

ارزیابی تأثیر نوع ماده منعقد کننده بر شاخصهای بهره‌برداری در فرآیند فیلتراسیون مستقیم

علی تریان^۱ مهدی صفایی فر^۲ عبدالله رشیدی مهرآبادی^۳

(دریافت ۸۴/۱۲/۱۳ پذیرش ۸۵/۱۲/۱۳)

چکیده

نتایج بسیاری پیرامون عملکرد بهتر پلی‌آلومینیوم کلراید به عنوان ماده منعقدکننده در مقایسه با سایر مواد منعقدکننده نظیر سولفات آلومینیوم و کلرور فریک در فرآیند تصفیه متعارف در شرایط کدورت متوسط و بالا گزارش شده است. کارآمدی مذکور را می‌توان شامل مقدار مورد نیاز کمتر، تشکیل لخته‌های درشت‌تر، کاهش مدت زمان ته‌نشینی فلاک، تولید لجن کمتر، عدم نیاز به تنظیم قلیائیت به وسیله آهک و دیگر پارامترها دانست. آب تصفیه‌خانه‌های کشور عمدتاً از منابع آبی پشت سد تأمین می‌گردد که دارای کدورت پایین می‌باشند و در برخی موارد نیز از فرآیند فیلتراسیون مستقیم جهت تصفیه استفاده می‌شود، از اینرو، در این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر مواد منعقدکننده مختلف نظیر کلرور فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید در کدورت‌های پایین و فرآیند فیلتراسیون مستقیم و تعیین مؤثرترین نوع ماده منعقدکننده از نقطه نظر راندمان حذف ذرات و راندمان حذف کدورت، با استفاده از پایلوت آزمایشگاهی، آزمایش کاملی با در نظر گرفتن تأثیر عواملی چون نوع ماده منعقد کننده، نرخ فیلتراسیون و میزان تزریق ماده منعقد کننده بر عملکرد صافی انجام پذیرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر مشخص کرد میانگین کدورت خروجی، میانگین تعداد ذرات خروجی، منحنی تغییرات کدورت خروجی و منحنی تغییرات تعداد ذرات خروجی در طول عملکرد صافی، در حالت استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک کمتر بوده است و با افزایش نرخ فیلتراسیون میانگین کدورت و تعداد ذرات خروجی افزایش یافته است. همچنین نتایج حاصل از بررسی حالت تزریق ۲ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید (حالت ضعیف انعقاد و لخته‌سازی) و مقایسه آن با حالت تزریق ۵ میلی‌گرم بر لیتر کلرور فریک (حالت خوب انعقاد و لخته‌سازی) بیانگر بالاتر بودن میانگین حذف کدورت و کمتر بودن راندمان حذف کدورت و ذرات، در حالت انعقاد و لخته‌سازی ضعیف بوده است.

واژه‌های کلیدی: فیلتراسیون مستقیم، پلی‌آلومینیوم کلراید، کلرور فریک، کدورت آب.

Evaluation of Impact of Coagulant Type on Operation Parameters in Direct Filtration

Ali Torabian¹ Mehdi Safaeefar² Abdolrahman Rashidimehrabady³

(Received Mar. 4, 2006 Accepted Mar. 4, 2007)

Abstract

Numerous advantages have been reported on PAC (poly aluminum chloride) used as a coagulant over other coagulants such as alum and ferric chloride used in conventional water treatment process with medium and high turbidity levels. These include lower amounts of PACL required specially in removing turbidity, larger floc grain formation, reduced floc sedimentation time, lower sludge production, and relaxation of the need for pH adjustment by lime, among others. The present study aims to evaluate the effects of different coagulants such as ferric chloride and PACL on direct filtration and to identify the most effective material based on both turbidity and particle removal efficiencies. A perfectly experimental pilot system, including raw water preparation, coagulation, flocculation, distribution measurement, and filtration units, was designed and used. Raw water

1. Associate Professor, Dept. of Environmental Science, University of Tehran

2. Former Graduate Student of Civil Engineering & Environmental Science, Faculty of Environmental Science, University of Tehran, msafaiefar@yahoo.com

3. Assistant Professor, Department of Water & Wastewater, (Shahid Abbaspour) Water & Power University

۱- دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، msafaiefar@yahoo.com

۳- استادیار گروه آب و فاضلاب دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

turbidity level in the experimental pilot was below 10 NTU. The effects of various parameters such as coagulant type, filtration rate, and coagulant dosage on the performance of the filter were investigated. The results obtained from several filtration cycles under different conditions indicated that average effluent turbidity level, effluent particle numbers, effluent turbidity variation graph, and effluent particle graph were lower throughout the filtration cycle when PACL was used compared to when ferric chloride was used as the coagulant. Increasing filtration rate led to increased turbidity and particle number. Addition of 2 mg/l of PACL (poor coagulation and flocculation scenario) was compared with addition of 5 mg/l of ferric chloride (strong coagulation and flocculation scenario). The results indicated that higher average values of turbidity removal but lower turbidity and particle removal efficiencies obtained in the case of the poor coagulation and flocculation scenario.

Keywords: Direct Filtration, Poly Aluminum Chloride, Ferric Chloride, Water Turbidity.

