

## بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی و $UV_{254}$ از آب رودخانه کارون با استفاده از پلی آلومینیم کلراید و کیتوزان در تصفیه آب اهواز

نغمه عروجی<sup>۱</sup>، افشین تکداستان<sup>۲\*</sup>، علی کارگری<sup>۳</sup> و غلامرضا رئیسی<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، شرکت آب و فاضلاب اهواز-ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوریهای زیست دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز-ایران [afshin\\_ir@yahoo.com](mailto:afshin_ir@yahoo.com)

۳- استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴- مدیریت کنترل کیفیت و نظارت بر بهداشت شرکت آب و فاضلاب اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۷

### چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی کیتوزان در بهبود عملکرد منعقدکننده پلی آلومینوم کلراید در حذف کدورت، آلومینوم و مواد آلی از جمله کل کربن آلی و  $UV_{254}$  (جذب مواد آلی توسط اشعه ماوراء بنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر) در مرحله اختلاط کند از آب آشامیدنی صورت پذیرفت. این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در تصفیه خانه آب اهواز انجام شد. دوز بهینه پلی آلومینیم کلراید به همراه کیتوزان، به ترتیب ۵ و ۰/۰۲ میلی گرم در لیتر به دست آمد. راندمان حذف کدورت، کل کربن آلی، آلومینوم و جذب مواد آلی توسط اشعه ماوراء بنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر در شرایط بهینه عملکرد کیتوزان به ترتیب برابر با ۹۶/۵۹، ۴۶/۱۵، ۸۰/۴۹ و ۶۷/۸۶ درصد به دست آمد. مکانیسم حاکم جهت ناپایداریسازی ذرات کلونیدی و حذف مواد آلی طبیعی، از طریق پل زنی بین ذرات - پلیمر، ختنی سازی بار مواد آلی طبیعی کلونیدی و مکانیسم ترسیب مشترک بوسیله جذب سطحی قابل توجه است. به علاوه فلوک های تشکیل شده توسط کیتوزان به دلیل بالا بودن وزن مولکولی آن، درشت تر بوده و برای ته نشینی به زمان کمتری نیاز داشتند.

کلید واژه‌ها: انعقاد، کدورت، کیتوزان، کل کربن آلی،  $UV_{254}$ .

### Surveying Efficiency of Removing Turbidity, Aluminum, Total Organic Carbon and $UV_{254}$ from Karoon River by Using Poly Aluminum Chloride and Chitosan in Water Treatment Plant of Ahvaz

N. Orooji<sup>1</sup>, A. Takdastan<sup>2\*</sup>, A. Kargari<sup>3</sup> and Gh. Raeesi<sup>4</sup>

1- M.Sc Thesis of Applied Chemistry, Ahvaz Water and Wastewater Company

2\* - Environmental Health Eng. and Member of EnvironmentalTech. Research Center, Jondishapur University of Medical Sciences, Ahvaz-Iran.

3- Assist. Prof. of Chemistry Eng., Amirkabir University of Tech. Tehran

4- Management of Quality Control and Health Monitoring of Ahvaz Water and Wastewater

Received: 17 June 2013

Accepted: 16 June 2014

### Abstract

The present study was conduct in order to surveying the efficiency of Chitosan in performance improvement of coagulant of poly aluminum chloride in removing the turbidity, Al, and organic materials including TOC and  $UV_{254}$  (Absorption of the organic materials by ultraviolet at 254 nm) at the slow mixing phase from drinking water. This study conducted in the labscale using jar test device in water treatment plant of Ahvaz. Optimal dosage of poly aluminum chloride together with chitosan was obtained 5 mg/L and 0.02 mg/L respectively. The efficiency of removing the turbidity, TOC, Al and  $UV_{254}$  in the optimal conditions of Chitosan performance were obtained for 96.59, 46.15, 80.49, and 67.86% respectively. The

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...

dominant mechanism for instable making colloidal particles and removing the natural organic materials by bridging between the particles-polymers, neutralizing the colloidal NOM charge, and common deposition mechanism by surface absorption are justified. In addition, flocs formed by chitosan were coarser due to the high molecular weight and needed to the less time in order to being deposited.

**Keywords:** Coagulation, Turbidity, Chitosan, Total Organic Carbon, UV<sub>254</sub>

فقط به جای گروه OH متصل به C-2 در هر واحد - گلوکز سلولز یک گروه آمینو استیل شده (NHCOCH<sub>3</sub>-) در کیتین و یک گروه آمینو در کیتوزان وجود دارد (کرامتی و همکاران، ۲۰۰۷؛ اکویاما و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰). از مهم ترین مزایای کیتوزان نسبت به نمک فلزات در فرایند انعقاد می توان به پایین بودن دوز تزریقی موثر، تولید حجم کمتر لجن، وابستگی کمتر عملکرد آن به pH، تولید لجن با خاصیت آبیگری بهتر، چگال تر بودن، قابلیت هضم بیولوژیکی بهتر، خورنده نبودن و سهولت در جابه جایی اشاره کرد. همچنین کیتوزان، pH و قلیائیت را نسبت به دیگر منعقدکننده های رایج، کمتر تحت تاثیر قرار می دهد. مکانیسم عمل انعقاد و لخته سازی این ماده، خنثی سازی بار و جذب سطحی و پل زنی بین ذرات کلوئیدی عنوان شده است (بینا و همکاران، ۲۰۰۹).

از لحاظ پیشینه تاریخی، اکثر فرایندهای انعقاد برای حذف کدورت طراحی شده بودند، اما برخی واحدها، به ویژه آنهایی که آبهای به شدت رنگی را تصفیه می کنند، حذف مواد آلی نیز مد نظر بوده است (ماریا و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴). به علت پیچیدگی مواد آلی طبیعی، اندازه گیری روتین آنها غیر عملی است. در نتیجه از پارامترهای جانشین برای سنجش آنها استفاده می کنند. متداول ترین پارامترهای مرتبط در این زمینه کل کربن آلی<sup>۶</sup>، جذب پرتو فرابنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر<sup>۷</sup>، جذب ویژه فرابنفش<sup>۸</sup> می باشند. UV<sub>254</sub> بخشی از ترکیبات آلی چون لیگنین، تانین و مواد حلقوی را نشان می دهد که بیشترین جذب را در طول موج ۲۵۴ نانومتر دارند و معمولاً حدود ۵۰ درصد از مواد آلی محلول<sup>۹</sup> را تشکیل می دهند. معمولاً مواد آلی طبیعی به دو دسته اصلی مواد هیدروفوبیک و هیدروفیلیک تقسیم بندی می شوند. بخش هیدروفوبیک کم محلول، اندازه مولکولی بزرگ تر و آروماتیک تر از بخش هیدروفیلیک می باشد و عمدتاً شامل اسیدهای هیومیک و فولویک می باشد. بخش اسید هیومیک (شکل ۲)، واکنش پذیرتر است و به آسانی توسط کوآگولاسیون قابل حذف است (کرنیک و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۵).

## مقدمه

زدایش آلاینده های آب، به ویژه آب های سطحی و پالایش آن به گونه ای که با استانداردها و ضابطه های ملی آب آشامیدنی همخوانی داشته باشد، نیازمند اعمال واحدها و فرایندهای گوناگون است. در حال حاضر و در اغلب فرایندهای تصفیه، برای تبدیل شکل های کلوئیدی آلاینده ها به ذرات قابل ته نشینی، از مواد شیمیایی گوناگونی استفاده می شود. در بیشتر تصفیه خانه های آب ایران از آلوم و کلرید فریک استفاده می گردد. هم اکنون در تصفیه خانه آب اهواز از پلی آلومینیم کلراید استفاده می گردد. پلی آلومینوم کلراید یا آلومینوم کلراید هیدراته، منعقدکننده پیش پلیمریزه شده و از لحاظ ترکیبی یک ماکرومولکول معدنی است که منومرهای آن یک کمپلکس دو هسته ای از آلومینوم می باشد (بی نام، ۱۳۸۴). این ماده دارای ساختار پلیمری می باشد که طی واکنش هیدروکسید آلومینوم با اسید کلریدریک تولید می شود. پلی آلومینیم کلراید ناخالصی هایی مانند اپی کلروئیدین که خاصیت سرطان زا دارند را به آب اضافه می نماید (مویی و آکیف<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳). زبان های جدی در اثر کاربرد نمک های آلومینیم به دلیل باقیماندن در آب، تولید حجم زیاد لجن و نحوه دفع در محیط زیست به وجود آمده است. رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای آلومینیم و حداکثر مقدار مجاز آن ۰/۲ میلی گرم در لیتر است (بی نام، ۲۰۰۸). در سال های اخیر گرایش بیشتری به استفاده از پلیمرهای آلی طبیعی به جای مواد مصنوعی رواج یافته است. این گونه منعقدکننده ها قابل تجزیه بیولوژیکی هستند و باقی مانده آن ها در آب، عوارضی را در بدن مصرف کننده ایجاد نمی کند. بنابراین از نظر بهداشتی بر پلیمرهای مصنوعی ارجحیت دارند که در این رابطه از کاربرد کیتوزان<sup>۲</sup> می توان نام برد (دیواکاران و پیلای<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲). کیتوزان به عنوان منعقدکننده در ژاپن از دهه ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفت. کیتوزان که از دی استیلایسون کیتین به وجود می آید، یک پلی الکترولیت کاتیونی می باشد (کرامتی و همکاران، ۲۰۰۷؛ بینا و همکاران، ۲۰۰۹). در نتیجه می تواند در خنثی سازی بارهای الکتریکی منفی به صورت بسیار مؤثر عمل کند و پایان خنثی سازی زمانی است که پتانسیل زتای موجود در امولسیون به حد صفر برسد (کرامتی و همکاران، ۲۰۰۷؛ بینا و همکاران، ۲۰۰۹). ساختمان شیمیایی کیتین و کیتوزان مطابق شکل (۱) بسیار شبیه به ساختمان شیمیایی سلولز بوده و

4- Okuyama *et al.*

5- Maria *et al.*

6- Total organic carbon(TOC)

7- Ultra violet absorbance at 254 nm wavelength (UV<sub>254</sub>)

8- Specific ultraviolet absorbance(SUVA)

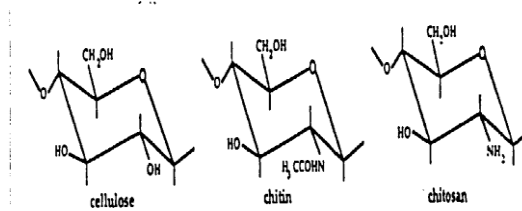
9- Dissolved organic carbon( DOC)

10- Kranik *et al.*

1- Muyibi and Akif.

