

# ارزیابی عملکرد فرایند انعقاد برای حذف مقادیر کم کدورت و رنگ آب با استفاده از منعقدکننده‌های مختلف

مقداد پیرصاحب<sup>۱</sup> علی اکبر زینتی‌زاده<sup>۲</sup> عبدالله درگاهی<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۹/۲/۲۱ پذیرش ۹۰/۱/۵)

## چکیده

پژوهش حاضر در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست انجام شد. به منظور مقایسه کارایی چهار منعقدکننده معدنی (پلی آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلرورفریک و سولفات آلومینیم) در حذف کدورت و رنگ آب، سه متغیر مستقل مطالعه شد. محدوده مورد مطالعه برای کدورت (NTU) ۱۰، ۲۰، ۵۰، رنگ (TCU) ۵ و ۱۰ و غلظت ماده منعقدکننده (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ میلی گرم در لیتر) انتخاب شد. مراحل اختلاط سریع و کند به ترتیب با شدت ۸۰ و ۳۰ دور در دقیقه برای مدت یک و ۲۰ دقیقه انجام شد و سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به منظور ته نشینی در شرایط سکون قرار گرفتند. چهار پارامتر شامل کدورت، هدایت الکتریکی، pH و رنگ به عنوان پاسخ فرایند سنجش شدند. ویژگی ته نشینی لخته‌ها پس از مشاهده، با واژه‌های ضعیف، نسبتاً خوب، خوب و عالی توصیف گردید. نتایج حاصل نشان داد که پلی آلومینیم کلراید با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر بهترین منعقدکننده برای حذف کدورت ۹۹/۸ تا ۹۹ درصد و رنگ ۱۰۰ درصد است. با این وصف با افزایش مقدار این منعقدکننده، اندازه لخته در کدورت‌های ۵۰، ۲۰، ۱۰ همچنان ریز بوده ولی سرعت ته نشینی آن خیلی خوب است. با افزایش غلظت منعقدکننده‌ها، میزان هدایت الکتریکی افزایش و قلیابیت کاهش یافت. همچنین بیشترین و کمترین افزایش میزان هدایت الکتریکی و TDS به ترتیب در منعقدکننده کلرور فریک و پلی آلومینیم کلراید حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: منعقدکننده، کدورت، هدایت الکتریکی، قلیابیت، رنگ

## Performance Evaluation of Coagulation Process in Removal of Low Turbidity and Color from Water Using Different Inorganic Coagulants

Meghdad Pirsaeheb<sup>1</sup>

Ali Akbar Zinatizadeh<sup>2</sup>

Abdollah Dargahi<sup>3</sup>

(Received May 11, 2010 Accepted March 25, 2011)

### Abstract

This research work was carried out in lab scale using a Jar-test set up. In order to compare the performance of four inorganic coagulants (poly aluminum chloride, ferro sulfate, ferric chloride, aluminum sulfate) in removal of turbidity and color from water, three independent variables (turbidity, color and coagulants dosage) were investigated. The region of exploration for the process was taken as the area enclosed by turbidity (10, 20, 50 NTU), color (5, 10 TCU) and concentration of coagulants (5, 10, 15, 20, 25, 30 mg/l) boundaries. The rapid and slow mixing steps were provided by the rate of 80 rpm for 1 min and 30 rpm for 20 min, respectively. The samples were then remained for 30 min as settling stage. Four parameters including turbidity, electrical conductivity (EC), pH and color were measured from the samples supernatant. Settling characteristics of the flocs formed were descriptively reported as poor, fair, good and excellent. From the results, poly aluminum chloride with concentration of 5 mg/l was found to be the best for the removal of turbidity (99-99.8 %) and color (100 %). However, fine flocs with very good settling velocity was observed at the condition with initial turbidity of 10, 20, 50 NTU. Increase in EC along with decrease in alkalinity was obtained as the coagulants concentrations were increased. The maximum and minimum amount of increase in EC and TDS were resulted from ferric chloride and poly aluminum chloride, respectively.

**Keywords:** Coagulant, Turbidity, Electrical Conductivity, Alkalinity, Color.

1. Assoc. Prof. of Health Research Center, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah
2. Assist. Prof. of Chemistry, Faculty of Sciences, Razi University, Kermanshah (Corresponding Author) 09188581130 aliazinatiz@yahoo.com
3. Former Grad. Student of Environmental Health, Faculty of Public Health, Kermanshah University of Medical Science, Kermanshah

- ۱- دانشیار مرکز تحقیقات سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه
- ۲- استادیار گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی دانشگاه رازی- کرمانشاه (نویسنده مسئول) ۰۹۱۸۸۵۸۱۱۳۰ aliazinatiz@yahoo.com
- ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

رشد روزافزون جمعیت، ارتقاء سطح زندگی، توسعه شهرنشینی و توسعه صنایع و کشاورزی از جمله عواملی هستند که باعث افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب در اجتماعات شده و موجب آلودگی محیط زیست می‌شوند [۱]. یکی از آلوده کننده‌های طبیعی در آبهای سطحی به‌ویژه رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، ناخالصی‌های کلوئیدی است. حضور این مواد باعث کدورت و تا حدودی رنگ می‌شوند. برای حذف کلوئیدها باید ذرات 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، سپس در حالی که به آرامی به هم زده می‌شوند به ذرات ناپایدار شده زمان می‌دهند تا لخته‌ها ایجاد شوند که به این عمل فلوکولاسیون گویند. سرانجام آب از حوضچه ته‌نشینی رد شده و در آنجا مواد جامد لخته شده به وسیله عمل ته‌نشینی حذف می‌شوند [۲]. مهم‌ترین عوامل مؤثر در کارایی فرایند انعقاد، pH، یون‌های موجود در محلول آبی (قدرت یونی آب)، غلظت مواد هیومیک، دمای آب و نوع ماده منعقدکننده هستند [۳].