۱- مقدمه

کلسیم در مخازن و لوله‌های ارتباطی می‌گردد. لذا با توجه به هزینه تأمین مواد شیمیایی که چهارمین مرتبه را در سبد هزینه‌های تولید و دومین رتبه را در هزینه‌های تصفیه آب در کشور به خود اختصاص داده است، لزوم بررسی و جایگزینی مواد منعقد کننده مصرفی را به لحاظ صرفه جوییهای اقتصادی، جنبه‌های بهداشتی، محیط زیست و غیره یادآور می‌شود.

مواد منعقد کننده پلیمری معدنی همچون پلی آلومینیوم کلراید از بنیانهای معدنی یون آلومینیوم تولید می‌گردد. این ماده شیمیایی با خاصیت منعقدکنندگی بسیار قوی و عملکرد سریع به منظور جداسازی و استخراج ناخالصیهای آب مانند مواد معلق، رنگ، بو، چربی، فلزات سنگین و سایر آلودگیها به کار می‌رود و به وسیله فن آوری نوین و تجهیزات پیچیده و دقیق ساخته شده است که اخیراً در چندین کشور صنعتی و حتی توسعه یافته مورد استفاده قرار گرفته و می‌تواند در جهت کم کردن مشکلات و پایین آمدن هزینه‌های بازسازی و اصلاح، مثر ثمر واقع گردد.

بر اساس تحقیقات املیا و همکاران^۱ در سال ۱۹۸۵، اریک^۲ در سال ۲۰۰۲، مالوترا^۳ در سال ۱۹۹۴، تانگ و همکاران^۴ در سال ۱۹۹۶، لوان^۵ در سال ۱۹۹۸ و لیوونین و همکاران^۶ در سال ۱۹۹۹، پلی آلومینیوم کلراید در مقایسه با سایر مواد منعقدکننده نظیر سولفات آلومینیوم و کلرور فریک و ...، در شرایط کدورت متوسط و بالا از عملکرد بهتری برخوردار است. به عنوان مثال نیاز به مقدار کمتر به دلیل شارژ بار یونی بیشتر، تشکیل لخته‌های درشت‌تر، کاهش مدت زمان ته‌نشینی فلاک، تولید لجن کمتر، عدم نیاز به تنظیم کننده pH به دلیل کاهش کمتر pH، عملکرد بهتر در دماهای پایین‌تر، افزایش طول دوره عملکرد صافی و ... از جمله این موارد است [۱-۶].

در ایران نیز تحقیقاتی پیرامون ارزیابی پلی آلومینیوم کلراید با سایر مواد منعقد کننده، صورت گرفته که بیانگر عملکرد خوب این

نزدیک به ۸۰ سال از احداث نخستین تصفیه‌خانه آب سطحی در کشور می‌گذرد و در این مدت بالغ بر ۷۴ تصفیه‌خانه در کشور به بهره‌برداری رسیده است. لکن به جز یک مورد (تصفیه‌خانه آب بابا شیخ علی اصفهان) در تمامی تصفیه‌خانه‌های فوق‌الذکر از مواد منعقدکننده‌ای نظیر سولفات آلومینیوم، کلرور فریک، سولفات فریک و ... برای فرآیند انعقاد و لخته‌سازی استفاده می‌شود.

کلرور فریک به عنوان یک ماده منعقدکننده از دامنه pH وسیع‌تری نسبت به سایر منعقدکننده‌های معدنی برخوردار است و لخته‌های حاصله از آن سنگین‌تر بوده و نیز امکان‌پذیری تولید داخلی آن به عنوان ماده منعقدکننده متداول، مورد توجه بهره‌برداران و شرکتهای آب و فاضلاب کشور می‌باشد. لکن این ماده شیمیایی دارای عوارضی ناشی از خوردگی شدید به علت فرآیند اکسیداسیون در تماس با ظروف فلزی نظیر مخازن تهیه و تزریق مواد شیمیایی و قطعات فلزی نظیر پمپ‌های تزریق، همزنها و غیره می‌باشد که ترمیم و جلوگیری از آنها مستلزم صرف هزینه‌های گزاف همچون استفاده از پوشش‌های لاستیکی و مقاوم در مقابل خوردگی، استفاده از تجهیزات پلی اتیلن نظیر پمپ‌های تزریق پلی اتیلنی وارداتی از خارج کشور، استفاده از قطعات مقاوم در مقابل خوردگی و نیز اصلاح و بازسازی این واحدها زودتر از موعد عمر مفید آنها می‌گردد. همچنین این ماده شیمیایی اثر ظاهری نامطلوبی (رنگ زرد) بر روی مخازن و محیط اطراف خود دارد که باعث ایجاد محیط ظاهری نامطلوبی در سازه‌های نگهداری مواد شیمیایی می‌گردد. از آنجایی که وابستگی شدید تولید ماده مذکور به گاز کلر مشکل دیگری است که به چشم می‌خورد. از طرفی به علت اینکه از آهن قراضه جهت تأمین آهن در تولید این ماده استفاده می‌شود، لذا مشکلات فلزات سنگین باقی‌مانده در آب تصفیه شده و لجن تولیدی از تصفیه‌خانه از دیگر عوارض جانبی کاربرد این ماده شیمیایی است. از طرف دیگر در برخی از موارد جهت تأمین قلیائیت کافی آب به منظور بهبود بخشیدن به فرآیند انعقاد و لخته‌سازی، نیاز به افزودن آهک قبل از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی پیش می‌آید که خود این ماده شیمیایی سبب رسوبات کربنات

¹ O'melia et al.