2- Chitosan

3- Divakaran and Pillai.



شکل ۱- ساختمان شیمیایی سلولز، کیتین و کیتوزان (بی‌نام، ۲۰۰۸)

کلرید فریک به ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش پیدا کرد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی مقایسه کارایی منعقدکننده طبیعی کیتوزان با پلی آلومینیم کلراید در حذف کدورت از آب پرداختند. در کدورهای ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۵۰ و ۱۰ نفلومتری، غلظت بهینه کیتوزان، به ترتیب ۱۰، ۶/۵، ۱/۵ و ۱ میلی گرم بر لیتر و مقادیر بهینه pH نیز به ترتیب ۸، ۷/۵، ۸ و ۸ می باشد در حالی که غلظت بهینه پلی آلومینیم کلراید، در کدورهای مورد نظر، به ترتیب ۲۸، ۱۸، ۱۵ و ۱۲ میلی گرم بر لیتر و مقادیر بهینه pH نیز به ترتیب ۸، ۷/۵، ۷ و ۷/۵ به دست آمد. مهدی نژاد و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی کارایی کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا به عنوان کمک منعقدکننده به همراه آلوم، برای حذف ذرات کلوفیدی، باکتری‌های اشرشیاکلی و استرپتوکوکوس فیکالیس پرداختند. pH بهینه ۷/۵-۷ به دست آمد، کاربرد پروتئین انعقادی مورینگا بین ۱۲/۵ تا ۶۲/۵ درصد و کیتوزان بین ۵۰ تا ۸۷/۵ درصد غلظت منعقدکننده آلوم را در کدورت‌های مختلف کاهش داد و آلومینیوم باقی مانده را تا زیر ۰/۲ میلی گرم در لیتر رساند.

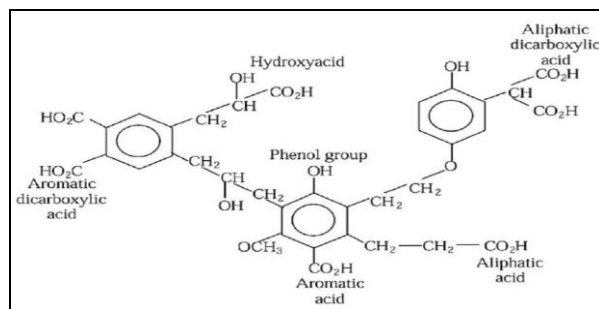
نظر به اینکه آب رودخانه کارون دارای آلاینده‌های مختلفی از قبیل کدورت، آلومینیوم و مواد آلی از جمله کل کربن آلی و جذب مواد آلی می باشد و میزان این آلاینده‌ها در فصول مختلف تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته، لذا فرایند انعقاد با انتخاب یک ماده منعقدکننده مناسب با غلظت تزریقی مناسب به آب در pH و قابلیت مناسب قادر خواهد بود مقادیر قابل ملاحظه‌ای از این آلاینده‌ها در آب که یک خطر جدی برای سلامت مصرف کنندگان محسوب می شود را حذف نماید. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده جهت بهبود عمل انعقاد در حذف کدورت، آلومینیوم و مواد آلی از جمله کل کربن آلی و جذب مواد آلی و کاهش دوز منعقدکننده اصلی پلی آلومینیوم کلراید در نتیجه کاهش هزینه‌های اقتصادی و اثر بهداشتی ناشی از آلومینیوم احتمالی آزاد شده در مرحله اختلاط کند از آب آشامیدنی صورت پذیرفت.

زموری و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) به بررسی کارایی کیتوزان همراه با آلوم در حذف کدورت پرداختند. میزان حذف کدورت توسط کیتوزان همراه با آلوم، ۹۷ درصد گزارش شد. دوز بهینه کیتوزان ۰/۲ میلی گرم در لیتر به دست آمد. ساریتها و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) بررسی اثر آلوم به عنوان منعقدکننده و کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در حذف کدورت، سختی و اشرشیاکلی از آب پرداختند. دوز بهینه کیتوزان برای کدورت ۱۰۰ ان تی یو، ۰/۵ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. آنها همچنین مشاهده کردند که کیتوزان به طور قابل توجهی دوز مورد نیاز از آلوم را بین ۵۰ تا ۸۷/۵ درصد، کاهش می‌دهد. گارسیا<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) به بررسی حذف مواد آلی با استفاده از کیتوزان و آلوم پرداخت. نتایج حاکی از عملکرد بالاتر کیتوزان نسبت به آلوم در حذف کدورت، کل کربن آلی و UV<sub>254</sub> به دست آمد. همچنین نشان داد که کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده به همراه آلوم، آلومینیوم کمتری را وارد آب می‌کند و دوز بهینه آلوم را به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. ریزو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) طی مطالعه‌ای میزان حذف کدورت توسط کیتوزان را ۸۵ درصد گزارش کردند. کاهش UV<sub>254</sub> با استفاده از کیتوزان حدود ۶۰-۳۰ درصد، در حالی که با استفاده از آلوم و کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، ۸۷-۸۵ درصد گزارش شده است. شارپ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) طی مطالعه‌ای میزان حذف کدورت و کل کربن آلی را توسط کیتوزان نسبت به آلوم بالای ۹۰ درصد گزارش کردند که به دلیل وزن مولکولی بالا و وجود گروه‌های آمین موجود در کیتوزان می باشد.

صید محمدی و همکاران (۱۳۹۲) طی مطالعه‌ای نشان دادند که کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده تأثیر چشمگیری در حذف کدورت داشته است و میزان حذف کدورت ۸۸ درصد به دست آمد. بینا و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی کارایی کمک منعقدکننده کیتوزان در حذف کدورت از آب پرداختند. دوز بهینه کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده ۰/۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد. زمانی که از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده استفاده شد، دوز بهینه

- 1- Zemmouri *et al.*
- 2- Saritha *et al.*
- 3- García
- 4- Rizzo *et al.*
- 5- Sharp *et al.*

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...



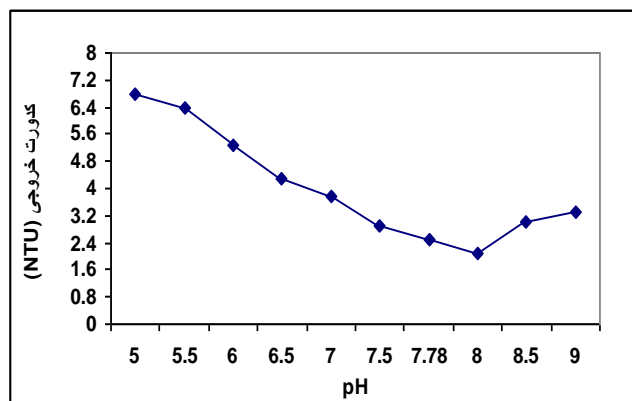
شکل ۲- مدلی پیشنهادی برای ساختمان اسید هیومیک (بایتک و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷)

### جدول ۱- مواد شیمیایی مورد استفاده

سود ۰/۰۲	PAC صنعتی جامد (شرکت فالیزان)
نرمال	تصفیه) با درجه خلوص ۳۰٪ (w/w)
اسید سولفوریک ۰/۰۲	پودر کیتوزان (شرکت شیمیایی Sigma) با ۸۵
نرمال	درصد حذف گروه های استیل
استات سدیم آلومینیم	اسید اسکوریک
	اریو کروم سیانین R

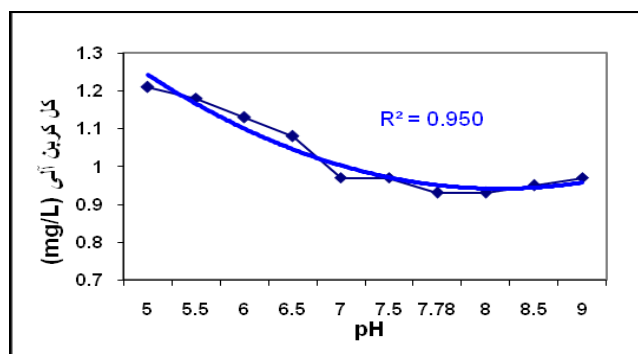
### جدول ۲- تجهیزات مورد استفاده

مدل	نام دستگاه
BRAND	پورت دیجیتالی
مدل SHIMADZU	TOC متر
TOC-VCSH	
Dr-5000 (HACH)	اسپکتروفتومتر
Bf-s2500	ممبران فیلتر
BL210S(Satorius)	ترازو
2100N HACH	کدورت سنج
JLT6	دستگاه جار
(۳۴۰i) WTW	pH متر
JENWAY(1203)	Stirrer