به‌طور کلی کدورت و یا رنگی شدن آب به‌علت حضور مواد معلق از جمله جلبکها، خاک رس، سیلت، ویروس، باکتری، مواد معدنی نظیر آزبست، سیلیکات، ذرات ریز مواد آلی و مواد محلول است. کدورت ضمن ایجاد ظاهری نامطلوب، می‌تواند پناهگاهی برای میکروارگانیسم‌ها در مقابل گندزدایی باشد، ضمن آن که کدورت بیش از حد مجاز می‌تواند وجود نقص در سیستم تصفیه را نشان دهد [۴-۸]. قابلیت رسوب ذرات بستگی به دانسیته مواد و اندازه ذرات دارد. ذرات با دانسیته بالاتر از آب تحت تأثیر نیروی ثقل قرار گرفته و ته‌نشین می‌گردند. ذرات ریزتر مانند باکتری‌ها و ذرات کلوئیدی که دانسیته آنها نزدیک به آب است، ممکن است هرگز ته‌نشین نشده و به‌صورت معلق در آب باقی بمانند. بنابراین تجمع ذرات و افزایش اندازه آنها یک قدم اصلی در رسوب دادن این ذرات است [۴].

آبی که به‌صورت طبیعی و یا به‌دست بشر آلوده شده است برای تبدیل به آب آشامیدنی باید فرایندهای مختلف تصفیه را طی نماید. فرایندهای متداول در تصفیه آب شامل انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صاف‌سازی و گندزدایی است. اندازه ذرات کلوئید موجود در آب  $0.1/1$  تا  $1$  میکرون است و این در حالی است که سرعت ته‌نشینی خود به‌خود ذره‌ای با قطر  $1/10$  میکرون حدود  $3$  متر در یک میلیون سال است. لذا فرایند صاف‌سازی آب بدون استفاده از موادی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلوئید را افزایش می‌دهند غیر ممکن می‌نماید [۹]. به‌طور معمول نمکهای فلزی نظیر سولفات آلومینیم، سولفات فریک، سولفات فرو، کلرور فریک و پلی‌آلومینیم کلراید

به‌عنوان منعقد کننده و ترکیباتی نظیر آلومینات سدیم، بنتونیت، سیلیکات سدیم (سیلیس فعال) و انواع پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی، آنیونی و غیر یونی به‌عنوان کمک منعقد کننده در تصفیه آب برای حذف کدورت مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸-۱۲]. نمکهای آلومینیم و آهن متداول‌ترین منعقد کننده‌هایی هستند که تاکنون برای تصفیه آب و پساب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما در سال‌های اخیر نوع جدیدی از مواد منعقد کننده تحت عنوان منعقد کننده‌های پلیمری معدنی (IPFs)<sup>۱</sup> با استفاده از نمکهای معمول آهن و آلومینیوم تهیه شدند که به‌طور روز افزونی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه چین، ژاپن، روسیه و کشورهای اروپای غربی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۳ و ۱۴]. از جمله برتری‌های منعقد کننده‌های پلیمری معدنی نسبت به منعقد کننده‌های متداول می‌توان به کارایی مناسب در محدوده گسترده‌ای از pH و کارایی بهتر در دماهای مختلف به‌ویژه در دماهای پایین اشاره کرد [۱۵ و ۱۶].

پلی‌آلومینیم کلراید یکی از مهم‌ترین IPF ها است که نسبت به گونه‌های دیگر کاربرد بیشتری دارد [۱۳ و ۱۴]. بر اساس تحقیقات املیا و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۵، اریک<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۲، مالهورتر<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۴، تانگ و همکاران<sup>۴</sup> در سال ۱۹۹۶، لوان<sup>۵</sup> در سال ۱۹۹۸ و لیو و همکاران<sup>۶</sup> در سال ۱۹۹۹، پلی‌آلومینیم کلراید در مقایسه با سایر مواد منعقد کننده نظیر سولفات آلومینیم، کلرور فریک و غیره در شرایط کدورت متوسط و بالا از عملکرد بهتری برخوردار است. به‌عنوان مثال نیاز به مقدار کمتر به‌دلیل شارژ بار یونی بیشتر، تشکیل لخته‌های درشت‌تر، کاهش مدت زمان ته‌نشینی فلاک، تولید لجن کمتر، عدم نیاز به تنظیم کننده pH به‌دلیل کاهش کمتر pH، عملکرد بهتر در دماهای پایین‌تر، افزایش طول دوره عملکرد صافی و غیره از جمله این موارد است [۱۷-۲۲]. اکثر آب تصفیه‌خانه‌های کشور از مخازن سدها که دارای کدورت پایین است تأمین می‌گردد. این درحالی است که حذف کدورت پایین تا حدودی مشکل بوده و راهبران تصفیه‌خانه‌های آب در اکثر مواقع با افزایش خاک رس، کدورت مصنوعی در آب ایجاد نموده تا حذف کدورت کم بهتر صورت پذیرد. در برخی از تصفیه‌خانه‌ها نیز با افزایش قلیائیت آب (افزودن آهک) حذف کدورت کم را توسط مکانیسم به دام انداختن کدورت در رسوب هیدروکسید حاصله انجام می‌دهند. در سالهای اخیر نیز افزایش کمک منعقدکننده‌های پلیمری به‌ویژه نوع آنیونی آن برای حذف

<sup>1</sup> Omelia et al.