² Eric

³ Malhuttra

⁴ Tong et al.

⁵ Luan

⁶ Liu Wenbin et al.

ماده از نقطه نظر مقدار مورد نیاز کمتر، تشکیل لخته‌های درشت‌تر، کاهش مدت زمان ته‌نشینی فلاک در مقایسه با سولفات آلومینیوم، در شرایط کدورت متوسط و بالا می‌باشد. همچنین در ارزیابی پلی‌آلومینیوم کلراید با سایر مواد منعقدکننده در روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره، به کارگیری این ماده در کدورت بالای آب رودخانه کارون از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد [۷ و ۸].

اکثر آب تصفیه‌خانه‌های کشور از مخازن سدها تأمین می‌گردد که دارای کدورت پایین می‌باشند و در برخی از موارد از فرآیند فیلتراسیون مستقیم جهت تصفیه آن استفاده می‌شود؛ بدین منظور هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر مواد منعقدکننده مختلف نظیر کلرور فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید بر فرآیند فیلتراسیون مستقیم و تعیین مؤثرترین نوع ماده منعقدکننده از نقطه نظر هزینه، راندمان حذف ذرات و راندمان حذف کدورت می‌باشد.

در این رابطه پرسش‌های زیر قابل طرح است:

آیا این ماده شیمیایی در کدورت‌های پایین و در فرآیند فیلتراسیون مستقیم در مقایسه با کلرور فریک نیز از نقطه نظر کارایی در حذف کدورت در زمان کارکرد صافی، افزایش طول عمر کارکرد صافی و تولید افت کمتر نسبت به کلرور فریک از برتری برخوردار است؟

۲- مواد و روشها

روش تحقیق در مطالعه حاضر، مبتنی بر انجام بررسی‌های آزمایشگاهی با استفاده از نمونه یا پایلوت با مقیاس آزمایشگاهی است. همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، پایلوت دارای واحدهای تهیه آب خام، اختلاط سریع، لخته‌سازی، تهیه و تزریق مواد شیمیایی، حوضچه تقسیم و اندازه‌گیری جریان و صافی دو لایه با بستر آنتراسیت و ماسه سیلیسی می‌باشد. واحد تهیه و تزریق آب خام از دو بخش مخزن استوک کدورت و مخزن ارتفاع ثابت تشکیل شده‌اند که هر یک مجهز به همزن و یک دستگاه دوزینگ پمپ قابل تنظیم می‌باشند. مخزن با ارتفاع ثابت از طریق یک لوله به آب شهر متصل شد و ارتفاع آب درون آن توسط شناور ثابت نگهداشته می‌شد. محلول حاوی گل رس (مولد کدورت) توسط دوزینگ پمپ از مخزن استوک کدورت به این مخزن تزریق می‌شد و توسط همزن الکترومکانیکی آب خامی با کدورت و غلظت

مشخص تهیه می‌گردید. خروجی این مخزن از واحد اختلاط سریع و لخته‌سازی گذشته وارد مخزن تقسیم جریان می‌گردید. با ورود آب خام به واحد اختلاط سریع، ماده منعقدکننده مورد نظر (پلی‌آلومینیوم کلراید و کلرور فریک) به آن افزوده می‌شد. در مدت زمان ۲۰ ثانیه، فرآیند انعقاد انجام می‌گرفت و پس از انجام فرآیند لخته‌سازی، آب به مخزن تقسیم جریان که مجهز به سرریز مثالی ۳۰ درجه بود، هدایت می‌گردید. جریان تقسیم شده پس از اندازه‌گیری مجدد توسط روتامتر وارد یک ستون صافی می‌شد.

ستون صافی از جنس پلکسی گلاس با قطر ۲۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲ متر ساخته شده بود. این قطر بر اساس استاندارد (۴۱۸۸)، ای-اس-تی-ام برای کاهش اثر دیواره انتخاب گردید.

روی ستون صافی هفت لوله مانومتر برای اندازه‌گیری افت ارتفاع نصب گردیده بود. همچنین برای توزیع یکنواخت آب و هوا در هنگام شستشوی صافی در بخش تحتانی صافی از کف کاذبی از جنس پلکسی گلاس استفاده شد. روی این کف سوراخهایی به قطر ۳ میلی‌متر ایجاد و به منظور جلوگیری از فرار مصالح، بستر صافی روی آن توسط توری فلزی از جنس آلومینیوم پوشانیده شد.

از آنجا که قرار بود صافی در نرخهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر در ساعت مورد آزمایش قرار گیرد، بنابراین دبی آب مورد نیاز برای صافی به شرح جدول ۱ تعیین شد.

به منظور بررسی اثر تغییر فاکتورهای متفاوت بر کیفیت آب خروجی از صافی دولایه، آزمایش‌هایی برای تعیین اثر نوع ماده منعقدکننده، نرخ فیلتراسیون و انعقاد و لخته‌سازی بر راندمان حذف کدورت و ذرات انجام پذیرفت.