نمودار ۱- روند تغییرات کدورت خروجی نسبت به تغییرات pH

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



نمودار ۲- روند تغییرات TOC خروجی نسبت به تغییرات pH

منظور تعیین غلظت بهینه پلی آلومینیم کلراید توأم با کمک منعقدکننده کیتوزان، غلظت ثابتی از کمک منعقدکننده کیتوزان (۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر) و مقادیر مختلفی از ماده منعقدکننده پلی آلومینیم کلراید (۲۰-۱ میلی گرم بر لیتر)، به نمونه ها افزوده گردید. مدت زمان ته نشینی طبق توصیه مراجع معتبر، ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد (بی نام، ۱۹۹۵). پس از پایان یافتن آزمایش ها نمونه برداری برای تعیین کدورت، قلیائیت، pH، کل کربن آلی، جذب مواد آلی و آلومینیم باقیمانده از ۵ سانتی متری زیر سطح آب توسط پی پت انجام گرفت (دیواکاران و پیلائی، ۲۰۰۲؛ بینا و همکاران، ۲۰۰۹). برای انجام آزمایش کل کربن آلی و UV<sub>254</sub>، نمونه ها در بطری های شیشه ای ۲۵۰ میلی لیتری تیره با درب سمباده ای ریخته شد و بلافاصله مورد تحلیل قرار گرفت. ظروف مورد استفاده به جهت اطمینان از عدم وجود مواد آلی قبل از استفاده، توسط اسید نیتریک ۵ درصد شستشو داده شدند و بعد از شستشو با آب به مدت یک ساعت در فور در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. روش آزمایشگاهیکلیه آزمایش ها بر اساس روش های استاندارد متد برای آزمایشات آب وفاضلاب انجام گرفته است. سنجش کدورت از طریق دستگاه کدورت سنج HACH مدل ۲۱۰۰N و بر اساس روش نفلومتريک، آلومینیم با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر Dr-5000 (B.Eriochrome cyanine R Method) کل کربن آلی با استفاده از دستگاه TOC SHIMADZU متر (5310-B High Temperature Method) قلیائیت بر اساس روش (2320 B. Titration Method) ، pH توسط pH متر دیجیتالی مدل ۳۴۰i (WTW) و UV<sub>254</sub> با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر Dr-5000 (5910-B Ultraviolet Absorption) (بی نام، ۱۹۹۵).

به علاوه به منظور اثبات تکرارپذیری روش تحلیل، تعدادی از نمونه ها به صورت دوتایی و یا سه تایی تهیه شده و مورد تحلیل قرار گرفته اند. تعداد کل نمونه ها در طول برداری ۲۳۲ عدد بود. تهیه نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel و تحلیل داده ها با نرم افزار SPSS انجام شد.

## مواد و روش ها

مواد شیمیایی و تجهیزات این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در تصفیه خانه آب شماره دو اهواز انجام شد. منبع آب این تصفیه خانه، رودخانه کارون می باشد و این تصفیه خانه آب شرق و غرب اهواز را تأمین می کند. تصفیه خانه کیان آباد ظرفیت تولید ۳۹۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ مترمکعب در روز آب شرب را دارد. جدول های (۱) و (۲)، به ترتیب مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد (بی نام، ۲۰۰۵).

## روش کار

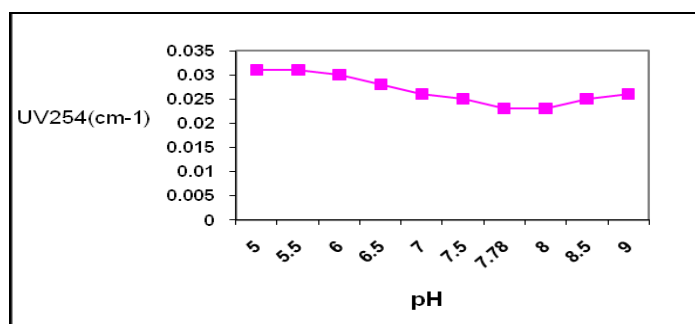
نمونه های آب خام تهیه شده از آبگیر تصفیه خانه کیان آباد پس از انتقال به آزمایشگاه از نظر میزان کدورت، pH، دما، قلیائیت، آلومینیم، کل کربن آلی و UV<sub>254</sub> مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور تعیین pH بهینه ماده منعقدکننده پلی آلومینوم کلراید، پلی آلومینوم کلراید با غلظت ثابت ۱۰ میلی گرم بر لیتر به همه نمونه ها اضافه شد. سپس آزمایش جار بر روی نمونه ها با pHهای مختلف ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵، ۷/۷۸، ۸، ۸/۵ و ۹ صورت پذیرفت. برای بررسی تعیین غلظت ماده منعقدکننده پلی آلومینیم کلراید، آزمایش جار بر روی نمونه های آب تحت شرایط pH بهینه تعیین شده در مرحله قبل (pH=۸)، و با غلظت های مختلفی از پلی آلومینیم کلراید (۳-۵۰ میلی گرم بر لیتر) انجام گرفت و غلظت بهینه پلی آلومینیم کلراید به دست آمد. پس از تعیین غلظت بهینه پلی آلومینیم کلراید، به منظور تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کیتوزان، غلظت ثابتی از پلی آلومینیم کلراید (۱۰ میلی گرم بر لیتر)، به نمونه های آب افزوده گردید. با افزودن غلظت بهینه پلی آلومینیم کلراید به نمونه های آب، فرایند اختلاط سریع با سرعت اختلاط ۱۲۰ دور در دقیقه، طی زمان یک دقیقه انجام گردید. در انتهای فرایند اختلاط سریع، دوزهای مختلفی از کمک منعقدکننده کیتوزان (۱۰-۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر) به نمونه های آب اضافه شد. سپس طی مرحله اختلاط کند، سرعت اختلاط به ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه کاهش یافت. بعد از تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کیتوزان، به

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...

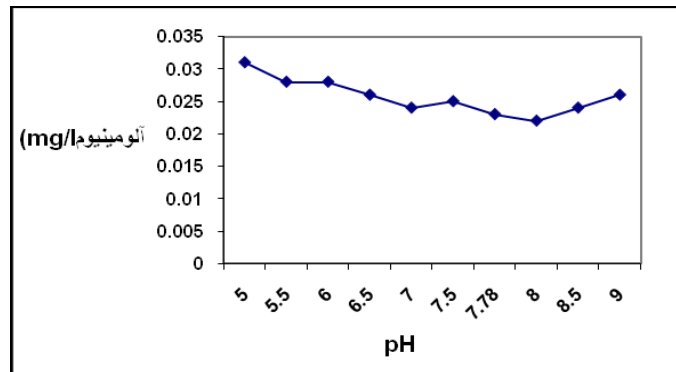
### نتایج و بحث

نمودار (۱) روند تغییرات کدورت خروجی با توجه به pH در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری در گستره ۳۳ تا ۳۴ ان تی یو محاسبه شده است. در این مدت میانگین کدورت خروجی در گستره ای بین ۲/۰۸ تا ۶/۸۱ ان تی یو قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره بین حداقل ۸۰/۰۱ تا حداکثر ۹۳/۹۰ درصد بوده است. با توجه به آزمون دانکن درصد راندمان حذف کدورت در pHهای مختلف به پنج دسته طبقه بندی شد که pH=۸ دارای بیشترین درصد راندمان حذف کدورت می باشد. همان طور که از نمودار استنباط می شود، حذف کدورت با استفاده از پلی آلومینیم کلراید، نسبت به تغییرات pH بسیار حساس می باشد به طوری که بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵ درصد در pH=۸ معادل ۹۳/۹ درصد می باشد. به عبارت دیگر در این محدوده از pH، رسوب تشکیل شده در طی فرایند و یا همان محصولات هیدرولیز پلی آلومینیم کلراید، دارای کمترین حلالیت هستند. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین pH و درصد حذف کدورت وجود دارد، به عبارت دیگر با افزایش pH، درصد حذف کدورت افزایش می یابد و در واقع همبستگی مثبت و معنی دار آماری بین عامل pH و درصد حذف کدورت وجود دارد. نکته قابل توجه دیگر آن است که اندازه لخته های تشکیل شده، در pH بهینه در مقایسه با pHهای دیگر، به طور مشخصی بزرگ تر بودند. با توجه به نمودار (۱)، مشاهده می شود که در pHهای اسیدی، از میزان حذف کدورت کاسته شده است. به همین دلیل نمی توان خنثی سازی بار را تنها عامل تشکیل لخته ها دانست. به نظر می رسد که در این مورد، تشکیل لخته ها در محدوده pH بهینه، بیشتر از طریق به دام افتادن ذرات معلق در زنجیره های پلیمری ماده منعقدکننده انجام شده است که مکانیسم انعقاد جاروبی و به دام افتادن ذرات در رسوب نام دارد. بینا و همکاران (۲۰۰۶) نیز بر این

امر تاکید نموده اند که بهترین شرایط برای کوآگولاسیون پلی آلومینیم کلراید در pH=۸ می باشد. نمودار (۲) روند تغییرات کل کربن آلی خروجی با توجه به pH در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کل کربن آلی ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۱/۲۹ میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. در این مدت میانگین کل کربن آلی خروجی در گستره ای بین ۰/۹۳ تا ۱/۲۱ میلی گرم بر لیتر قرار داشته است. میزان راندمان حذف کل کربن آلی در این دوره بین حداقل ۶/۲ تا حداکثر ۲۷/۹۱ درصد بوده است. بیشترین مقدار حذف کل کربن آلی در pH=۸ معادل ۲۷/۹ درصد می باشد. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین pH و میزان کل کربن آلی خروجی وجود دارد و در واقع همبستگی مثبت و معنی دار آماری بین عامل pH و درصد حذف کل کربن آلی وجود دارد. نمودار (۳) و (۴)، روند تغییرات آلومینیوم و UV<sub>254</sub> خروجی با توجه به pH در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین آلومینیوم و UV<sub>254</sub> ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری به ترتیب ۰/۰۰۸ میلی گرم بر لیتر و ۰/۰۳۸ یک بر سانتی متر محاسبه شده است. در این مدت میانگین آلومینیوم و UV<sub>254</sub> خروجی به ترتیب در گستره ای بین ۰/۰۲۲ تا ۰/۰۳۱ میلی گرم بر لیتر و ۰/۰۲۳ تا ۰/۰۳۱ یک بر سانتی متر قرار داشته است. میزان راندمان حذف UV<sub>254</sub> در این دوره بین حداقل ۱۸/۴۲ تا حداکثر ۳۹/۴۷ درصد بوده است. بیشترین مقدار حذف UV<sub>254</sub> در pH=۸ معادل ۳۹/۴۷ درصد می باشد. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین pH و میزان آلومینیوم و UV<sub>254</sub> خروجی وجود دارد و در واقع همبستگی مثبت و معنی دار آماری بین عامل pH و درصد حذف آلومینیوم و UV<sub>254</sub> وجود دارد. به علاوه در pHهای پایین تر، فلوک های کوچکتر با سرعت ته نشینی کمتری تولید شدند. میرزایی و همکاران (۲۰۱۲) طی مطالعه ای، pH بهینه جهت حذف کدورت و مواد آلی توسط پلی آلومینیوم کلراید را ۸ به دست آوردند.