<sup>2</sup> Eric

<sup>3</sup> Malhuttra

<sup>4</sup> Tang et al.

<sup>5</sup> Luan

<sup>6</sup> Liu et al.

بیشتر کدورت‌های پایین آب خام رایج شده که به دلیل رهاسازی منومر در آب تصفیه شده و مخاطرات بهداشتی برای مصرف‌کنندگان و نیز لزوم تنظیم دقیق مقدار مصرف متناسب با مقدار کدورت آب خام، مصرف آن هنوز مورد مناقشه است. به این منظور مطالعه حاضر با هدف بررسی و ارزیابی کارایی منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلورفریک و سولفات آلومینیم در حذف کدورت و رنگ پایین از آب و همچنین اثرات آن‌ها بر میزان هدایت الکتریکی و قلیابیت به انجام رسید تا بدون نیاز به افزایش کمک منعقدکننده‌های طبیعی و مصنوعی که سبب افزایش هزینه‌های راهبری، افزایش میزان لجن تولیدی و مشکلات دفع آن و نگرانی‌های بهداشتی می‌شوند بتوان نوع و میزان ماده منعقدکننده بهینه و شرایط عملی مناسب را انتخاب نمود.

## ۲- مواد و روشها

این مطالعه به صورت تحقیق تجربی - مداخله‌ای در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه انجام شد. به منظور مقایسه کارایی منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلورفریک و سولفات آلومینیم در حذف کدورت، آزمایش‌ها بر مبنای متغیرهایی چون کدورت‌های مختلف (۵۰، ۲۰، ۱۰ NTU)، غلظت‌های مختلف مواد منعقدکننده (۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) و رنگ (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ TCU) صورت پذیرفت.

برای تهیه کدورت، ابتدا خاک رس و خاک نباتی با هم مخلوط شد، پس از الک نمودن در هاون به صورت ذرات ریز در آورده، سپس در آب شهری حل گردید و پس از نیم ساعت ته‌نشینی، آب رویی آن به عنوان محلول تهیه کدورت‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مصرف بالای محلول استوک، تهیه این محلول چندین بار صورت گرفت به طوری که برای هر ماده منعقدکننده یک محلول کامل استوک استفاده شد. از این محلول استوک محلول‌های رقیق‌تر کدورت با استفاده از آب مقطر تهیه گردید. سپس به هر شش بشر دستگاه جار یک لیتر از نمونه مورد آزمایش با کدورت مشخص ریخته شده و پارامترهای pH، درجه حرارت، هدایت الکتریکی، رنگ و قلیابیت به عنوان پاسخ فرایند مورد سنجش قرار گرفتند. مواد منعقدکننده در بشرهای اول تا ششم به ترتیب با غلظت‌های بهینه ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد، سپس نمونه به درون ظرف دستگاه جارتست مدل هچ<sup>۱</sup> تخلیه و عمل اختلاط سریع با سرعت ۸۰ دور در دقیقه و به مدت یک

دقیقه و اختلاط آرام با سرعت ۳۰ دور در دقیقه و به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. پس از انجام عمل اختلاط آرام، نمونه برای مدت ۳۰ دقیقه به منظور انجام ته‌نشینی در شرایط سکون نگه داشته شد و یک نمونه ۲۵ میلی‌لیتری برداشت گردید و با استفاده از کدورت سنج<sup>۲</sup> مدل 2100P، کدورت نمونه اندازه‌گیری شد. سپس و ویژگی ته‌نشینی لخته‌ها مورد مشاهده قرار گرفت و ویژگی لخته‌ها به صورت توصیفی با واژه‌هایی چون ضعیف، نسبتاً خوب، خوب و عالی و اندازه لخته‌ها با واژه‌هایی چون بسیار ریز، ریز، متوسط، درشت و بسیار درشت ثبت گردید. همچنین برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر مدل میکروپروسور ۵۳۷<sup>۳</sup> و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه EC سنج<sup>۴</sup> مدل BA380 استفاده شد.

برای تهیه استاندارد به منظور تشخیص رنگ حقیقی، ابتدا ۰/۱۲۴ گرم کلور پلاتینات پتاسیم با ۰/۱ گرم کلورور کبالت کریستال ترکیب شده و در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ (۳۶٪)، حل گردید و با آب مقطر در داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. در مرحله بعدی استانداردهای رنگ، ۵ TCU و ۱۰ آماده گردید و با روش مقایسه چشمی، رنگ نمونه‌ها مشخص شد. بعد از تعیین غلظت بهینه هر ماده منعقدکننده در دز بالا، نسبت به تعیین غلظت دز جزئی بهینه مواد منعقدکننده ۱ و ۳ میلی‌گرم در لیتر اقدام گردید. برای حذف رنگ ظاهری حاصل از نمک‌های آهن، نمونه‌ها از فیلتر عبور داده شدند. برای کاهش خطا و دستیابی به داده‌های قابل استناد، هر مرحله از انجام آزمایش برای هر نمونه، سه مرتبه به طور کامل تکرار شد که نتایج حاصله میانگین این سه مرتبه بود.

## ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از انجام مطالعه حاضر پیرامون کارایی چهار منعقدکننده رایج پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلورفریک و سولفات آلومینیم در حذف کدورت و رنگ پایین از آب آشامیدنی و اثرات آنها بر میزان قلیابیت و هدایت الکتریکی به شرح ذیل است: نتایج نشان داد بعد از استفاده از منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلورفریک و سولفات آلومینیم در کدورت‌های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰، میزان pH کاهش می‌یابد به طوری که با افزایش هر میلی‌گرم در لیتر منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیم کلراید، سولفات فرو و کلورفریک، pH حدود ۰/۱ واحد کاهش پیدا نمود. این در حالی است که به ازای هر میلی‌گرم در لیتر کلورفریک حدود ۰/۲ واحد pH کاهش حاصل شد.

<sup>2</sup> Turbidimeter

<sup>3</sup> Microprocessor 537

<sup>4</sup> Conductivitymeter

<sup>1</sup> HACH

همچنین با افزایش هر میلی‌گرم در لیتر منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیم کلراید و سولفات فرو به ترتیب حدود ۰/۰۴ و ۰/۰۶ درجه سلسیوس کاهش درجه حرارت و در خصوص مواد منعقدکننده سولفات آلومینوم و کلرورفریک به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۱۵ درجه سلسیوس افزایش دما به دست آمد.

نتایج حاصل از آزمایش‌های منعقد کننده پلی‌آلومینیم کلراید نشان داد که با اضافه کردن ۵ میلی‌گرم در لیتر از این نوع منعقد کننده، کدورت آب در هر سه حالت کدورت اولیه به کمتر از ۱ NTU/۰ و رنگ از ۵ به صفر TCU رسید. نتایج افزایش سایر غلظت‌های پلی‌آلومینوم کلراید در تمامی کدورت‌های اولیه نشان داد که کدورت و رنگ نمونه‌ها بعد از آزمایش جار به صفر می‌رسد. اندازه لخته حاصل از این نوع منعقدکننده در مقادیر ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر ریز بوده و سرعت ته‌نشینی در مقادیر ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر خوب و در مقادیر ۲۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر عالی بود.

نتایج حاصل از آزمایش‌های منعقد کننده سولفات فرو نشان داد که با اضافه کردن ۵ میلی‌گرم در لیتر از این نوع منعقد کننده، کدورت از ۵۰ به ۲ NTU رسید ولی رنگ با اضافه کردن ۱۵ میلی‌گرم در لیتر منعقد کننده از ۱۰ به ۵ TCU رسید (۵۰ درصد رنگ حذف شده است). اندازه لخته توسط این منعقد کننده در مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب بسیار ریز، ریز، متوسط، درشت، درشت و بسیار درشت بوده و سرعت ته‌نشینی آن در این مقادیر به ترتیب بسیار ضعیف، ضعیف، نسبتاً خوب، خوب، خوب و عالی بود. اندازه‌گیری رنگ و کدورت برای سولفات فرو در کدورت اولیه ۱۰ و ۲۰ و رنگ اولیه ۵ TCU انجام شد که با اضافه کردن ۵ میلی‌گرم در لیتر منعقد کننده، میزان کدورت و رنگ به ترتیب ۳ و صفر شد. اندازه لخته در این نوع منعقد کننده برای کدورت ۲۰ و ۱۰ در مقادیر منعقد کننده مصرفی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب بسیار ریز، ریز، متوسط، متوسط، درشت و متوسط، متوسط، متوسط، درشت، درشت، درشت بود. سرعت ته‌نشینی در این دزها برای کدورت ۲۰ و ۱۰ به ترتیب بسیار ضعیف، نسبتاً خوب، نسبتاً

خوب، خوب، خوب، عالی و نسبتاً خوب، خوب، خوب، خوب، خوب، خوب بود. با افزایش سایر غلظت‌های سولفات فرو (۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) کدورت نمونه در حد ۱ NTU/۰ در هر سه مقدار کدورت اولیه ثابت باقی ماند.

نتایج حاصل از آزمایش‌های سولفات آلومینیم نشان داد که با اضافه کردن ۵ میلی‌گرم در لیتر از این نوع منعقد کننده، کدورت اولیه (۵۰، ۲۰ و ۱۰) به کمتر از ۳ NTU/۰ و رنگ از ۵ به صفر TCU رسید. اندازه لخته توسط این منعقد کننده در مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب بسیار ریز، ریز، متوسط، متوسط، درشت و بسیار درشت بوده و سرعت ته‌نشینی آن در این دزها به ترتیب بسیار ضعیف، ضعیف، نسبتاً خوب، نسبتاً خوب، خوب و عالی بود. با افزایش غلظت سولفات آلومینوم (۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) میزان حذف کدورت افزایش یافته به طوری که در غلظت ۲۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر میزان حذف کدورت به ۱۰۰ درصد رسید.

