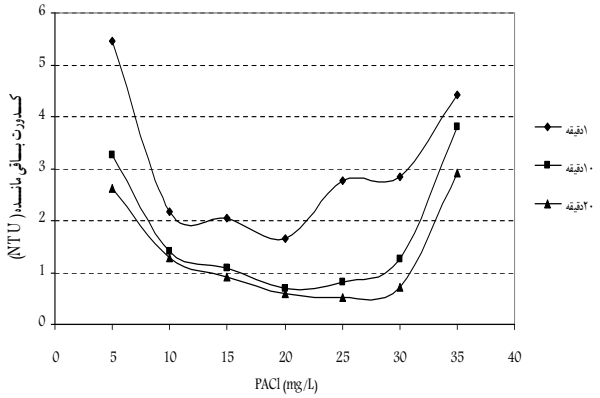
همان طور که از شکل ۱ نمایان است، روند ته‌نشینی در غلظتهای مختلف PACl(I) اندکی نسبت به آلوم و کلرید فریک متفاوت است. در روند حذف کدورت پس از ۱ دقیقه، صعود یا نزول کدورت باقی‌مانده با تغییر غلظت به وضوح دیده نشده و در غلظتهای میانی نوسان کدورت مشاهده می‌شود. حال آنکه با گذشت زمان، نمودارها به شکل صعودی به نزولی پیش می‌روند و فرایند ناپایدارسازی در غلظتهای میانی و پایدارسازی مجدد در غلظتهای بالای PACl به طور مشخص قابل ملاحظه است. به نظر می‌رسد که در غلظتهای ۲۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر از PACl، کدورت قرائت شده پس از ۱ دقیقه ناشی از حضور فلاک‌های تشکیل شده است و نه از ذرات باقی‌مانده کلوییدی که ناپایدار نشده و یا مجدداً پایدارسازی شده باشند. این موضوع در نمودارهای ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای به اثبات می‌رسد، که نشان می‌دهند پایداری مجدد ذرات در غلظتهای بالای ۳۰ میلی‌گرم در لیتر رخ داده است. در این نمودار سرعت ته‌نشینی بسیار متغیر است و نمی‌توان از روی نمودار به مقدار متوسط منطقی دست پیدا کرد. این موضوع بیانگر تفاوت نسبی طرز کار عملکرد PACl در مقایسه با دو منعقد کننده دیگر است.

در شکل ۲ به بررسی تأثیر درجه حرارت آب خام در عملکرد منعقدکننده‌های آلوم، کلرید فریک و پلی آلومینیم کلراید پرداخته شده است. همان طور که در شکل (۲-الف) دیده می‌شود، در غلظتهای پایین‌تر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر از آلوم، نوسان کدورت باقی مانده بسیار کم است. اما در غلظتهای پایین، میزان حذف کدورت به تغییر دمای آب خام، نسبتاً حساس بوده و نوساناتی در نتایج مشاهده می‌شود. این نوسانات در عمل و در تصفیه‌خانه‌های آب، برآورد غلظت بهینه تزریق منعقدکننده را دشوار می‌سازد، به گونه‌ای که معمولاً لازم است برای اطمینان از عملکرد مناسب سیستم انعقاد، مقادیری بیش از آنچه در هر دما مورد نیاز است به سیستم تزریق شود تا اثر تغییرات درجه حرارت خصوصاً در فصول