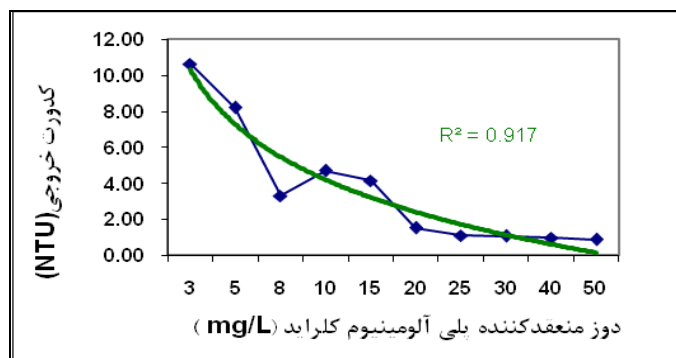


نمودار ۳- روند تغییرات UV<sub>254</sub> خروجی نسبت به تغییرات pH

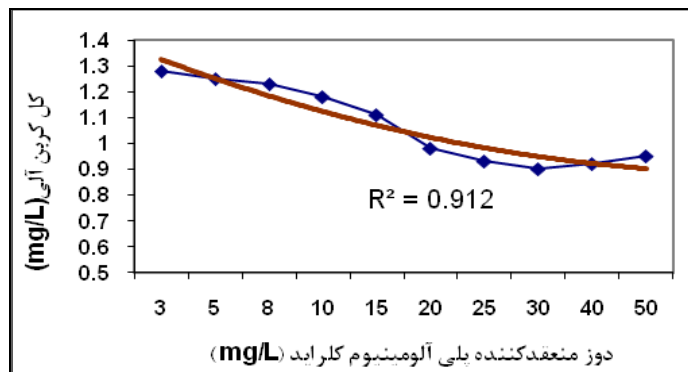


نمودار ۴- روند تغییرات آلومینیوم خروجی نسبت به تغییرات pH

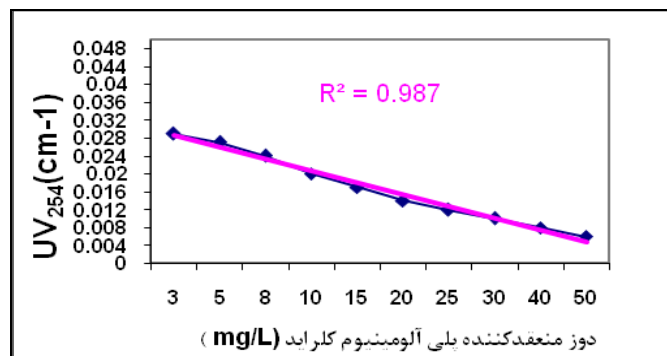
شرایط محیطی: (غلظت اولیه پلی آلومینیوم کلراید: ۱۰ میلی گرم بر لیتر، کدورت اولیه: ۳۴-۳۳ ان تی یو و  $5=24/5$ )



نمودار ۵- روند تغییرات کدورت خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید

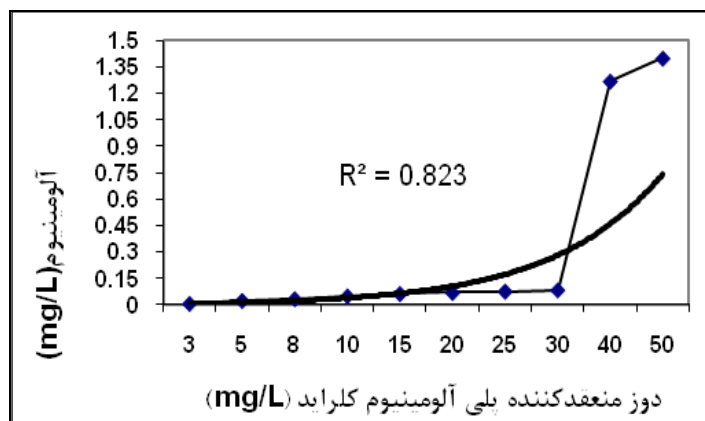


نمودار ۶- روند تغییرات کل کربن آلی خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید



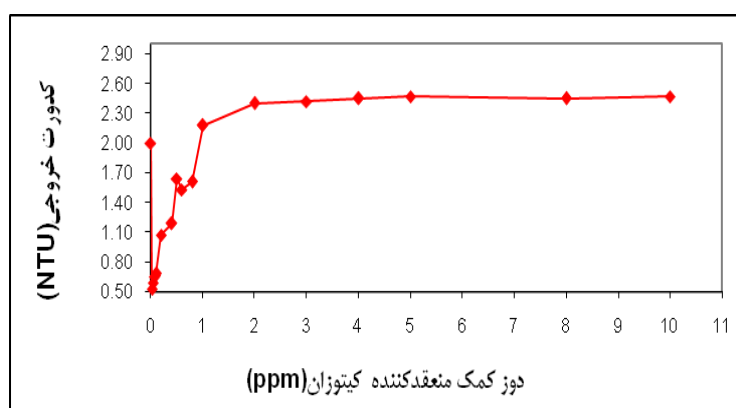
نمودار ۷- روند تغییرات UV<sub>254</sub> خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...

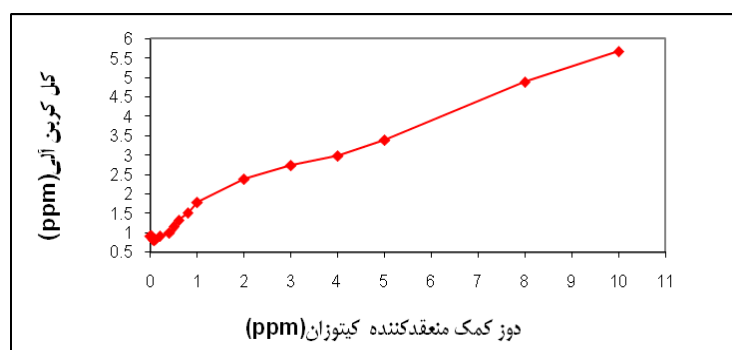


نمودار ۸- روند تغییرات آلومینیوم خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید

شرایط محیطی: (pH=۸، دما=۲۳/۹، کدورت اولیه: ۴۵-۴۴ ان تی یو و سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ دور در دقیقه)

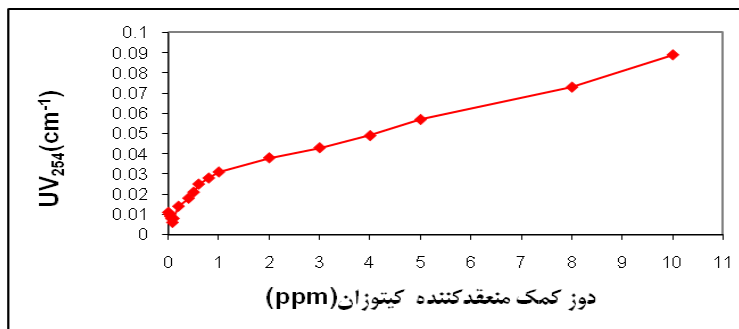


نمودار ۹- روند تغییرات کدورت خروجی نسبت به دوز کمک منعقدکننده کیتوزان



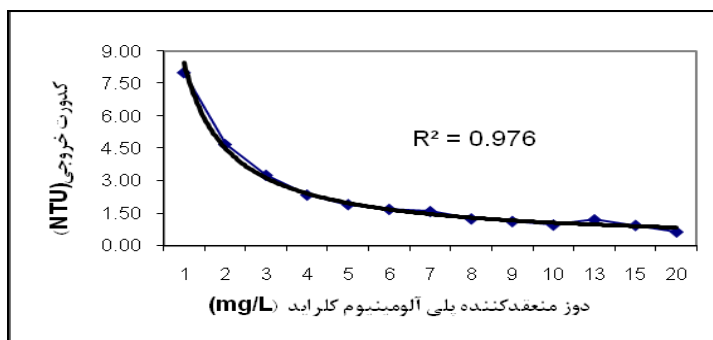
نمودار ۱۰- روند تغییرات کل کربن آلی خروجی نسبت به دوز کمک منعقدکننده کیتوزان



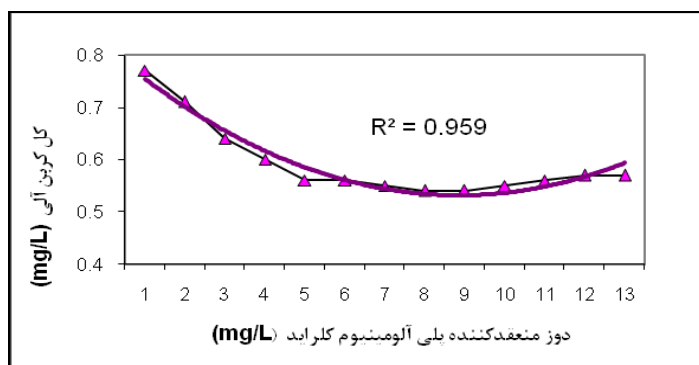


نمودار ۱۱- روند تغییرات UV<sub>254</sub> خروجی نسبت به دوز کمک متعقدکننده کیتوزان