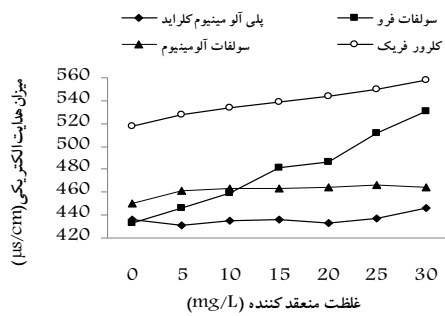
نتایج حاصل از آزمایش‌های منعقد کننده کلرورفریک نشان داد که با اضافه کردن ۵ میلی‌گرم در لیتر از این نوع منعقد کننده، کدورت اولیه از ۳۰، ۲۰، ۱۰ به کمتر از ۲ NTU/۰ و رنگ از ۱۰ به صفر TCU رسید. اندازه لخته توسط این منعقد کننده در مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب بسیار ریز، ریز، متوسط، درشت، درشت و بسیار درشت بوده و سرعت ته‌نشینی آن در این مقادیر به ترتیب بسیار ضعیف، ضعیف، نسبتاً خوب، خوب، خوب و عالی بود. نتایج در سایر غلظت‌های کلرورفریک مشابه سولفات آلومینوم بود. نتایج حاصل از افزایش غلظت‌های جزیبی بهینه مواد منعقد کننده (۳ و ۱ میلی‌گرم در لیتر) و تأثیر آن بر کدورت و رنگ اولیه در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. شکلهای ۱ تا ۳ که بیانگر اثر غلظت مواد منعقدکننده بر میزان قلیابیت در کدورت‌های ۵۰، ۲۰ و ۱۰ هستند نشان می‌دهند که با افزایش غلظت منعقدکننده میزان قلیابیت کاهش یافته است. شکلهای ۴ تا ۶ که بیانگر اثر غلظت مواد منعقد کننده بر میزان هدایت الکتریکی در کدورت‌های ۵۰، ۲۰ و ۱۰ هستند نشان می‌دهد که با افزایش غلظت منعقدکننده میزان هدایت الکتریکی

جدول ۱- نتایج کدورت آب بعد از استفاده از دز جزئی بهینه مواد منعقد کننده (در سه بار تکرار)

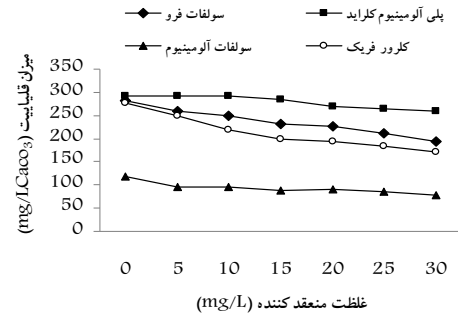
کدورت اولیه (NTU)	پلی آلومینیم کلراید (mg/L)		سولفات آلومینیم (mg/L)		سولفات فرو (mg/L)		کلرور فریک (mg/L)	
	درصد	حذف	درصد	حذف	درصد	حذف	درصد	حذف
۱۰	۷۵	۲/۵	۸۹	۳/۷	۶۳	۲/۲	۷۸	۱/۶
۲۰	۶۲	۷/۷	۷۹	۱۰/۵	۴۸	۶/۷	۶۷	۵/۲
۵۰	۶۹	۱۵/۴	۸۷	۶/۶	۵۳	۱۰/۱	۸۰	۹/۶

جدول ۲- نتایج رنگ آب بعد از استفاده از دز جزئی بهینه مواد منعقد کننده (در سه بار تکرار)

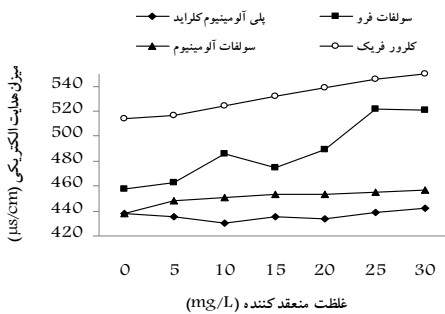
رنگ اولیه (TCU)		پلی آلومینیم کلراید (mg/L)		سولفات آلومینیم (mg/L)		سولفات فرو (mg/L)		کلرور فریک (mg/L)	
درصد حذف	درصد	درصد حذف	درصد	درصد حذف	درصد	درصد حذف	درصد	درصد حذف	درصد
۵ (۱۰ NTU)	۱	۸۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۸۰	۰
۵ (۲۰ NTU)	۱	۸۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۸۰	۰
۱۰ (۵۰ NTU)	۳	۷۰	۱	۹۰	۱	۷۰	۳	۹۰	۱



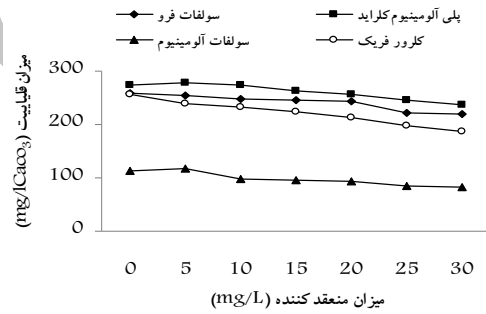
شکل ۴- تأثیر غلظت مواد منعقد کننده‌ها بر هدایت الکتریکی در کدورت اولیه ۱۰ NTU



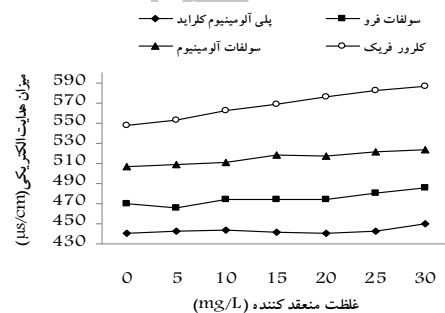
شکل ۱- تأثیر غلظت منعقد کننده‌ها بر قلیائیت در کدورت اولیه ۱۰ NTU