الف) آلوم

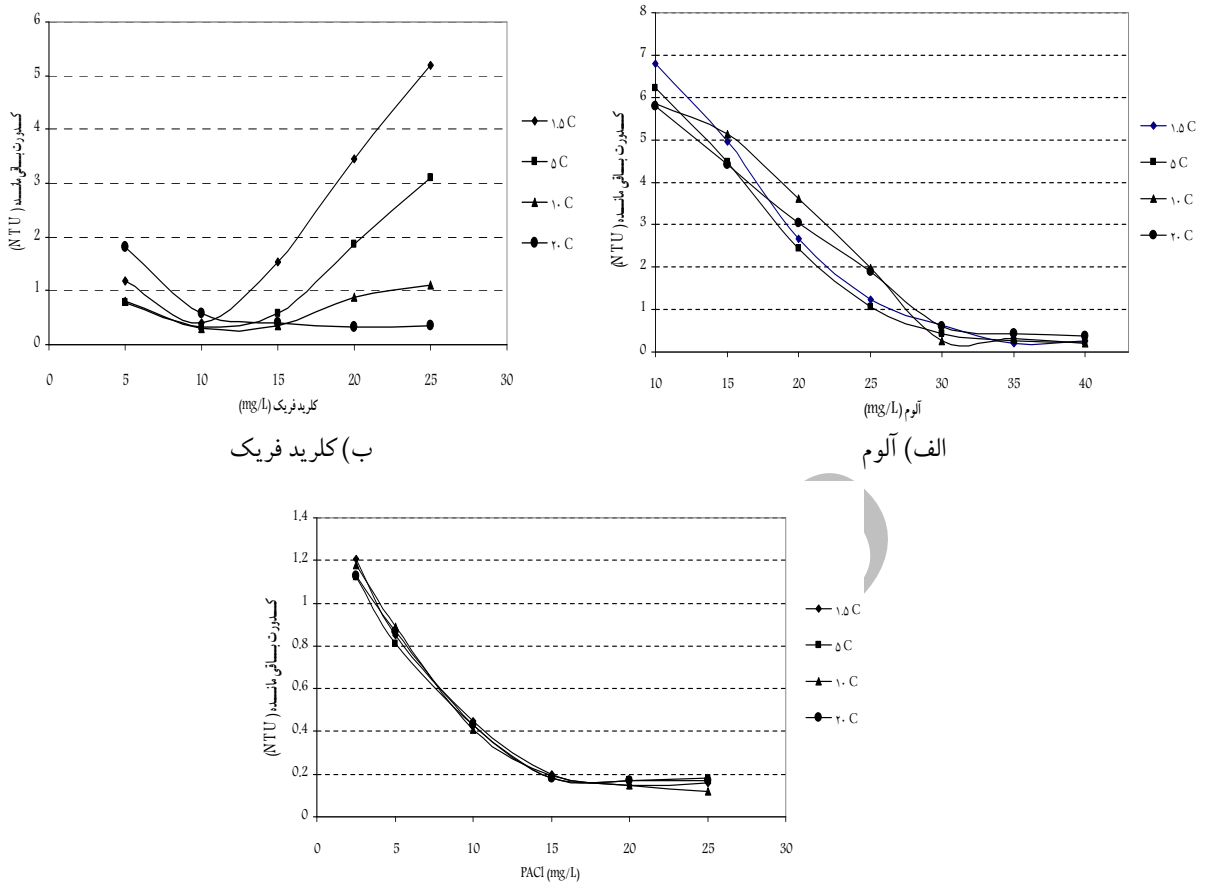
ب) کلرید فریک



ج) پلی آلومینیم کلراید

شکل ۱- روند ته‌نشینی فلاک‌ها در غلظتهای مختلف مواد منعقد کننده در زمانهای ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه

www.SID.ir



الف) آلوم

ب) کلرید فریک

ج) پلی آلومینیم کلراید

شکل ۲- مقایسه تغییرات کدورت باقی‌مانده با مواد منعقد کننده مختلف در چهار دمای ۱/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد

سرد سال تعدیل گردد. میزان حساسیت کلرید فریک به تغییرات درجه حرارت بیش از آلوم بوده و به وضوح دیده می‌شود که در تمام غلظتها میزان حذف کدورت با تغییرات دمای آب خام به شدت نوسان می‌کند (شکل ۲-ب). در اکثر غلظتها می‌توان ملاحظه نمود که با کاهش دمای آب خام، کارایی این ماده منعقدکننده به صورت قابل توجهی افت پیدا کرده است و این افت کارایی خصوصاً در غلظتهای بالا و پایین کلرید فریک بسیار قابل توجه می‌نماید. برخلاف دو منعقدکننده آلوم و کلرید فریک، مشاهده می‌شود که پلی‌آلومینیم کلراید به تغییرات دمایی آب حساس نبوده و نوسانات کدورت باقی‌مانده دیده نمی‌شود (شکل ۲-ج). این موضوع عملکرد مناسب PACl را در مقایسه با دو منعقد کننده دیگر در درجه حرارتهای متغیر آب در تابستان و زمستان به خوبی آشکار می‌سازد. شکل۳ نتایج حاصل از بررسی تأثیر افزودن مقادیر متغیر نشاسته را به عنوان کمک منعقدکننده به همراه PACl نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در غلظتهای بالای PACl یعنی ۲۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، افزودن نشاسته تأثیری بر میزان کدورت باقی‌مانده نداشته است. در حالی که در غلظتهای پایین‌تر نظیر ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، نشاسته به خوبی به عنوان کمک منعقد کننده وارد عمل شده و به طور قابل توجهی باعث کاهش کدورت باقی‌مانده می‌شود. به نظر می‌رسد که با کاهش غلظت PACl در نمونه‌ها، نشاسته به طور مؤثری می‌تواند به عنوان کمک منعقدکننده مناسب به کار برده شود.