تأثیر نرخ فیلتراسیون با اعمال سه نرخ ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر در ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. نرخ ۱۰ متر در ساعت مقدار متداول برای صافیهای دولایه و نرخهای ۱۵ و ۲۰ متر در ساعت مقدار پیشنهادی توسط مراجع برای این نوع صافی می‌باشد. به منظور بررسی اثر انعقاد و لخته‌سازی، دو وضعیت خوب و ضعیف در نظر گرفته شد. در وضعیت خوب، براساس آزمایش جار، میزان تزریق ماده منعقدکننده ۵ میلی‌گرم بر لیتر و در وضعیت ضعیف ۲ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. تأثیر هر دو نوع ماده منعقدکننده، شامل کلرور فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید در شرایط وضعیت

جدول ۱- دبی عبوری از ستون صافی پایلوت در نرخهای فیلتراسیون متفاوت

نرخ فیلتراسیون (متر در ساعت)	سطح صافی (متر مربع)	دبی صافی (لیتر در دقیقه)
۱۰	۰/۰۳۱۴	۵/۲۴۰
۱۵	۰/۰۳۱۴	۲/۶۲
۲۰	۰/۰۳۱۴	۱۰/۴۸



شکل ۱- نماهایی از پایلوت مورد استفاده در پروژه

نمونه‌های آب برای تعیین راندمان حذف ذرات در زمانهای مختلف (بازه‌های زمانی ۱ ساعته) از خروجی صافی برداشت می‌گردید. لازم به ذکر است که در هر بار نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری کدورت و ذرات خروجی، میزان افت ارتفاع در عمقهای مختلف صافی نیز براساس قرائت ارتفاع آب در لوله‌های مانومتر متصل به صافی اندازه‌گیری می‌شد، به طوری که امکان تهیه نیمرخ افت در طول دوره عملکرد در عمق صافی میسر گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از مقایسه کارایی حذف کدورت و ذرات با توجه به اهمیت کارایی حذف کدورت و ذرات توسط صافی، نمونه‌برداری از خروجی صافی در فواصل زمانی یک ساعته و در نرخهای مختلف فیلتراسیون ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر بر ساعت و کدورت ورودی ۱۰ NTU انجام گرفت. برای تعیین کارآمدی مواد منعقد کننده در وضعیت خوب، ۵ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو نوع ماده منعقد کننده و در وضعیت ضعیف، ۲ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید تزریق شد. جدول ۲ شامل خلاصه نتایج حاصل از

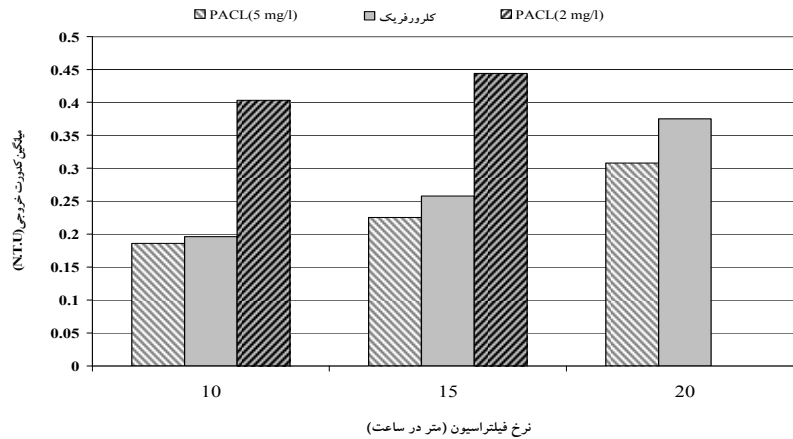
خوب مورد آزمایش قرار گرفت و در شرایط ضعیف، ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید، به‌تنهایی مورد آزمایش قرار گرفت. اندازه‌گیری کدورت با روشهای استاندارد (۹۴-۱۸۸۹) ای-اس-تی-ام براساس اندازه‌گیری میزان احتراق نور توسط مواد معلق، انجام گردید. برای اندازه‌گیری کدورت ورودی از دستگاه کدورت سنج از نوع (HACH-2100) استفاده شد که قادر به اندازه‌گیری کدورت تا سه رقم اعشار بود. تکرارپذیری آزمایش‌ها با سه بار تکرار هر دوره عملکرد صافیها به اثبات رسید. برای تعیین راندمان حذف کدورت در زمانهای مختلف (بازه‌های زمانی ۱ ساعته) از خروجی صافی نمونه‌برداری می‌گردید.

اندازه‌گیری حذف ذرات منطبق با روش شماره ۲۵۶۰ کتاب استاندارد و براساس اندازه‌گیری میزان افتراق نور و به روش Laser Defraction انجام گردید [۹]. برای این منظور از دستگاه شمارنده ذرات از نوع Size ساخت شرکت شیمادزو استفاده شد که قادر به اندازه‌گیری تعداد ذرات و اندازه ذرات و همچنین توزیع ذرات در بازه ۰/۵ تا ۵۰ میکرومتر می‌باشد.