شرایط محیطی: (غلظت اولیه پلی آلومینیوم کلراید: ۱۰ میلی گرم بر لیتر، pH=۸،  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}=۲۴/۷$  و سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ دور بر دقیقه



نمودار ۱۲- روند تغییرات کدورت خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید



نمودار ۱۳- روند تغییرات کل کربن آلی خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید

کدورت وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز متعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی راندمان حذف کدورت معنی دار است و تاثیر دارد. با توجه به آزمون دانکن درصد راندمان حذف کدورت در دوزهای مختلف متعقدکننده به دو دسته طبقه بندی شد که دوز متعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید برابر ۱۰ و ۳۰ میلی گرم در لیتر دارای بیشترین درصد راندمان حذف می باشد. به طوری که بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای دوزهای متعقدکننده ۱۰ و ۳۰ میلی گرم در لیتر معادل ۹۳/۹۸ و ۹۷/۵۸ درصد می باشد. در تعیین غلظت بهینه یک ماده متعقدکننده، عوامل مختلفی از نظر قوانین زیست محیطی مربوطه و نیز قیمت ماده متعقدکننده بسیار تاثیرگذار هستند. در رابطه با

نمودار (۵) روند تغییرات کدورت خروجی با توجه به دوز متعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری در گستره ۴۴ تا ۴۵ ان تی یو محاسبه شده است. در این مدت میانگین کدورت خروجی در گستره ای بین ۰/۸۹ تا ۱۰/۶۴ ان تی یو قرار داشته است. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره بین حداقل ۷۵/۸۳ تا حداکثر ۹۷/۹۸ درصد بوده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که به طور کلی با افزایش غلظت پلی آلومینیوم کلراید، میزان حذف کدورت نیز افزایش یافته است. با توجه به آنالیز واریانس با  $(P < ۰/۰۵)$  تفاوت معنادار بین دوز متعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید و درصد حذف

همین دلیل، با توجه به نمودار یاد شده، غلظت بهینه پلی آلومینیوم کلراید برای حذف کدورت، ۱۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. از طرفی بررسی نتایج حاصله بیانگر آن است که مکانیسم هایی که افزایشی وجود دارد، از دوز ۱ تا ۳ میلی گرم بر لیتر روند تقریباً ثابت است ولی از دوز ۳ تا ۳۰ میلی گرم بر لیتر روند افزایشی ولی از دوز ۳۰ به بعد روند افزایشی با شیب زیاد را نشان می دهد. به عبارتی با افزایش دوز ماده منعقدکننده، پتانسیل زتا افزایش می یابد و در نهایت باقیمانده های فلزی کمتری حذف می شوند. با توجه به میزان حذف های به دست آمده، به نظر می رسد غلظت بهینه پلی آلومینیوم کلراید برای حذف همزمان کدورت، کل کربن آلی،  $UV_{254}$  و آلومینیم ۱۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. در منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید قسمت اعظم یون های آلومینیم به شکل الیگومر و پلیمر است و فقط یک پروتون کوچک از آلومینیم در فرم مونومری وجود دارد. با خنثی سازی کلیه بارهای منفی ذرات کلوتیدی توسط پلی آلومینیم کلراید احتمال وجود آلومینیم به شکل مونومری با توجه به کدورت آب و میزان خنثی سازی بار کمتر وجود دارد و بنابراین در تصفیه آب به شکل آلومینیم باقیمانده کمتر ظاهر می شود. این پدیده دلیل برتری پلی آلومینیم کلراید در فلوکولاسیون است. مهدی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که بین دوز مصرفی پلی آلومینیم کلراید با میزان آلومینیم باقیمانده ارتباط آماری معنی دار وجود دارد ( $P < 0.05$ ). میزان آلومینیم باقیمانده توسط کاربرد پلی آلومینیم کلراید در آبهایی با کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۰/۰۰۶، ۰/۰۵ و ۰/۰۷ میلی گرم در لیتر بود. حسنی و همکاران (۱۳۸۹) مقایسه عملکرد منعقدکننده ها را در حذف کدورت، آلومینیم و مواد آلی مورد مطالعه قرار دادند. این بررسی تأثیر افزایش دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید را بر حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی و  $UV_{254}$  را نسبت به سایر منعقدکننده ها بهتر نشان داد. حذف کل کربن آلی توسط پلی آلومینیوم کلراید، حدود ۶۵-۶۰ درصد به دست آمد. در مطالعه دنگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) راندمان حذف کدورت در شرایط بهینه آبهای سطحی توسط پلی آلومینیم کلراید بین ۷۳/۳ درصد تا ۸۳/۳ درصد حاصل شد.

تحت شرایط بهینه حاصل از مراحل قبل، غلظت های مختلفی از کیتوزان برای تعیین حداکثر حذف کدورت به کار رفت و غلظت بهینه کیتوزان ۰/۰۲ میلی گرم در لیتر حاصل گردید. بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای دوز منعقدکننده ۰/۰۲ میلی گرم در لیتر معادل ۹۹/۱۶ درصد می باشد. به علاوه فلوک های تشکیل شده توسط کیتوزان نسبت به نمونه شاهد (۱۰ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید)، درشت تر بوده و سرعت ته نشینی بالایی داشتند. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری در گستره ۶۲/۶۷ تا ۱۳۲/۶ ان تی یو محاسبه شده است. در این مدت میانگین کدورت خروجی در دوز ۱۰ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید

میزان حذف کدورت با استفاده از پلی آلومینیوم کلراید و با توجه به نمودار (۵)، به نظر می رسد که میزان حذف ۹۳/۹۸ درصد، یک نقطه ویژه و یا به عبارت بهتر یک نقطه بحرانی در نمودار باشد. به سبب کدورت های باقیمانده کمتر در آب می شوند به غلظت منعقدکننده مصرفی و pH آب بستگی دارند. در این شرایط مکانیسم های غالب از نوع جذبی یا جاروبی و یا ترکیبی از دو مکانیسم ذکر شده است. نمودار (۶) روند تغییرات کل کربن آلی خروجی با توجه به دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کل کربن آلی ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۱/۳۸ میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. در این مدت میانگین کل کربن آلی خروجی در گستره ای بین ۰/۹ تا ۱/۲۸ میلی گرم بر لیتر قرار داشته است. میزان راندمان حذف کل کربن آلی در این دوره بین حداقل ۷/۲۵ درصد تا حداکثر ۳۴/۷۸ درصد بوده است. با توجه به نمودار، با افزایش دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، میزان حذف کل کربن آلی نیز افزایش پیدا می کند. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید و میزان کل کربن آلی خروجی وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی میزان کل کربن آلی معنی دار است و تأثیر دارد. نمودار (۷) روند تغییرات  $UV_{254}$  خروجی با توجه به دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین  $UV_{254}$  ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۰/۳۹ یک بر سانتی متر محاسبه شده است. در این مدت میانگین  $UV_{254}$  خروجی در گستره ای بین ۰/۰۶ تا ۰/۰۲۹ یک بر سانتی متر قرار داشته است. میزان راندمان حذف  $UV_{254}$  در این دوره بین حداقل ۲۵/۶۴ تا حداکثر ۸۴/۶۲ درصد بوده است. با توجه به نمودار، با افزایش دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، میزان حذف  $UV_{254}$  نیز افزایش پیدا می کند. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید و میزان  $UV_{254}$  وجود دارد به عبارت دیگر عامل دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی میزان  $UV_{254}$  معنی دار است و تأثیر دارد. نمودار (۸) روند تغییرات خروجی با توجه به دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین آلومینیوم ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۰/۰۰۸ میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. در این مدت میانگین آلومینیوم خروجی در گستره ای بین ۰/۰۰۸ تا ۱/۴ میلی گرم بر لیتر قرار داشته است. با توجه به نمودار، با افزایش دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، میزان آلومینیوم نیز افزایش پیدا می کند که دلالت بر رابطه مستقیم بین آنها دارد. با توجه به  $P < 0.05$  تفاوت معنادار بین دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید و میزان آلومینیوم وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی میزان آلومینیوم معنی دار است و تأثیر دارد. با توجه به نمودار، یک روند تقریباً