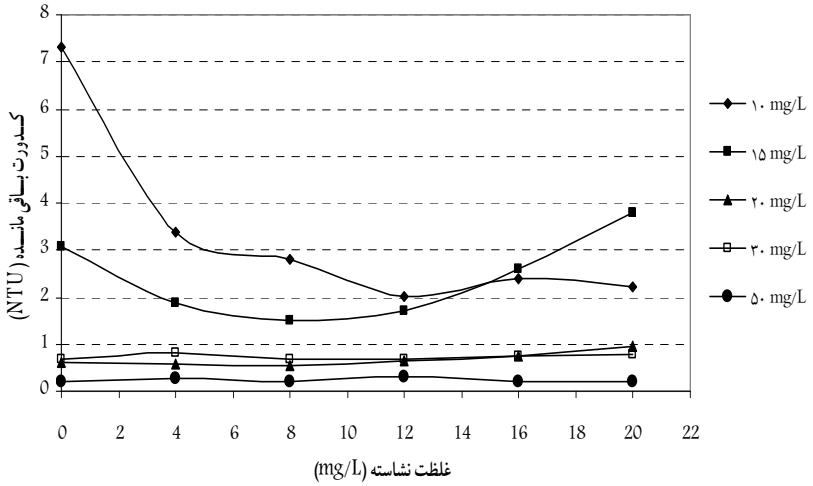
۴- نتیجه گیری

مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق عبارت‌اند از:

الف- سرعت ته‌نشینی فلاک‌ها با کاربرد PACl، بیش از دو منعقدکننده آلوم و کلرید فریک است. PACl قادر است پس از ۱۰ دقیقه کدورت نمونه را به میزان مطلوب NTU ۱ برساند و این نشان از سرعت بالای ته‌نشینی فلاک‌ها با منعقدکننده PACl داشته دارد.

ب- برخلاف دو منعقدکننده آلوم و کلرید فریک، پلی آلومینیم کلراید به تغییرات دمایی آب حساس نبوده و نوسانات کدورت باقی‌مانده دیده نمی‌شود. این موضوع عملکرد مناسب PACl را در

Archive
www.SID.ir



شکل ۳- تأثیر افزودن مقادیر متغیر نشاسته به عنوان کمک منعقدکننده به همراه PACl

مقایسه با دو منعقدکننده دیگر در درجه حرارتهای متغیر آب در تابستان و زمستان به خوبی آشکار می‌سازد.

ج- در غلظتهای بالای PACl، افزودن نشاسته تأثیری بر میزان کدورت باقی‌مانده نداشته است. در حالی که در غلظتهای پایین‌تر، نشاسته به خوبی به عنوان کمک منعقدکننده وارد عمل شده و به طور قابل توجهی باعث کاهش کدورت باقی‌مانده می‌شود.

۵- مراجع

1- HDR Engineering, Inc. (1991). *Handbook of public water systems,* John Wiley and Sons, Inc., New York.

۲- شاهمنصوری، ا. ا.، و نشاط، ا. ا. (۱۳۸۲). " مقایسه پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات آلومینیم و کلراید فریک در حذف کلیفرم کل و TOC ". *مجله آب و فاضلاب*، ۴۸، ۳۹-۴۴.

3- Wang, D., Sun, W., Xu, Y., Tang, H., and Gregory, J. (2004). "Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACl." *Colloids and Surfaces*, (243), 1-10.

4- Parker, D. R., and Bersch, P. M. (1992). "Formation of the "Al_{13}" tridecameric polycation under diverse synthesis conditions." *Environ. Sci. Technol.,* 26, 914-921.

5- LaMer, V. K., and Healy, T. W. (1963). "Adsorption-flocculation reactions of micromolecules at the solid-liquid interface." *Rev. Pure App. Chem.*, 13, 112-132.

Archive of SID

www.SID.ir