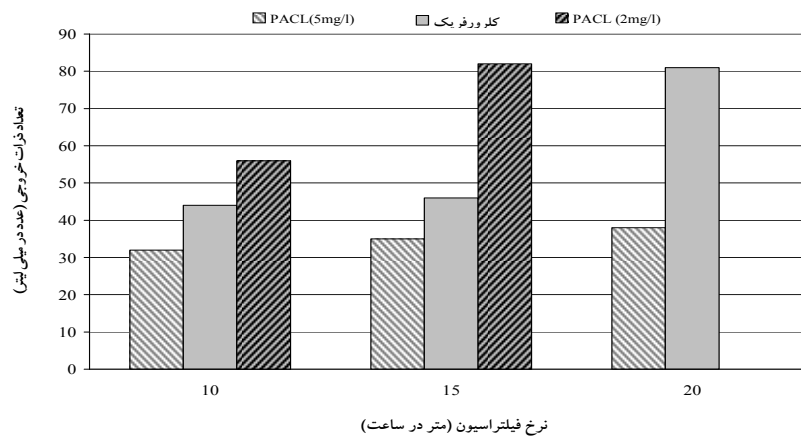
جدول ۲- خلاصه نتایج از مقایسه کارایی حذف کدورت و ذرات بر اساس مطالعات پایلوت

ماده منعقدکننده	کدورت ورودی (NTU)	نرخ فیلتراسیون (متر بر ساعت)	میزان تزریق منعقدکننده (میلی‌گرم بر لیتر)	میانگین کدورت خروجی* (NTU)	میانگین تعداد ذرات خروجی** (عدد در میلی لیتر)	طول دوره عملکرد (ساعت)
پلی‌آلومینیوم کلراید	۱۰	۱۰	۵	۰/۱۸۲	۳۲	۱۷/۵
کلور فریک	۱۰	۱۰	۵	۰/۱۹۶	۴۴	۱۵/۵
پلی‌آلومینیوم کلراید	۱۰	۱۵	۵	۰/۲۲۵	۳۵	۱۱/۵
کلور فریک	۱۰	۱۵	۵	۰/۲۵۸	۴۶	۱۰
پلی‌آلومینیوم کلراید	۱۰	۲۰	۵	۰/۳۰۸	۳۸	۶
کلور فریک	۱۰	۲۰	۵	۰/۳۷۵	۸۱	۴/۵
پلی‌آلومینیوم کلراید	۱۰	۱۰	۲	۰/۴۰۳	۵۶	۱۳/۵
پلی‌آلومینیوم کلراید	۱۰	۱۵	۲	۰/۴۴۴	۸۲	۹/۵

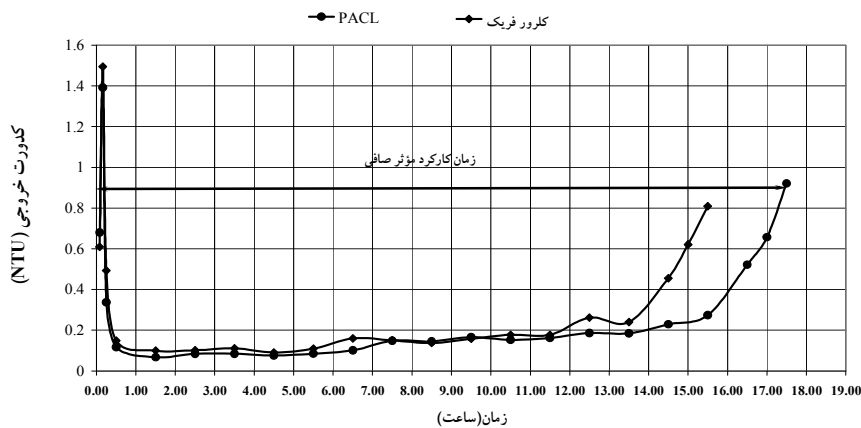
* میانگین کدورت خروجی برابر با خارج قسمت تقسیم مجموع کدورت‌های خروجی در هر ساعت نمونه برداری نسبت به زمان عملکرد مؤثر صافی است.
** میانگین تعداد ذرات خروجی برابر با خارج قسمت تقسیم مجموع تعداد ذرات خروجی در هر ساعت نمونه برداری نسبت به زمان عملکرد مؤثر صافی است.



شکل ۲- میانگین کدورت خروجی در شرایط مختلف (نرخ فیلتراسیون، نوع و مقدار تزریق ماده منعقد کننده)



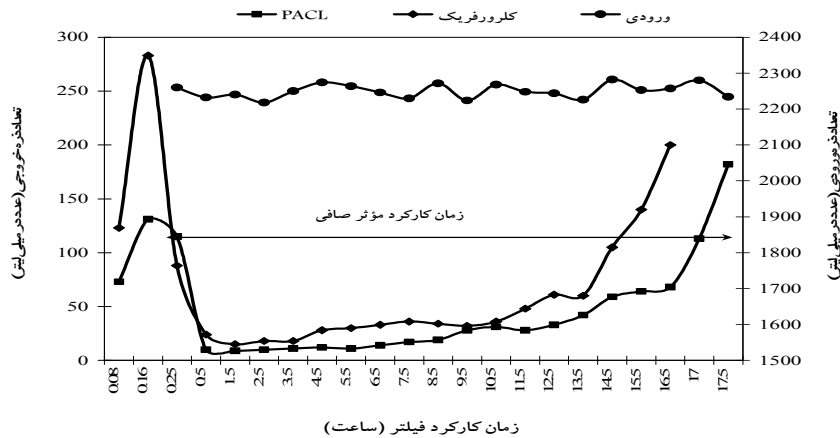
شکل ۳- میانگین تعداد ذرات خروجی در شرایط مختلف (نرخ فیلتراسیون، نوع و مقدار تزریق ماده منعقد کننده)