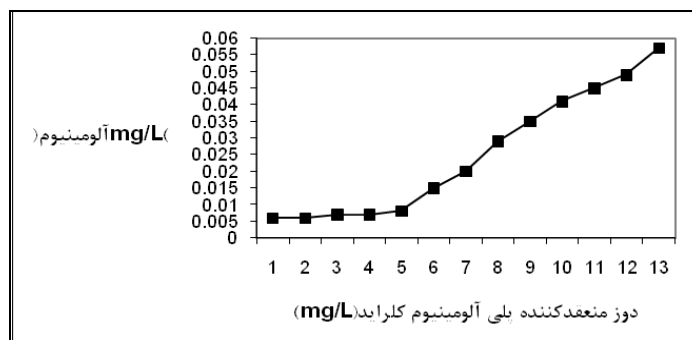
کربن آلی خروجی وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز کمک منعقدکننده کیتوزان روی میزان کل کربن آلی معنی دار است و تاثیر دارد. نمودار (۱۱) روند تغییرات  $UV_{254}$  خروجی با توجه به دوز کمک منعقدکننده کیتوزان در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین  $UV_{254}$  ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۰/۰۲۹ یک بر سانتی متر محاسبه شده است. در این مدت میانگین  $UV_{254}$  خروجی در گستره ای بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۸۹ یک بر سانتی متر قرار داشته است. با توجه به نمودار، با افزایش دوز کمک منعقدکننده کیتوزان، تا دوز ۰/۸ میلی گرم بر لیتر میزان حذف  $UV_{254}$  افزایش پیدا کرد ولی از دوز ۰/۸ میلی گرم بر لیتر به بعد کاهش یافت. میزان  $UV_{254}$  خروجی تا دوز ۰/۱ میلی گرم بر لیتر از نمونه شاهد (۰/۱۱) یک بر سانتی متر) هم کمتر بود. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین دوز کمک منعقدکننده کیتوزان و میزان  $UV_{254}$  وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز کمک منعقدکننده کیتوزان روی میزان  $UV_{254}$  معنی دار است و تاثیر دارد. دوزهای پایین تر کیتوزان، باعث حذف بیشتر مواد آلی شدند که این به دلیل چگالی بالای ناشی از گروههای آمین در کیتوزان است. رنولت و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) نشان دادند که کیتوزان از طریق مکانیسم پل زنی بین ذرات و خنثی سازی بار، فلوک های درشت تری را ایجاد کرده و باعث حذف بیشتر مواد آلی می شود. در این مرحله، با افزایش دوز کمک منعقدکننده کیتوزان، میزان آلومینیوم نسبت به نمونه شاهد (پلی آلومینیوم کلراید به تنهایی) تغییری پیدا نکرد. میانگین آلومینیوم ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۰/۰۴mg/Lit محاسبه شده است. در این مدت میانگین آلومینیوم خروجی (پلی آلومینیوم کلراید به تنهایی و پلی آلومینیوم کلراید به همراه کیتوزان) ۰/۰۴mg/Lit محاسبه شده است. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P > 0.05$ ) تفاوت معنادار بین دوز کمک منعقدکننده کیتوزان و میزان آلومینیوم خروجی وجود ندارد، به عبارت دیگر عامل دوز کمک منعقدکننده کیتوزان روی میزان آلومینیوم معنی دار نیست و تاثیر ندارد. نتایج به دست آمده در این تحقیق با مطالعات انجام شده بر روی کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده توسط یار احمدی و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت. گنجی دوست و همکاران (۱۹۹۷) طی مطالعه ای میزان حذف کل کربن آلی را توسط کیتوزان، ۷۰ درصد گزارش کردند. وانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) به بررسی اثر کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده بر روی شکل و استحکام فلوک ها پرداختند. تحت شرایط بهینه جهت حذف کدورت، کروم، کل کربن آلی و  $UV_{254}$ ، دوز بهینه کلراید فریک ۲۹ میلی گرم بر لیتر و کیتوزان ۰/۱ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. اندازه و ابعاد فلوک ها زمانی که از کلراید فریک به تنهایی استفاده شد نسبت به زمانی که از کلراید فریک و کیتوزان توأم استفاده شد از ۱/۱۸۵۵ به ۱/۳۰۲۸ افزایش پیدا کرد.

کاربردی با کمک منعقدکننده کیتوزان در دوزهای بین ۰ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر، در گستره ای بین ۰/۵۳ تا ۲/۴۷ ان تی یو قرار داشته است. نتایج حاصل در نمودار شماره (۹) نشان داده شده است. همان طور که در نمودار (۹) مشاهده می شود، افزودن کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، بازدهی فرایند را افزایش داده است. در بهترین حالت، یعنی هنگامی که غلظت پلی آلومینیوم کلراید و کیتوزان به ترتیب ۱۰ و ۰/۰۲ میلی گرم در لیتر است، درصد حذف کدورت ۹۹/۱۶ درصد به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که به طور کلی با افزایش غلظت کمک منعقدکننده کیتوزان، میزان حذف کدورت نیز افزایش یافته است. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین دوز کمک منعقدکننده کیتوزان و درصد حذف کدورت وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز کمک منعقدکننده کیتوزان روی راندمان حذف کدورت معنی دار است و تاثیر دارد. کدورت نهایی نمونه در حالت هایی که دوز کمک منعقدکننده کیتوزان در گستره ۰/۸-۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر قرار داشت، از نمونه شاهد حتی کمتر بود. در دوزهای بالاتر کمک منعقدکننده کیتوزان در گستره ۱۰-۱ میلی گرم بر لیتر، کدورت نهایی بیشتر از نمونه شاهد بود ولی نسبت به کدورت ورودی کمتر بود. دلیل این رفتار را میتوان استدلال کرد تا غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر، کیتوزان که دارای بار مثبت بوده بارهای منفی ذرات کلوییدی موجود را خنثی کرده است و در این غلظت در حقیقت بار الکتریکی محلول به صفر رسیده است. کیتوزان اضافی تزریق شده خود باعث ایجاد بار مثبت اضافی یا به عبارت دیگر پتانسیل معکوس شده و منجر به افزایش کدورت ثانویه می شود. بنابراین دوز ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر کمک منعقدکننده کیتوزان به عنوان دوز بهینه انتخاب شد. به علاوه فلوک های تشکیل شده توسط کیتوزان نسبت به نمونه شاهد (۱۰ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید)، درشت تر بوده و سرعت ته نشینی بالایی داشتند. دیواکاران و پیلاپی (۲۰۰۴) طی فرایند انعقاد، برای کدورت های اولیه بین ۱۶۰-۱۰ ان تی یو، ۸۰ تا ۹۵ درصد حذف را به دست آوردند. pH بهینه جهت حذف کدورت ۷-۷/۵ و دوز بهینه کیتوزان ۰/۵ میلی گرم بر لیتر بدست آمد. نمودار (۱۰) روند تغییرات کل کربن آلی خروجی با توجه به دوز کمک منعقدکننده کیتوزان در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کل کربن آلی ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۱/۴۸ میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. در این مدت میانگین کل کربن آلی خروجی در گستره ای بین ۰/۸ تا ۵/۶۸ میلی گرم بر لیتر قرار داشته است. با توجه به نمودار، با افزایش دوز کمک منعقدکننده کیتوزان، تا دوز ۰/۶ میلی گرم بر لیتر میزان حذف کل کربن آلی افزایش پیدا کرد ولی از دوز ۰/۶ میلی گرم بر لیتر به بعد کاهش یافت. میزان کل کربن آلی خروجی تا دوز ۰/۱ میلی گرم بر لیتر از نمونه شاهد (۰/۹۱ میلی گرم بر لیتر) هم کمتر بود. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین دوز کمک منعقدکننده کیتوزان و میزان کل

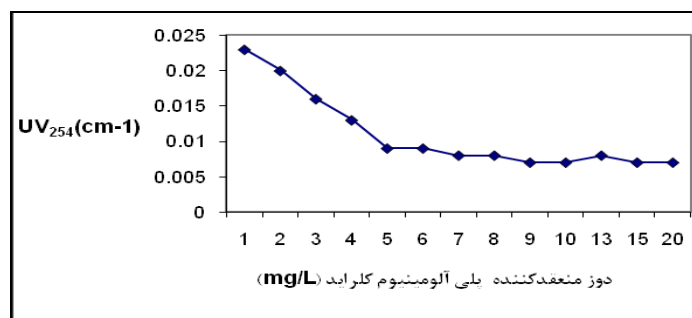
1-Renault et al .

2- Wang et al.

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...



نمودار ۱۴- روند تغییرات آلومینیوم خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید



نمودار ۱۵- روند تغییرات UV<sub>254</sub> خروجی نسبت به دوز پلی آلومینیوم کلراید

شرایط محیطی: (غلظت اولیه کیتوزان: ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر، pH=۸،  $\lambda=26/2$ ، سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ دور در دقیقه)

گرم بر لیتر وجود نداشت بنابراین دوز ۵ میلی گرم بر لیتر به عنوان دوز بهینه انتخاب شدند. همان طور که از نمودار استنباط می شود با افزایش دوز پلی آلومینیوم کلراید در این مرحله میزان کدورت نمونه ها از دوز ۱ تا ۵ میلی گرم بر لیتر کاهش می یابد ولی از ۵ میلی گرم بر لیتر به بعد به صورت کاهشی با رشد خیلی اندک در حال کاهش است. بنابراین نقطه ۵ میلی گرم بر لیتر می تواند یک نقطه بهینه باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که ترکیب پلی آلومینیوم کلراید توام با کیتوزان توانایی حذف کدورت تا زیر حد استاندارد (۵ان تی یو) را دارند. هوانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) نشان دادند که بهترین نتیجه حذف کدورت در شرایطی حاصل شد که دوز بهینه پلی آلومینیوم کلراید ۴ میلی گرم بر لیتر و کیتوزان ۱ میلی گرم بر لیتر بود. همچنین مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که لخته های حاصل از کاربرد کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در شرایط بهینه نسبت به زمانی که از پلی آلومینیوم کلراید به تنهایی استفاده شد، بسیار درشت تر و و برای ته نشینی به زمان کمتری احتیاج داشتند. روسی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) نشان دادند که مکانیسم غالب حذف کدورت توسط کیتوزان (به دلیل بالا بودن تعداد گروه های آمینی و تولید بار مثبت زیاد در شرایط خنثی و کمی اسیدی) خنثی سازی بار می باشد. همچنین کاربرد این مواد هیچ گونه تاثیری بر قلیابیت و pH

همچنین غلظت بهینه پلی آلومینیوم کلراید در ترکیب با کمک منعقدکننده کیتوزان ۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد. نمودار (۱۲) روند تغییرات کدورت خروجی با توجه به دوزهای پلی آلومینیوم کلراید افزوده شده در مرحله اختلاط سریع در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری در گستره ۴۶/۸ تا ۷۰ ان تی یو محاسبه شده است. در این مدت میانگین کدورت خروجی در دوز ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر کمک منعقدکننده کیتوزان کاربردی با پلی آلومینیوم کلراید در دوزهای بین ۱ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر، در گستره ای بین ۰/۶۴ تا ۷/۹۸ ان تی یو قرار داشته است. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0.05$ ) تفاوت معنادار بین پلی آلومینیوم کلراید تزریقی و درصد حذف کدورت وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی راندمان حذف کدورت معنی دار است و تأثیر دارد. با توجه به آزمون دانکن درصد راندمان حذف کدورت در دوزهای مختلف پلی آلومینیوم کلراید تزریقی با توجه به دوز ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر کیتوزان به پنج دسته طبقه بندی شد. میزان راندمان حذف کدورت در این دوره برای دوز ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر کیتوزان کاربردی با پلی آلومینیوم کلراید در دوزهای بین ۱ تا ۲۰ میلی گرم بر لیتر، بین حداقل ۸۳/۵۴ تا حداکثر ۹۸/۶۳ درصد بوده است. حداکثر راندمان حذف کدورت در دوز ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر کیتوزان در دوز تزریقی ۱۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده شده است، ولی چون تفاوت معنادار بین راندمان حذف کدورت در دوزهای پایین تر از ۱۰ میلی

1- Huang et al.

