

کارایی کیتوزان به همراه پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب ورودی به تصفیه‌خانه اهواز

غلامرضا رئیسی^۱

علی کارگری^۲

افشین تکدستان^۳

نغمه عروجی^۴

(دریافت ۹۰/۱/۲۵ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۷/۱۴ پذیرش ۹۰/۷/۱۹)

چکیده

کیتوزان یک پلیمر کاتیونی زیست تجزیه پذیر بوده که از دی استیلاسیون کیتین مشتق شده است. در این تحقیق با هدف بررسی اثر کیتوزان به عنوان کمک منعقد کننده در بهبود عملکرد منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت، از آب آشامیدنی صورت پذیرفت. این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در تصفیه خانه آب اهواز انجام شد. آزمایش ها بر مبنای متغیرهایی چون غلظت ماده منعقد کننده، pH و نیز غلظت کیتوزان به عنوان کمک منعقد کننده صورت پذیرفت. نمونه ها پس از آماده سازی در دستگاه جارتست، تحت عمل اختلاط سریع با ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۱ دقیقه و اختلاط آرام با سرعت ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه و همچنین مدت ۳۰ دقیقه به منظور ته نشینی در شرایط سکون قرار گرفتند. pH بهینه برای حذف کدورت، در pH برابر ۸ مشاهده گردید. دز بهینه پلی آلومینیوم کلراید به همراه کیتوزان، به ترتیب ۵ میلی گرم در لیتر و ۰/۰۲ میلی گرم در لیتر به دست آمد. در شرایط بهینه کاربرد کیتوزان حدود ۵۰ درصد غلظت منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید را کاهش داد. به علاوه، فلوک های تشکیل شده توسط کیتوزان درشت تر بوده و سرعت ته نشینی بالایی داشتند. نتایج تحقیق بیانگر کارایی خوب کیتوزان به عنوان کمک منعقد کننده در حذف کدورت از آب آشامیدنی است.

واژه های کلیدی: انعقاد، کدورت، کیتوزان، پلی آلومینیوم کلراید، تصفیه آب

Efficiency of Chitosan with Polyaluminum Chloride in Turbidity Removal from Ahwaz Water Treatment Plant Influent

Naghmeh Orooji¹

Afshin Takdastan²

Ali Kargari³

Gholamreza Raeesi⁴

(Received Apr. 14, 2011 Revised Oct. 6, 2011 Accepted Oct. 11, 2011)

Abstract

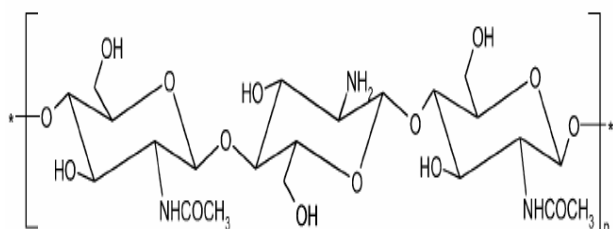
Chitosan, is a biodegradable cationic polymer, which is derived from deacetylation of chitin. The present study was conducted to investigate the effect of chitosan as a coagulant aids in improving the performance of coagulant property of poly-aluminum chloride as a primary coagulant on the removal of turbidity from water. This study, was performed in a laboratory scale and using jar test apparatus in Ahwaz Water Treatment Plant. Experiments were performed with different concentrations of coagulants, pH and different concentrations of chitosan as a coagulant aids. First the samples mixed under rapid mixing condition (120rpm) for 1 minute and then the apparatus set to slow mixing (40rpm) for 20 minute. After mixing the samples left for 30 minute in order to settle the sediments. The optimum pH was found 8 in this study. The optimum doses of poly-aluminum chloride in conjunction with chitosan, were 5mg/L and 0.02 mg/L, respectively. The required dosage of poly-aluminum chloride as a primary coagulant be reduced upto 50% under optimum condition with chitosan. It was also found using chitosan also produced larger floc with higher settling velocity than primary coagulant alone. The results also showed that chitosan as a coagulant aid had a positive effect on turbidity removal.

Keywords: Coagulation, Turbidity, Chitosan, Polyaluminum Chloride, Water Treatment.