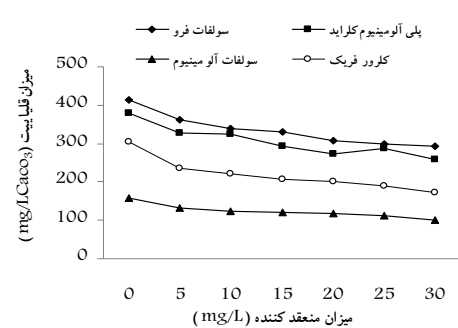
شکل ۵- تأثیر غلظت مواد منعقد کننده‌ها بر هدایت الکتریکی در کدورت اولیه ۲۰ NTU



شکل ۲- تأثیر غلظت منعقد کننده‌ها بر قلیائیت در کدورت اولیه ۲۰ NTU



شکل ۶- تأثیر غلظت مواد منعقد کننده‌ها بر هدایت الکتریکی در کدورت اولیه ۵۰ NTU



شکل ۳- تأثیر غلظت منعقد کننده‌ها بر قلیائیت در کدورت اولیه ۵۰ NTU

افزایش یافته است.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر پیرامون منعقد کننده سولفات فرو بیانگر آن است که در کدورت NTU ۵۰ با اضافه کردن ۵ میلی گرم در لیتر منعقد کننده میزان حذف کدورت ۹۶ درصد بوده ولی رنگ در مقدار ۱۵ میلی گرم در لیتر سولفات فرو ۵۰ درصد حذف شده است. در کدورت NTU ۲۰ و ۱۰، رنگ به طور کامل (۱۰۰ درصد) و کدورت به ترتیب ۸۵ و ۷۰ درصد حذف شده است. اندازه لخته در کدورت NTU ۵۰ و ۱۰ در مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی گرم در لیتر سولفات فرو نامناسب و در مقادیر ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر کاملاً مناسب و برای کدورت NTU ۲۰ فقط در مقدار ۳۰ میلی گرم در لیتر مناسب است. سرعت ته نشینی در کدورت NTU ۵۰ و ۲۰ در مقادیر ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر سولفات فرو خوب تا عالی و برای کدورت NTU ۱۰ در این مقادیر خوب ارزیابی می شود. با افزایش مقدار منعقد کننده سولفات فرو، میزان pH، دما و قلیابیت کاهش و هدایت الکتریکی افزایش می یابد. محدوده pH برای کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ به ترتیب (۶/۵۲-۷/۰۶)، (۶/۸۷-۶/۵۶) و (۶/۹۶-۶/۵۹) بود. دما و pH نمونه های آب حاصل از افزایش سولفات فرو مقادیر کمتری را نسبت به پلی آلومینیم کلراید نشان داده، این در حالی است که پلی آلومینیم کلراید نسبت به سولفات فرو، کارایی بهتری در حذف کدورت دارد.

نتایج حاصل از افزایش ۵ میلی گرم در لیتر منعقد کننده سولفات آلومینیم بیانگر آن است که در کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ میزان حذف کدورت به ترتیب ۹۹/۴، ۹۸/۵ و ۹۷ درصد است. نتایج نشان دهنده آن است که با افزایش مقدار منعقد کننده، میزان pH و دمای نمونه های آب کاهش یافته و اندازه لخته در هر سه کدورت در مقادیر ۲۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیم کاملاً مناسب بوده و سرعت ته نشینی آن در این مقادیر نیز خوب تا عالی ارزیابی می شود. محدوده pH در این تحقیق برای سولفات آلومینیم برای کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ به ترتیب (۷/۲۳-۷/۵۴)، (۶/۸۷-۶/۵۴) و (۷/۴۶-۷/۱۴) بود.

نتایج حاصل از منعقد کننده کلروفریک بیانگر آن است که در کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ در دز ۵ میلی گرم در لیتر منعقد کننده، کدورت به ترتیب ۹۹/۶، ۹۹ و ۹۸ درصد حذف شد، ولی رنگ ۱۰۰ درصد حذف گردید. نتایج نشان دهنده آن است که با افزایش مقدار منعقد کننده، pH و دمای نمونه های آب کاهش یافته و اندازه لخته در هر سه کدورت در مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی گرم در لیتر ماده منعقد کننده نامناسب و در سایر مقادیر آن کاملاً مناسب است. سرعت ته نشینی در مقادیر ۲۵ تا ۳۰ میلی گرم در لیتر خوب تا عالی ارزیابی می شود. محدوده pH در این تحقیق

برای کلروفریک برای کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ به ترتیب (۶/۶۷-۷/۹۸)، (۷/۴۳-۶/۹۳) و (۷/۵۳-۶/۹۷) بود.