2- Roussy et al.

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بیشتر بود. بر اساس این استاندارد، حداکثر مقدار آلومینیم در آب آشامیدنی بین ۰/۲-۰/۵ میلی گرم در لیتر می باشد (بی نام، ۲۰۰۳). در حالی که با استفاده از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، میزان آلومینیم باقیمانده در آبهای تصفیه شده بین ۰/۵۷-۰/۰۶ میلی گرم در لیتر به دست آمد. نتایج مطالعات انجام شده نشان داد که غلظت های بالاتر آلومینیم باقیمانده در آب تصفیه شده ناشی از کنترل نامناسب pH و نداشتن شرایط بهینه می باشد و بهترین راه کاهش آلومینیم باقیمانده در آب تصفیه شده، به دست آوردن شرایط بهینه در غلظت منعقدکننده و pH است (لترمن و دیریسکول، ۱۹۸۸). استفاده از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، ضمن کاهش کدورت باقیمانده تا زیر ۵ ان تی یو، سبب کاهش مصرف پلی آلومینیوم کلراید به میزان ۵۰ درصد در شرایط بهینه گردید. این کاهش مصرف پلی آلومینیوم کلراید در فرایند تصفیه آب، علاوه بر کاهش هزینه های خرید این منعقدکننده سبب کاهش آلومینیم باقیمانده تا زیر حد استاندارد (۰/۲ میلی گرم بر لیتر) در آب تصفیه شده گردید. نتایج کاربرد کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در فرایند انعقاد، نشان داد که در شرایط بهینه میزان کل کربن آلی آزاد شده توسط آن ۰/۵۶ میلی گرم در لیتر می باشد. با توجه به مقادیر کل کربن آلی به دست آمده توسط کیتوزان، مشاهده شد که با افزایش غلظت این ماده، میزان تغییرات کل کربن آلی در آب تصفیه شده ناچیز است و در شرایط بهینه مقدار کل کربن آلی به دست آمده از نمونه شاهد (۰/۷۸ میلی گرم بر لیتر) کمتر بود. نتایج به دست آمده در این تحقیق با مطالعات انجام شده بر روی کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده توسط مهدی نژاد و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت. با توجه به نتایج به دست آمده، آب اهواز جزء آب های با مقادیر پایین UV<sub>254</sub> محسوب می شود. مطالعات نشان داده اند که آب های با محتوای بیشتر مواد آلی آب گریز (اجزا هیومیکی با وزن مولکولی بالا) دارای مقادیر بالایی از UV<sub>254</sub> هستند و بالعکس آب های با مقادیر بیشتر مواد آلی آب دوست (اجزا غیر هیومیکی با وزن مولکولی پایین) دارای مقادیر کمتر UV<sub>254</sub> هستند که این اجزای آبدوست به دلیل داشتن وزن مولکولی کمتر نسبت به اجزای آب گریز، در طی فرایندهای متداول تصفیه آب حذف نمی شوند و وارد شبکه توزیع می شوند (حسینی و همکاران، ۲۰۱۰). بینگ تائو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) به بررسی اثر و مکانیسم کمک منعقدکننده کیتوزان برای حذف کدورت و مواد آلی در آب آشامیدنی پرداختند. غلظت بهینه پلی آلومینیم کلراید، ۳۵ میلی گرم بر لیتر و کیتوزان ۰/۱۵ میلی گرم بر لیتر و pH بهینه ۷/۵ به دست آمد. ماچن باچ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) طی مطالعه ای نشان دادند که کاربرد ترکیبی از انعقاد مبتنی بر فلز و پلیمر به اثر حذف بیشتر کدورت و مواد آلی منجر

آب نمونه در قبل و بعد از عملیات جار نداشت. نمودار (۱۳) روند تغییرات کل کربن آلی خروجی با توجه به دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین کل کربن آلی ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری ۱/۰۴ میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. در این مدت میانگین کل کربن آلی خروجی در گستره ای بین ۰/۵۴ تا ۰/۷۷ میلی گرم بر لیتر قرار داشته است. میزان راندمان حذف کل کربن آلی در این دوره بین حداقل ۲۵/۹۶ تا حداکثر ۴۸/۰۸ درصد بوده است. میانگین کل کربن آلی خروجی برای نمونه شاهد (۱۰ میلی گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید) در طول این مرحله از نمونه برداری ۰/۷۸ میلی گرم بر لیتر محاسبه شده است. در این مرحله با افزایش دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، تا دوز ۱۰ میلی گرم بر لیتر، کل کربن آلی کاهش پیدا کرد ولی از دوز ۱۰ میلی گرم بر لیتر به بعد میزان کل کربن آلی خروجی افزایش پیدا کرد. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0/05$ ) تفاوت معنادار بین دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید و میزان کل کربن آلی خروجی وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی میزان کل کربن آلی معنی دار است و تأثیر دارد. نمودار (۱۴) و (۱۵) روند تغییرات آلومینیوم و UV<sub>254</sub> خروجی با توجه به دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید در طول نمونه برداری در این مرحله را نشان می دهد. میانگین آلومینیوم و UV<sub>254</sub> ورودی در طول این مرحله از نمونه برداری به ترتیب ۰/۰۶ میلی گرم بر لیتر و ۰/۲۸ یک بر سانتی متر محاسبه شده است. در این مدت میانگین آلومینیوم و UV<sub>254</sub> خروجی به ترتیب در گستره ای بین ۰/۰۶ تا ۰/۵۷ میلی گرم بر لیتر و ۰/۰۷ تا ۰/۲۳ یک بر سانتی متر قرار داشته است. میزان راندمان حذف UV<sub>254</sub> در این دوره بین حداقل ۱۷/۸۶ تا حداکثر ۰/۷۵ درصد بوده است. میانگین آلومینیوم و UV<sub>254</sub> خروجی برای نمونه شاهد (10 میلی گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید) در طول این مرحله از نمونه برداری به ترتیب ۰/۵۱ میلی گرم بر لیتر و ۰/۱۵ یک بر سانتی متر محاسبه شده است. در این مرحله با افزایش دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید، تا دوز ۵ میلی گرم بر لیتر میزان حذف UV<sub>254</sub> افزایش، ولی از ۵ میلی گرم بر لیتر به بعد روند تقریباً ثابتی داشت. ولی نمودار میزان آلومینیوم را تا دوز ۵ میلی گرم بر لیتر میلی گرم بر لیتر یک روند افزایشی با شیب کم، ولی از ۵ میلی گرم بر لیتر به بعد روند افزایشی با شیب زیاد را نشان می دهد. با توجه به آنالیز واریانس با ( $P < 0/05$ ) تفاوت معنادار بین دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید و میزان حذف آلومینیوم و UV<sub>254</sub> وجود دارد، به عبارت دیگر عامل دوز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید روی میزان حذف آلومینیوم و UV<sub>254</sub> معنی دار است و تأثیر دارد. آزمایش ها نشان داد که وقتی پلی آلومینیوم کلراید به تنهایی برای حذف کدورت به کار رفت، میزان آلومینیم باقیمانده در آب های تصفیه شده بین ۱/۴-۰/۰۸ میلی گرم در لیتر بود که از حد استاندارد ثانویه آب آشامیدنی

1- Letterman and Driscoll.

2- Bing-tao *et al.*3- Machenbach *et al.*

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...

باشد. به علاوه، فلوک های تشکیل شده توسط کیتوزان احتمالاً به دلیل بالا بودن وزن مولکولی آن، درشت تر بوده و برای ته نشینی به زمان کمتری نیاز داشتند. با افزایش غلظت پلی آلومینیم کلراید میزان حذف کدورت نیز افزایش یافت در حالی که در غلظت های بالاتر کیتوزان، پایداری مجدد ذرات مشاهده گردید مکانیسم حاکم جهت ناپایداری سازی ذرات کلوئیدی و حذف مواد آلی طبیعی، از طریق پل زنی بین ذرات - پلیمر، خنثی سازی بار مواد آلی طبیعی کلوئیدی و مکانیسم ترسیب مشترک به وسیله جذب سطحی بر روی هیدروکسیدهای فلزی قابل توجه است. کیتوزان از پوسته سخت پوستان دریایی به خصوص میگو قابل استحصال می باشد و با توجه به اینکه ضایعات پوست میگو به مقدار قابل ملاحظه و به عنوان محصول جانبی در تولیدات شیلات موجود است، تولید این ماده در کشور امکان پذیر است. با توجه به دستاوردهای این مطالعه، استفاده از بیوپلیمرها به ویژه کیتوزان را می توان برای تصفیه آب توصیه نمود.