1. Grad. M.Sc. Student of Applied Chemistry, Islamic Azad University, Omidieh Branch, Ahwaz
2. Assist. Prof. of Environmental Health Eng. and Member of Environmental Tech. Research Center, Jondishapur University of Medical Sciences, Ahwaz (Corresponding Author) (+98) 9123470776 Afshin_ir@yahoo.com
3. Assist. Prof. of Chemistry Eng., Amirkabir University of Tech. Tehran
4. Management of Quality Control and Health Monitoring of Ahwaz Water and Wastewater

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، اهواز
۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات فناوری های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز (نویسنده مسئول) ۰۹۱۲۳۴۷۰۷۷۶ Afshin_ir@yahoo.com
۳- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۴- مدیریت کنترل کیفیت و نظارت بر بهداشت آب و فاضلاب اهواز

آلومینیوم بافت‌های مغزی هفت بیمار مبتلا به دیالیز آنسفالوپاتی با غلظت این عنصر در مایع دیالیز به دست آمده است [۶]. برای به حداقل رساندن هرگونه خطر بالقوه ناشی از آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده‌ای که از منعقدکننده‌های آلومینیومی استفاده شده است، فرایندهای تصفیه آبی باید به منظور کاهش میزان آلومینیوم باقیمانده تا پایین‌ترین حد ممکن، بهینه‌سازی شوند. به منظور رفع مشکلات مربوط به منعقدکننده‌های طبیعی در سالهای اخیر صورت گرفته که خصوصاً منعقدکننده‌های طبیعی در سالهای اخیر صورت گرفته که در این رابطه از کاربرد کیتوزان^۴ می‌توان نام برد [۷]. کیتوزان یکی از مهم‌ترین مشتقات کیتین^۵ است که در نتیجه واکنش حذف گروه استیل از کیتین به دست می‌آید. کیتین ساختاری کریستالی، سخت و سفیدرنگ دارد که به وفور در پوسته سخت پوستان، حشرات و میسلیم^۶ قارچها یافت می‌شود. معمولاً کیتوزان به کیتینی که بیش از ۵۰ درصد گروههای استیل آن حذف شده گفته می‌شود [۸ و ۹]. ساختار کیتوزان در شکل ۱ نشان داده شده است. ثابت شده است که کیتوزان یک ماده غیر سمی، تجزیه پذیر^۷ و زیست سازگار و نیز دارای خواص ضد میکربی است [۱۰ و ۱۱].



شکل ۱- ساختار کیتوزان

کیتوزان یک پلی‌الکترولیت خطی کاتیونی با بار الکترونی مثبت بالا است. نظر به این که مواد زیادی دارای بار منفی هستند، بار مثبت کیتوزان می‌تواند با سطوح منفی این مواد در آمیخته و آنها را خنثی کند. کیتوزان به علت دارا بودن تعداد زیادی گروه $-NH_2$ می‌تواند با کلئیدهای باردار منفی واکنش نشان دهد، لذا یک لخته‌ساز مناسب است [۱۲]. مهدی‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۸۸ به بررسی کارایی کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا/ولیفرا^۸ به عنوان کمک منعقدکننده به همراه آلوم، برای حذف ذرات کلئیدی، باکتری‌های اشرشیاکلی^۹ و استرپتوکوکوس فیکالیس^{۱۰} پرداخته‌اند. غلظت بهینه آلوم برای کدورت‌های کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۲۰، ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و pH بهینه، ۷ تا ۷/۵

آبی که به صورت طبیعی یا توسط انسان آلوده شده است برای تبدیل به آب آشامیدنی باید فرایندهای مختلف تصفیه را طی نماید. فرایندهای متداول تصفیه آب شامل آشغالگیری، انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صافی‌سازی و گندزدایی است. انعقاد، فرایندی است که طی آن ذرات ریز غیرقابل ته‌نشینی که به اصطلاح کلئید نامیده می‌شوند و عامل مهمی در بروز کدورت هستند، به یکدیگر چسبیده و ذرات درشت‌تر و قابل ته‌نشینی را تشکیل می‌دهند. فرایند تصفیه (زلالاسازی) آب بدون استفاده از موادی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلئیدی را افزایش دهند، غیرممکن به نظر می‌رسد [۱].