شکل ۴- منحنی تغییرات کدورت خروجی نسبت به زمان با تغییر نوع منعقدکننده در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت [۱۰]

میانگین کدورت خروجی و تعداد ذرات خروجی در کلیه حالات همواره پایین تر از کلرور فریک بوده و کارایی بهتری در حذف کدورت داشته است. شکل‌های ۴ تا ۷ مقایسه بهتری از نتایج مزبور را به دست می‌دهد. ولی میانگین کدورت خروجی از صافی در

آزمایش‌های فوق شامل میانگین کدورت خروجی، میانگین تعداد ذرات خروجی و طول مدت زمان عملکرد صافی می‌باشد. همان طور که در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود، در شرایط یکسان (میزان تزریق و نرخ فیلتراسیون) و در حالت تزریق پلی‌آلومینیوم کلراید،



شکل ۵- منحنی تغییرات تعداد ذرات ورودی و خروجی نسبت به زمان با تغییر نوع منعقدکننده در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت [۱۰]

و کارایی بهتری در حذف کدورت و ذرات داشته است. همچنین مدت زمان کارکرد مؤثر صافی در هنگام استفاده از پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک بیشتر بوده که نشان دهنده بیشتر بودن حجم آب صاف شده در حالت فوق می باشد (البته لازم به ذکر است که در نرخهای ۱۵ و ۲۰ متر بر ساعت نیز پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک عملکرد بهتری داشته است).

در بررسی تعداد ذرات، قطر ذرات نیز به عنوان یک شاخص وابسته به آن مطرح می باشد و صرف نظر کردن از این پارامتر و بررسی تعداد ذرات، به تنهایی نمی تواند معیار مناسبی جهت مقایسه تأثیر نوع ماده منعقد کننده و نیز راندمان صافی در نظر گرفته شود. از اینرو در ادامه این بخش، منحنی تغییرات همزمان تعداد و قطر متوسط ذرات خروجی از صافی در طول کارکرد آن و مقایسه تأثیر نوع ماده منعقد کننده در راندمان حذف و کارکرد صافی در شکل ۶ آورده شده است.

از آنجا که قطر متوسط ذرات خروجی از صافی در حالت استفاده از کلرور فریک کوچک تر از حالت استفاده از پلی آلومینیوم کلراید می باشد، لذا بررسی راندمان حذف ذرات توسط صافی و تأثیر نوع ماده منعقد کننده، بر اساس مقایسه روش وزنی می باشد. در این روش شاخص مرکزی بازه قطر ذرات، قطر متوسط ذرات که بر اساس معادله ۱ به دست آمده، در نظر گرفته شده است:

$$\mu = 10^4$$

$$\mu = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n q_i \times \frac{\log x_i + \log x_{i+1}}{2} \quad (1)$$

که در آن:

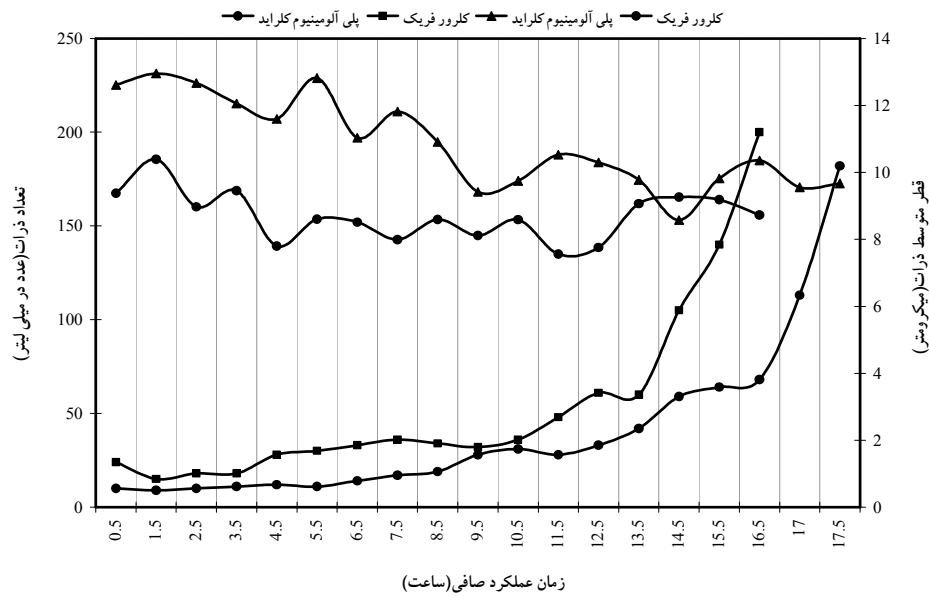
x_i = قطر ذرات (میکرومتر)

و q_i درصد توزیع می باشد.