می شود. روسی و همکاران (۲۰۰۵) طی مطالعه ای میزان حذف کدورت،  $UV_{254}$  و مواد آلی محلول را توسط کیتوزان به ترتیب  $۹۳/۱-۷۶/۱$  درصد،  $۸۷-۶۸/۴$  درصد و  $۸۲/۶-۵۵/۶$  درصد گزارش کردند.

### نتیجه گیری

یافته ها نشان داد که کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده می تواند دوز منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید و به دنبال آن آلومینیم باقیمانده در آب تصفیه شده را به طور چشمگیری کاهش دهد. راندمان حذف کدورت، کل کربن آلی، آلومینیم و  $UV_{254}$  در شرایط بهینه عملکرد کیتوزان به ترتیب برابر با  $۹۶/۵۹$ ،  $۴۶/۱۵$ ،  $۸۰/۴۹$  و  $۶۷/۸۶$  درصد به دست آمد. از آن جایی که شاخص های کل کربن آلی و  $UV_{254}$  به عنوان شاخص های جانشین مواد آلی طبیعی مورد مطالعه قرار می گیرند می توان نتیجه گرفت که آب اهواز جزء آب های با محتوای پایین مواد آلی به شمار می رود. همچنین به دلیل تجزیه زیستی لجن حاصل از کیتوزان می تواند باعث کاهش هزینه ها در خرید مواد شیمیایی و دفع لجن آن

### منابع

- ۱- بینا، ب.، ابراهیمی، ا.، حسامی، ف. و م. رجبی. ۱۳۹۲. بررسی کارایی کیتوزان به کمک منعقدکننده در حذف کدورت از آب. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط، تبریز، ۱۳۷.
- ۲- بی نام، ۱۳۸۴، استفاده از پلی آلومینوم کلراید در تصفیه آب و فاضلاب، سهامی خاص.
- ۳- حسنی، ا.، ح. ترابیان، ع. و م. عبدالله زاده. ۱۳۸۹. مقایسه عملکرد منعقدکننده ها با شرایط انعقاد پیشرفته در حذف کدورت و مواد آلی در رودخانه کرج. مجله محیط شناسی، ۵۵: ۱۱۸-۱۱۱.
- ۴- صید محمدی، ع.، عسگری، ق.، مبارکیان، ا. و ف. طاهر خانی. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر کمک منعقدکننده کیتوزان در حذف کدورت های فصلی با استفاده از فرایند الکتروکواکولاسیون با الکتروود آهن. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط، تبریز، ۱۷.
- ۵- مهدی نژاد، م. ه.، علیمحمدی، ن.، ارباب مجنی، س.، سلطانی، آ. و ع. امانبایی. ۱۳۹۳. تعیین میزان آلومینوم باقیمانده ناشی از کاربرد آلوم و پلی آلومینوم کلراید در حذف کدورت آب های کدر. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی گرگان، ۱۶: ۸۸-۸۲.
- ۶- یوسفی، ر.، معاضد، ه.، کریمی، ح.، نور مرادی، ح. و ف. رادمنش. ۱۳۹۲. مقایسه کارایی منعقدکننده طبیعی کیتوزان با پلی آلومینیم کلراید در حذف کدورت از آب. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ۲۱: ۲۷۲-۲۶۳.
- 7- Anonymous. 2008. Guidelines for drinking-water quality: Incorporating 1 st and 2 nd addenda. 3<sup>th</sup> Edition. Volume 1, Recommendations, pp. 451-455.
- 8- Anonymous. 1999. Chitin, chitosan and chitosan oligomer from Crab Shells. [online]. Last updated April 12, 1999 [cit. 2005-07-31]. <http://members.tripod.com/~dalwoo/>.
- 9- Anonymous. 1995. Standard practice for coagulation – flocculation jar test of water: E1-1994 R, D 2035-80, Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.02.
- 10- Anonymous. 2003. National primary drinking water standards. (EPA 816F03016). <<http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/>>. (Jan. 2010)

- 11-Baytak, D. 2007. Seasonal variation in disinfection by-product concentrations in Izmir drinking water: M.sc Thesis, Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology.
- 12-Bina, B., Mehdinejad, M. H., Nikaeen, M, and H. Movahedian Attar. 2009. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters: *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 6:247-252.
- 13-Bina, B., Shahsavani, A., Asghari, Gh. and A. Hasanzadeh. 2006. Effectiveness of two coagulants of moringa oleifera and polyaluminum chloride in turbidity removal from drinking water. *Journal of Water and Wastewater*, 61: 24-33.
- 14-Bing-tao, L., An-xil, J. and L. Rui-tao. 2008. Effect and mechanism of chitosan coagulation aid in flocculation treatment of water supply. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 12: 1857-1863.
- 15-Divakaran, R. and V.N. Pillai. 2004. Flocculation of river silt using chitosan. *Water Research*, 36: 2414-2418.
- 16-Deng, S., Zhou, Q., Yu, G., Huang, J. and Q. Fan. 2011. Removal of perfluorooctanoate from surface water by polyaluminium chloride coagulation. *Water Research*, 45(4):1774-1780.
- 17-Ganjidoust, H., Tatsumi, K., Yamagishi, T. and R.N. Gholian. 1997. Effect of synthetic and natural coagulation on lignin removal from pulp and paper wastewater. *Journal of Water Science and Technology*, 35(2-3): 292-296.
- 18-García, I. 2011. Removal of natural organic matter to reduce the presence of trihalomethanes in drinking water. School of Chemical Science and Engineering, KTH, Stockholm: Doctoral Thesis. 73-88.
- 19-Hassani, A.H., Jafari, M.A. and B. Torabifar. 2010. Trihalomethanes concentration in different components of water treatment plant and water distribution system in the north of Iran. *International Journal of Environmental Research*, 4(4):887-892.
- 20-Huang, C., Chen, S.H. and J.R. Pan. 2000. Optimal condition for modification of chitosan: A biopolymer for coagulation of colloidal particles . *Journal of Water Research*, 34(3): 1057-1062.
- 21-Keramati, A., Mahvi, A., and L. Abdulnezhad. 2007. The survey of physical and chemical quality of Gonabad drinking water in spring and summer of 1386: *Journal of Medical Sciences Gonabad*, 13:25-33.
- 22-Kranik, B.S., Davies, S.H., Baumann, M.J. and S.J. Masten. 2005. The effects of combined ozonation and filtration on disinfection by-product formation: *Water Research*, 39:2839-2850.
- 23-Letterman, R.D. and C.T. Driscoll. 1988. Survey of residual aluminum in filtered water. *Journal American Water Works Association*, 80: 154-158.
- 24-Machenbach, I. 2007. Drinking water production by coagulation and membrane filtration. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology.
- 25-Mahdi Nejad, M., Bina, B., Nik Aein, M. and H. Movahedian Attar. 2009. Effectiveness of alum in injection chitosan and moringa oleifera in removal of turbidity and bacteria from turbid water . *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 11(3): 60-69.
- 26- Maria, T., Sylwia, M., and W.M. Antoni. 2004. Removal of organic matter by coagulation enhanced with absorption on PAC: *Desalination*, 151: 79-87.

عروجی و همکاران: بررسی راندمان حذف کدورت، آلومینیم، کل کربن آلی ...

- 27-Mirzaei, A., Takdastan, A., Alavi, N. and H. Mohamadian. 2012. Removal of turbidity, organic matter, coliform and heterotrophic bacteria by coagulants poly aluminium chloride from karoon river water in iran. *Asian Journal of Chemistry*, 24(6):2389-2393 .
- 28-Muyibi, M. S. and M.S. Akif. 2003. Treatment of surface water with Moringa oleifera seed extract and alum-acomparative study using a pilot scale water treatment plant . *Journal of Environmental Studies*, 60(6) : 617-626.
- 29-Okuyama, K., Noguchi, K., Kanenari, M., Egawa, T., Osawa, K. and K. Ogawa. 2000. Structural diversity of chitosan and its complexes. *Carbohydrate Polymers*, 41:237-247.
- 30-Renault, F., Sancey, B., Badot, P.M. and G. Crini. 2009. Chitosan for coagulation/flocculation processes-An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45: 1337-1348.
- 31-Rizzo, L., Di Gennaro, A., Gallo, M. and V. Belgiorno. 2008. Coagulation/chlorination of surface water: A comparison between chitosan and metal salts. *Separation Purification Technology Journal*, 62 : 79-85.
- 32-Roussy, J., Van Vooren, M., Dempsey, B. and E. Guibal. 2005. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. *Journal of Water Research*, 39: 3247-3258.
- 33-Saritha, V., Swetha Chowdhary, K., and B.S.S.S. Harish Kumar. 2012. Evaluation of chitin as natural coagulant in water treatment : *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 3(2): 125-133.
- 34-Sharp, E.M., Parsons, S.A. and B. Jefferson. 2006. The impact of seasonal variation in DOC arising from moorland peat catchment on coagulation with iron and aluminium salts. *Journal of Environmental Pollution*, 140 : 436-445.
- 35-Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 2005.
- 36-Wang, L.K., Wang, Q.S., Sun, X.M., Yang, J.K. and Y.F. Liu. 2009. Influence of chitosan coagulation aids on floc form and strength. *Journal of China Environmental Sciences*, 29(7): 718-721.
- 37-Yarahmadi, M., Hossieni, M., Bina, B., Mahmoudian, M.H., Naimabadie, A. and A. Shahsavani. 2009. Application of moringa oleifera seed extract and polyaluminum chloride in water treatment. *World Applied Sciences Journal*, 7 (8): 962-967.
- 38-Zemmouri, H., Drouiche, M., Sayeh, A., Lounici, H., and N. Mameri. 2012. Coagulation flocculation test of keddara's water dam using chitosan and sulfate aluminium. *Journal of Procedia Engineering*, 33: 254-260.