طی فرایند انعقاد از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده مختلفی استفاده می‌شود. مواد منعقدکننده موادی هستند که برای ناپایداری ذرات و چسباندن آنها به یکدیگر استفاده می‌شوند. استفاده از مواد کمک منعقدکننده، به منظور افزایش دانسیته ذرات به هم چسبیده و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر آنها است [۲]. نمکهای آلومینیوم و آهن متداول‌ترین منعقدکننده‌هایی هستند که تاکنون برای تصفیه آب و پساب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما در سالهای اخیر نوع جدیدی از مواد منعقدکننده تحت عنوان منعقدکننده‌های پلیمری معدنی^۱ با استفاده از نمکهای معمول آهن و آلومینیوم تهیه شده‌اند. پلی‌آلومینیوم کلراید^۲ یکی از مهم‌ترین انواع IPFs است که نسبت به گونه‌های دیگر کاربرد بیشتری دارد [۳ و ۴]. پلی‌آلومینیوم کلراید یا آلومینیوم کلراید هیدراته از لحاظ ترکیبی یک ماکرومولکول معدنی است که مونومر آن یک کمپلکس دو هسته‌ای از آلومینیوم است. این ترکیب در غلظتهای پایین در محیط آبی تشکیل کمپلکس چند هسته‌ای داده و همین خاصیت باعث توانایی منحصر به فرد این منعقدکننده در فرایند انعقاد می‌گردد. این ماده دارای ساختار پلیمری با رابطه عمومی $(Al_3(OH)_{b-x} Cl_x \cdot YH_2O)_z$ است که طی واکنش هیدروکسید آلومینیوم با اسید کلریدریک مطابق واکنش زیر تولید می‌شود



مقدار Z بین ۱۲ تا ۱۸ متغیر است ولی برای فرمولاسیون مفید در ۹۵ درصد ترکیبات، Z برابر با ۱۵ است.

زیان‌های جدی در اثر کاربرد نمکهای آلومینیوم به دلیل باقی ماندن در آب، تولید حجم زیاد لجن و نحوه دفع در محیط زیست به وجود آمده است [۵]. بر مبنای بررسی مک‌درموت و همکاران^۳ در سال ۱۹۸۷ نیز ارتباط معنی‌داری بین افزایش غلظت

⁴ Chitosan

⁵ Chitin

⁶ Mycelium

⁷ Biodegradable

⁸ Moringa Oleifera

⁹ Escherichia coli

¹⁰ Streptococcus Fakalis

¹ Inorganic Polymer Flocculants (IPFs)

² Poly Aluminum Chloride (PAC)

³ Mac Dermot et al.

درجه خلوص وزنی- وزنی ۳۰ درصد، پودر کیتوزان محصول شرکت شیمیایی سیگما^۵ با ۸۵ درصد حذف گروههای استیل، سود ۰/۰۲ نرمال، اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال، اسید اسکوربیک، استات سدیم آلومینیوم، اریو کروم سیانین R و دستگاههای جارتست (JLT6)، pH متر مدل ۳۴۰i (WTW)، دستگاه کدورت سنج هج^۶ مدل ۲۱۰۰N، دستگاه TOC متر شیمادزو^۷ مدل TOC-VCSH و اسپکتروفتومتر هج مدل DR/5000 استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی کیتین و کیتوزان [۱۶]

پارامتر	کیتین	کیتوزان
فرمول تجربی واحد بیوپلیمر	C ₈ H ₁₃ NO ₅	C ₆ H ₁₁ NO ₆
درجه پلیمریزاسیون	۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۶۰۰-۱۸۰۰
وزن مولکولی	(۱-۵)×۱۰ ^۵	(۱-۵)×۱۰ ^۵
درصد رطوبت	۲-۱۰	۲-۱۰
درصد نیتروژن	۶-۷	۷-۸/۴
ویسکوزیته محلول بیوپلیمر در اسید استیک ۱ درصد برحسب cp	غیرقابل حل	۲۰۰-۳۰۰۰
ثابت تفکیک (Ka)	۶-۷	۶-۷
درصد دی استیله شدن	۱۵-۱۰	۷۰-۸۵
پیک اشعه ایکس	۸°۵۸-۱۰°۲۶	۸°۵۸-۱۰°۲۶
	۱۹°۵۸-۲۰°۰۰	۱۹°۵۸-۲۰°۰۰

۲-۱-۱- تهیه محلول پلی آلومینیوم کلراید

محلول ۱۰۰ ppm پلی آلومینیوم کلراید به وسیله حل کردن ۱ گرم پودر پلی آلومینیوم کلراید در یک لیتر آب مقطر تهیه شد.

۲-۱-۲- تهیه محلول کیتوزان

برای تهیه محلول کیتوزان، ۱۰۰ میلی گرم از پودر کیتوزان به دقت وزن گردید و در ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ مولار حل شد. پروسه حل شدن به آرامی صورت گرفت. سپس محلول به دست آمده در مقداری آب مقطر حل شد و به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. هر ۱ میلی لیتر از این محلول حاوی ۱ میلی گرم کیتوزان بود [۱۷].