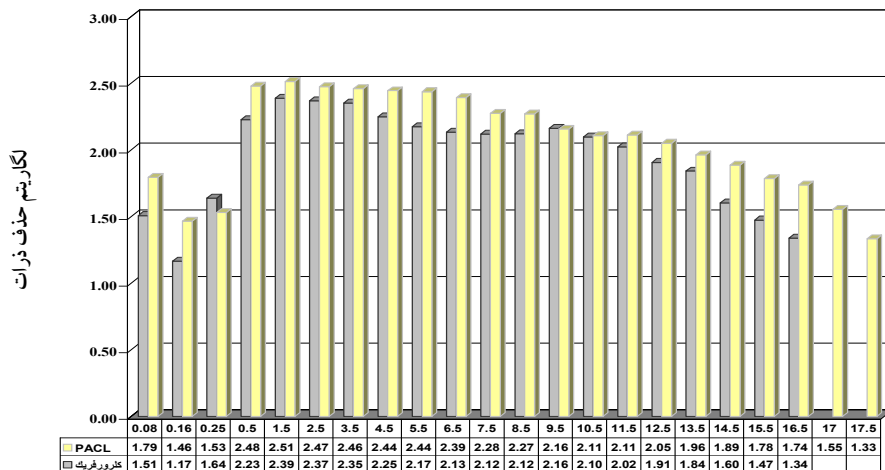
مقایسه لگاریتم میانگین وزنی حذف ذرات حاصل از تزریق دو

شرایط ضعیف لخته سازی و تزریق ۲ میلی گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید نسبت به وضعیت خوب لخته سازی و تزریق ۵ میلی گرم بر لیتر کلرور فریک و پلی آلومینیوم کلراید، بالاتر بوده و از کارایی ضعیف تری در حذف کدورت و ذرات، نسبت به آنها برخوردار بوده است. لذا با توجه به نتایج فوق کاهش مقدار تزریق ماده منعقد کننده و در نهایت تغییر غلظت ماده شیمیایی، سبب راندمان کمتر در حذف کدورت می گردد. جهت مقایسه بهتر تأثیر نوع ماده منعقد کننده در راندمان حذف و کارکرد صافی، منحنی تغییرات کدورت و ذرات خروجی در طول عملکرد صافی در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت در شکل ۴ آورده شده است. همان طور که ملاحظه می گردد، در شرایط یکسان (میزان تزریق و نرخ فیلتراسیون) در حالت تزریق پلی آلومینیوم کلراید، میانگین کدورت خروجی و تعداد ذرات خروجی در کلیه حالات همواره پایین تر از کلرور فریک بوده و کارایی بهتری در حذف کدورت داشته است. اما میانگین کدورت خروجی از صافی در شرایط ضعیف لخته سازی و تزریق ۲ میلی گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید نسبت به وضعیت خوب لخته سازی و تزریق ۵ میلی گرم بر لیتر کلرور فریک و پلی آلومینیوم کلراید بالاتر بوده و کارایی ضعیف تری در حذف کدورت و ذرات نسبت به آنها دارد. با توجه به نتایج فوق تغییر مقدار تزریق ماده منعقد کننده و در نهایت تغییر غلظت ماده شیمیایی سبب راندمان کمتر در حذف کدورت می گردد. شکل های ۴ و ۵ مقایسه بهتری از تأثیر نوع ماده منعقد کننده در راندمان حذف، کارکرد صافی، منحنی تغییرات کدورت و تعداد ذرات خروجی در طول عملکرد صافی در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت را به دست می دهند [۱۰].

همان گونه که در شکل های مزبور قابل ملاحظه است منحنی های کدورت آب خروجی و نیز تعداد ذرات خروجی از صافی در حالت استفاده از پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک پایین تر بوده



شکل ۶- منحنی تغییرات تعداد و قطر متوسط ذرات خروجی نسبت به زمان با تغییر نوع منعقدکننده در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت [۱۰]



شکل ۷- نمودار مقایسه لگاریتم میانگین حذف ذرات از صافی نسبت به زمان با تغییر نوع منعقدکننده در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت [۱۰]

۱- کارایی حذف کدورت و ذرات در صافیهای ماسه‌ای تند ثقلی علاوه بر نرخ فیلتراسیون و شرایط فرآیند انعقاد و لخته‌سازی به نوع ماده منعقد کننده نیز بستگی دارد به طوری که در تمام حالات انجام آزمایش‌ها، ماده منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید در شرایط یکسان عملکرد بهتری نسبت به کلرور فریک داشته است.

۲- منحنیهای تغییرات کدورت آب خروجی از صافی و منحنیهای تغییرات تعداد ذرات خروجی نسبت به زمان کارکرد صافی در حالت استفاده از پلی آلومینیوم کلراید نسبت به حالت استفاده از کلرور فریک پایین تر بوده و کارایی بهتری در حذف دارد. همچنین زمان کارکرد صافی در کلیه حالات مورد آزمایش در هنگام استفاده از پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک بیشتر

ماده منعقدکننده شامل پلی آلومینیوم کلراید و کلرور فریک در مدت زمان عملکرد صافی در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق شکل ۷ در شرایط یکسان، نمودارهای لگاریتم میانگین وزنی حذف ذرات در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت در حالت تزریق پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک بالاتر بوده و نشان دهنده عملکرد مناسب تر این ماده منعقد کننده می باشد.