نتایج حاصل از منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید بیانگر آن است که در کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ در مقدار ۵ میلی گرم در لیتر منعقد کننده، کدورت به ترتیب ۹۹/۸، ۹۹/۵ و ۹۹ درصد حذف شد ولی رنگ ۱۰۰ درصد حذف گردید. نتایج نشان دهنده آن است که با افزایش مقدار منعقد کننده، pH و دمای نمونه های آب کاهش یافته و اندازه لخته در هر سه کدورت نامناسب بوده و سرعت ته نشینی برای مقادیر ۵ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر خوب و برای مقدار ۲۵ و ۳۰ میلی گرم در لیتر عالی است، یعنی با افزایش مقدار منعقد کننده، سرعت ته نشینی نیز بالاتر رفته که این عمل در کاهش زمان تصفیه بسیار موثر است. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید، قلیابیت کاهش و میزان هدایت الکتریکی افزایش می یابد. محدوده pH در این تحقیق برای پلی آلومینیم کلراید برای کدورت های NTU ۵۰، ۲۰ و ۱۰ به ترتیب (۷/۲۵-۷/۱۴)، (۷/۴۳-۶/۹۶) و (۷/۱۱-۷/۶) بود. از طرفی دیگر میزان حذف کدورت و رنگ در هر سه مقادیر کدورت اولیه در دز جزئی بهینه ۳ میلی گرم در لیتر در تمامی مواد منعقد کننده مصرفی بیشتر از دز ۱ میلی گرم در لیتر آنها است.

مقایسه اثر این نوع منعقد کننده ها بر کدورت و رنگ اولیه نمونه ها نشان می دهد که پلی آلومینیم کلراید نسبت به سایر مواد منعقد کننده از عملکرد بهتری در حذف کدورت و رنگ برخوردار است. این مقایسه بر اساس سرعت ته نشینی، اندازه لخته و میزان حذف کدورت و رنگ است. میزان کاهش pH نمونه های آب بعد از افزایش کلروفریک مقادیر بیشتری را نسبت به دیگر منعقد کننده های مصرفی نشان می دهد. مطالعه ای که توسط محوی و احمدی مقدم انجام پذیرفت نشان داد که غلظت های کمتری از پلی آلومینیم کلراید نسبت به سایر منعقد کننده ها مصرف شده و سبب می شود هزینه منعقد کننده مصرفی به ازای هر متر مکعب آب تصفیه شده کاهش یابد [۲۳]. مطالعه آزمایشگاهی کاربرد پلیمر معدنی آلومینیم در حذف کدورت از آب توسط بنی هاشمی و همکاران انجام گردید. در این مطالعه بدون ذکر کدورت اولیه آب، ماده منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید به دلیل سرعت ته نشینی بیشتر فلاک های حاصله، عدم حساسیت به دمای آب و نیز کدورت باقیمانده کمتر آب تصفیه شده، در حذف کدورت از آب مناسب تر از سولفات آلومینیم و کلرو فریک گزارش گردید [۲۴]. دامنه مصرف مواد منعقد کننده در این تحقیق ۵ تا ۳۵ میلی گرم در لیتر بود که نتایج حاصل از آن شباهت زیادی با نتایج دز بهینه اصلی مواد منعقد کننده این تحقیق داشت.

نتایج حاصل از افزایش دز جزئی بهینه (۱ و ۳ میلی گرم در لیتر) مواد منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلروفریک و سولفات آلومینیم نشان داد که در کدورت آب خام NTU ۱۰، ۲۰ و ۵۰ به ترتیب مواد منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید، کلروفریک، سولفات آلومینیم و سولفات فرو بیشترین کارایی را در حذف کدورت و رنگ ایفا نموده اند. مطالعه عبدالله زاده و همکاران در خصوص مقایسه عملکرد پلی آلومینوم کلراید و کلروفریک در حذف کدورت و مواد آلی منابع آب نشان داد که در دامنه کدورت این تحقیق (۵۰، ۲۰ و ۱۰) کارایی پلی آلومینوم کلراید در حذف کدورت و TOC بیشتر از کلروفریک است (به ترتیب ۸۵-۹۹/۷۵ و ۲۴-۷۱/۴ در مقابل ۹۹/۳-۷۱ و ۴۶/۷-۱۶ درصد) [۲۵].

نتایج حاصل از افزایش دز جزئی بهینه (۱ و ۳ میلی گرم در لیتر) مواد منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید، سولفات فرو، کلروفریک و سولفات آلومینیم نشان داد که در کدورت آب خام NTU ۱۰، ۲۰ و ۵۰ به ترتیب مواد منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید، کلروفریک، سولفات آلومینیم و سولفات فرو بیشترین کارایی را در حذف کدورت و رنگ ایفا نموده اند. مطالعه عبدالله زاده و همکاران در خصوص مقایسه عملکرد پلی آلومینوم کلراید و کلروفریک در حذف کدورت و مواد آلی منابع آب نشان داد که در دامنه کدورت این تحقیق (۵۰، ۲۰ و ۱۰) کارایی پلی آلومینوم کلراید در حذف کدورت و TOC بیشتر از کلروفریک است (به ترتیب ۸۵-۹۹/۷۵ و ۲۴-۷۱/۴ در مقابل ۹۹/۳-۷۱ و ۴۶/۷-۱۶ درصد) [۲۵].