۲-۲- روش کار

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در تصفیه خانه آب اهواز انجام پذیرفت. در هر مورد آزمایش از بشرهای ۱ لیتری استاندارد حاوی ۱۰۰۰ میلی لیتر نمونه آب مورد

به دست آمده است. کاربرد کیتوزان بین ۵۰ تا ۸۷/۵ درصد غلظت منعقدکننده آلوم را در کدورت های مختلف کاهش داد و آلومینیوم باقیمانده را تا زیر ۰/۲ میلی گرم در لیتر رساند. غلظت بهینه آلوم در ترکیب با کیتوزان برای کدورت های کم، ۱۰ و ۱ میلی گرم در لیتر بود که حذف کدورت معادل ۷۴/۳ درصد حاصل شد. همچنین برای کدورت های متوسط، حداکثر حذف ۹۶ درصد در غلظت های ۵ و ۰/۵ میلی گرم در لیتر آلوم و کیتوزان حاصل گردید. برای کدورت های زیاد نیز در غلظت بهینه آلوم و کیتوزان ۵ و ۰/۵ میلی گرم در لیتر، حداکثر حذف کدورت ۹۸/۲ درصد به دست آمد [۱۳].

بینگ تائو و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۸ به بررسی اثر و مکانیسم کمک منعقدکننده کیتوزان به منظور حذف کدورت و مواد آلی در آب آشامیدنی پرداختند. غلظت بهینه پلی آلومینیوم کلراید، ۳۵ میلی گرم در لیتر و کیتوزان ۰/۱۵ میلی گرم در لیتر و pH بهینه ۷/۵ به دست آمد [۱۴]. وانگ و همکاران^۲ در سال ۲۰۰۹ به بررسی اثر کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده بر روی شکل و استحکام فلوک ها پرداختند. تحت شرایط بهینه به منظور حذف کدورت، دز بهینه کلرید فریک ۲۹ میلی گرم در لیتر و کیتوزان ۰/۱ میلی گرم در لیتر به دست آمد. فلوک های تشکیل شده توسط کیتوزان درشت تر بوده و سرعت ته نشینی بالایی داشتند و باعث شد که فلوک ها به آسانی شکسته نشوند [۱۵]. روسی و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۵ به بررسی اثر کیتوزان بر روی انعقاد و فلوکولاسیون ذرات بنتونیت^۴ پرداختند. با استفاده از ۰/۱ میلی گرم در لیتر کیتوزان، بیشتر از ۹۵ درصد از کدورت برای آب مقطر در pH برابر ۵ و آب تصفیه در pH برابر ۷ کاهش پیدا کرد. برای آب مقطر در pH برابر ۷، دزهای بالاتری به منظور حذف کدورت مورد نیاز بود. در درجه های دی استیلاسیون ۸۹/۵ درصد و ۹۵ درصد کیتوزان با وزن های مولکولی بالاتر، بهترین نتیجه حذف کدورت حاصل شد [۱۶].

مشخصات عمومی کیتین و کیتوزان در جدول ۱ ارائه شده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی و ارزیابی کارایی استفاده از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده همراه با منعقدکننده ای مانند پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب رودخانه کارون و نیز تأثیر آن بر فرایند انعقاد و ته نشینی به انجام رسید.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد شیمیایی و وسایل

در این تحقیق از PAC صنعتی جامد محصول شرکت فالیزان تیغه با

⁵ Sigma
⁶ HACH
⁷ SHIMADZU

¹ Bing-tao et al.
² Wang et al.
³ Roussy et al.
⁴ Bentonite

نظر استفاده شد و سپس آزمایش‌های لازم صورت پذیرفت. به‌منظور تنظیم pH از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم با غلظت ۰/۰۲ نرمال استفاده شد. به‌منظور تعیین pH بهینه ماده منعقدکننده PAC، با غلظت ثابت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به همه نمونه‌ها اضافه شد. سپس آزمایش جار بر روی نمونه‌ها با pHهای مختلف ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵، ۷/۷۸، ۸، ۸/۵ و ۹ صورت پذیرفت. به‌منظور بررسی تعیین غلظت ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید، آزمایش جار بر روی نمونه‌های آب تحت شرایط pH بهینه تعیین شده در مرحله قبل (pH برابر ۸) و با غلظتهای مختلفی از PAC (۳ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) انجام گرفت و غلظت بهینه PAC به‌دست آمد.