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری ارائه شده به شرح زیر می باشد:

بوده که نشان دهنده بیشتر بودن حجم آب صاف شده در حالت فوق می باشد.

۳- میانگین کدورت خروجی از صافی در شرایط ضعیف لخته سازی و تزریق ۲ میلی گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید نسبت به وضعیت خوب لخته سازی و تزریق ۵ میلی گرم بر لیتر کلرور فریک و پلی آلومینیوم کلراید بالاتر بوده و کارایی ضعیف تری در حذف کدورت و ذرات نسبت به آنها دارد، لذا با توجه به نتایج فوق تغییر مقدار تزریق ماده منعقد کننده و در نهایت تغییر غلظت ماده شیمیایی سبب راندمان کمتر در حذف کدورت می گردد.

۴- با توجه به آنکه منحنیهای تعداد ذرات خروجی از صافی در مدت زمان عملکرد صافی در حالت استفاده از پلی آلومینیوم کلراید نسبت به حالت استفاده از کلرور فریک پایین تر بوده و کارایی بهتری در حذف ذرات دارد، لکن قطر متوسط ذرات خروجی از صافی در حالت استفاده از کلرور فریک کوچک تر از حالت فوق می باشد، لذا با توجه به آنکه در بررسی تعداد ذرات، قطر ذرات نیز به عنوان یک شاخص وابسته به آن مطرح است و صرف نظر کردن از این پارامتر و بررسی تعداد ذرات، به تنهایی نمی تواند معیار

مناسبی جهت مقایسه تأثیر نوع ماده منعقد کننده و نیز راندمان صافی در نظر گرفته شود؛ بنابراین این بررسی راندمان حذف ذرات توسط صافی و تأثیر نوع ماده منعقد کننده، بر اساس مقایسه روش وزنی انجام پذیرفت، که در شرایط یکسان نمودارهای لگاریتم میانگین وزنی حذف ذرات در نرخ فیلتراسیون ۱۰ متر بر ساعت در حالت تزریق پلی آلومینیوم کلراید نسبت به کلرور فریک بالاتر بوده و نشان دهنده عملکرد مناسب تر این ماده منعقد کننده می باشد.

۵- یادداشت

منظور از میانگین وزنی ذرات، حاصل ضرب قطر متوسط ذرات در تعداد ذرات در هر میلی لیتر نمونه های برداشت شده در هر ساعت می باشد که با توجه به نتایج جدول ۲، میانگین وزنی ذرات ورودی و میانگین وزنی ذرات خروجی تعیین و سپس بر اساس آن میانگین لگاریتم وزنی از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{Log}(1/(1-(\text{درصد حذف}))) \quad (2)$$

۶- مراجع

- 1- O'melia, C.R., and Shin, J.Y. (2001). "Removal of particle using dual media filtration modeling and experimental studies." *J. Water Supply, IWA*, 1(4), 73-79.
- 2- Eric, H., and Kara, H. (2002). *Optimizing coagulant conditions for the Worcester water filtration plants*, A Major Qualifying Project Report Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute, USA.
- 3- Malhutra, S. (1994). "Polyaluminum chloride as an alternative coagulant." *Proc. 20th WEDC Conference Colombo*, Sri Lanka, 289-291.
- 4- Tang, H.X., and Luan, Z.K. (1995). "Features and mechanism for coagulation flocculation process of polyaluminum chloride." *J. Environ. Sci.*, 7 (2), 204-211.
- 5- Luan, Z.K. (1997). *Theory and application of inorganic polymer flocculant-polyaluminium chloride*, Doctoral Dissertation, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 50-70.
- 6- Liu, W., Huang, H., and Peng, J. (2001). *Application of polyaluminium chloride in Shenzhen water supply*, Qingyouan water purification water supply group Ltd. Shenzhen 518013, P.R.China.
- 7- غلامی، ه. (۱۳۷۵). "انتخاب پلی آلومینیوم کلراید به عنوان مناسب ترین ماده منعقدکننده برای فرآیند زلال سازی آب رودخانه اروند رود به کمک روشهای تصمیم گیری چند معیاره." *مجموعه مقالات ششمین سمینار مشترک آب و فاضلاب ایران و آلمان*، ۳۵-۴۰.
- 8- احمدی مقدم، م. (۱۳۸۲). "بررسی راهکارهای مواجهه با کدورت های فصلی در تصفیه خانه های آب." *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده بهداشت، دانشگاه تهران*.
- 9- Clesceria, L.S., Greenberg, A.E., and Eaton, A.D., eds. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, APHA, WEF, AWWA, 19th Ed., Washington, D.C.
- 10- صفایی فر، م. (۱۳۸۴). "ارزیابی سودمندی پلی آلومینیوم کلراید در مقایسه با کلرور فریک در فرآیند فیلتراسیون مستقیم." *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران*.