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق در تمام منعقدکننده ها با افزایش غلظت منعقد کننده، قلیائیت کاهش و هدایت الکتریکی افزایش پیدا کرد. هدایت الکتریکی آب به TDS مربوط می شود. این پارامتر معیاری از توانایی آب برای هدایت جریان الکتریسته است. چون جریان الکتریکی در یک محلول توسط یون های موجود در آن انتقال داده می شود، با افزایش TDS هدایت الکتریکی نیز افزایش می یابد. در تحقیق حاضر بیشترین میزان هدایت الکتریکی ( $586 \mu\text{s/cm}$ ) برای منعقد کننده کلروفریک در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر بوده و کمترین میزان هدایت الکتریکی ( $443 \mu\text{s/cm}$ ) برای منعقد کننده

در این تحقیق در تمام منعقدکننده ها با افزایش غلظت منعقد کننده، قلیائیت کاهش و هدایت الکتریکی افزایش پیدا کرد. هدایت الکتریکی آب به TDS مربوط می شود. این پارامتر معیاری از توانایی آب برای هدایت جریان الکتریسته است. چون جریان الکتریکی در یک محلول توسط یون های موجود در آن انتقال داده می شود، با افزایش TDS هدایت الکتریکی نیز افزایش می یابد. در تحقیق حاضر بیشترین میزان هدایت الکتریکی ( $586 \mu\text{s/cm}$ ) برای منعقد کننده کلروفریک در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر بوده و کمترین میزان هدایت الکتریکی ( $443 \mu\text{s/cm}$ ) برای منعقد کننده

#### ۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله به این وسیله از زحمات تمامی همکاران آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه تشکر و قدردانی می نمایند.

#### ۶- مراجع

- 1- Pari Zanganeh, A.H., Ghadimi, Y., and Abedini, Y.A. (2004). "Water pollution and the main sources of pollutants of Abhar river in Zanjan province." *Proc. 6<sup>th</sup> National Congress on Environmental Health*, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, 441-449. (In Persian)
- 2- Graham, N.J.D. (1986). "Ortho kinetic flocculation rapid filtration." *J. of Water Research*, 54, 715-724.
- 3- UNESCO, WHO and UNEP. (2000). *Water quality assessments*, 25<sup>th</sup> Ed., Chapman and Hall Ltd., London.
- 4- HDR Engineering Inc. (2001). *Handbook of public water system*, John Wiley and Sons, New York.
- 5- WHO. (1991). *Guidelines for drinking water quality*, Vol 2, New Dehli.
- 6- McGhee, T. (1991). *Water supply and sewerage*, McGraw- Hill, Washington, D.C.
- 7- Montgomery, J.M. (1995). *Water treatment principals and design*, John Wiley and Sons, New York.
- 8- Lipoor, V., and Bazerafshan, A. (2003). *Water treatment*, 1<sup>st</sup> Ed., Vol 1, Daneshnema, Tehran. (In Persian)
- 9- Shamansouri, M., and Neshat, A.A. (2004). "Comparison of poly aluminum chloride, aluminum sulfate and ferric chloride in order to TOC & MPN removal in optimum concentrations for turbidity removal from raw water of Esfahan water treatment plant." *Proc. 6<sup>th</sup> National Congress on Environmental Health*, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, 441-449. (In Persian)
- 10- Kenneth D.K. (2008). *Water treatment plant operation*, Beard Pub., California.
- 11- Letterman, R.D., and Peron, R.W. (1990). "Contaminants in polyelectrolyte's used in water treatment." *J. AWWA.*, 82, 87-97.

- 12- Weber, W.J. (1972). *Physiochemical process for water quality control*, John Wiley and Sons, New York.
- 13- Shi, B., Li, G., Wang, D., Feng, C., and Tang, H. (2007). "Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species." *J. Hazard. Mater.*, 143, 567-574.
- 14- Wang, D., Sun, W., Xu, Y., Tang, H., and Gregory, J. (2004). "Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACl." *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 243, 1-10.
- 15- Jiang, J. Q. (2001). "Development of coagulation theory and prepolymerized coagulants for water treatment." *Separation and Purification Methods*, 30, 127-142.
- 16- Ye, C., Wang, D., Shi, B., Yu, J., Qu, J., Edwards, M., and Tang, H. (2007). "Alkalinity effect of coagulation with polyaluminum chlorides: Role of electrostatic patch." *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.*, 294, 163-173.
- 17- Omelia, 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.
- 18- 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.
- 19- Malhotra, S. (1994). "Polyaluminum chloride as an alternative coagulant." *Proc. 20<sup>th</sup> WEDC Conference Colombo*, Sri Lanka, 289-291.
- 20- 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.
- 21- Luan, Z.K. (1997). "Theory and application of inorganic polymer flocculant-polyaluminium chloride." Doctorial Dissertation, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing.
- 22- Liu, W., Huang, H., and Peng, J. (2001). *Application of polyaluminium chloride in Shenzhen water supply*, Qingyuan Water Purification Water Supply Group Ltd., Schenzhen, China.
- 23- Mahvi, A.H., and Ahmadi Moghaddam, M. (2003). "Technical, economical and healthy evaluation of PACL application in water treatment." *Iranian J. of Public Health*, 32, 6-8.
- 24- Banihashemi, A., Alavi Moghaddam, M. R., Maknoon, R., and Nikazar, M. (2008). "Lab-scale study of water turbidity removal using aluminum inorganic polymer." *J. of Water and Wastewater*, 66, 82-86. (In Persian)
- 25- Abdolah Zadeh, M., Torabian, A., and Hassani, A.H. (2009). "Comparison of the performance of poly chloride (PACl), ferric chloride (FeCl<sub>3</sub>), in turbidity and organic matter removal; from water source, case-study; Karag river, in Tehran water treatment plant no.2." *J. of Water and Wastewater*, 70, 23-31. (In Persian)
- 26- Tchobanoglous, G., and Schroeder, E.D. (1985). *Water quality: Characteristics, modeling and modification*, Addison- Wesley Pub. Co., Reading, MD.
- 27- USEPA. (1970). "National secondary drinking water regulation." *Federal Register*, 44(153), 42195- 42202.