پس از تعیین غلظت بهینه PAC، به‌منظور تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کیتوزان، غلظت ثابتی از PAC (۱۰ میلی‌گرم در لیتر)، به نمونه‌های آب افزوده شد. با افزودن غلظت بهینه PAC به نمونه‌های آب، فرایند اختلاط سریع با سرعت اختلاط ۱۲۰ دور در دقیقه، طی زمان یک دقیقه انجام گردید. در انتهای فرایند اختلاط سریع، دزهای مختلفی از کمک منعقدکننده (۰/۰۲ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) به نمونه‌های 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، به‌منظور تعیین غلظت بهینه PAC توأم با کمک منعقدکننده کیتوزان، غلظت ثابتی از کمک منعقدکننده کیتوزان (۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر) و مقادیر مختلفی از ماده منعقدکننده PAC (۱ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، به نمونه‌ها اضافه گردید. سپس جارها از زیر دستگاه خارج شدند تا لخته‌های تشکیل شده در زمان ۳۰ دقیقه ته‌نشین شوند. پس از پایان یافتن آزمایش‌ها، نمونه‌برداری برای تعیین کدورت، قلیائیت، pH، TOC و آلومینیوم باقیمانده از ۵ سانتی‌متری زیر سطح آب توسط پیپت انجام شد [۱۸].

کلیه آزمایش‌ها بر اساس روشهای استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد. سنجش کدورت از طریق دستگاه کدورت سنج هیچ مدل ۲۱۰۰N و بر اساس روش نفلومتریکی، آلومینیوم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-5000، TOC با استفاده از دستگاه TOC متر شیمادزو مدل TOC-VCSH، قلیائیت بر اساس روش تیتراسیون B ۲۳۲۰ و pH توسط pH متر دیجیتالی مدل ۳۴۰i اندازه‌گیری شد. به‌علاوه به‌منظور اثبات تکرارپذیری روش آنالیز، تعدادی از نمونه‌ها به‌صورت دوتایی و یا سه‌تایی تهیه شده و مورد آنالیز قرار گرفتند. تعداد کل نمونه‌ها در طول نمونه‌برداری ۲۳۲ عدد بود. تهیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج به‌دست آمده در رابطه با تعیین pH بهینه PAC، تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده PAC، تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کیتوزان و نیز تعیین غلظت بهینه PAC توأم با کمک منعقدکننده کیتوزان ارائه شد. برای بررسی جامع‌تر، برخی از نتایج این تحقیق با داده‌های سایر محققان مقایسه گردید.

۳-۱- تعیین pH بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید

هر ماده منعقدکننده دارای یک pH بهینه است که در آن، فرایند انعقاد و لخته‌سازی برای غلظت مشخصی از ماده منعقدکننده، در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با بالاترین بازدهی صورت می‌گیرد. از این رو، تعیین این عامل برای کسب اطمینان از عملکرد مناسب فرایند انعقاد و لخته‌سازی ضروری است. محققان تنها روش مطمئن برای تعیین محدوده pH مناسب در فرایند انعقاد و لخته‌سازی را روش آزمون و خطا و استفاده از نتایج آزمایشگاهی معرفی کرده‌اند [۱۹].

میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه‌برداری در گستره ۳۳-۳۴ NTU محاسبه شد. در این مدت میانگین کدورت خروجی در گستره‌ای بین ۲/۰۸ تا ۶/۸۱ NTU قرار داشت. در شکل ۲ تأثیر pH بر میزان حذف کدورت توسط PAC نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود، حذف کدورت با استفاده از PAC، نسبت به تغییرات pH بسیار حساس است به‌طوری که بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵ درصد در pH برابر ۸ معادل ۹۳/۹۰ درصد است. به‌عبارت دیگر در این محدوده از pH، رسوب تشکیل شده در طی فرایند و یا همان محصولات هیدرولیز PAC، دارای کمترین حلالیت هستند.

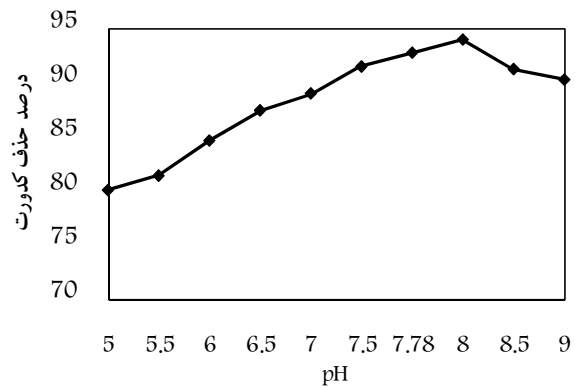
با توجه به آزمون آنووا^۱ ($P < 0/05$) تفاوت معنی‌داری بین pH و درصد حذف کدورت وجود دارد. نکته قابل توجه دیگر آن است که اندازه لخته‌های تشکیل شده در pH بهینه در مقایسه با pHهای دیگر، به‌طور مشخصی بزرگ‌تر بودند. با توجه به شکل ۲، مشاهده می‌شود که در pHهای اسیدی، از میزان حذف کدورت کاسته شده است. به‌همین دلیل نمی‌توان خنثی‌سازی بار را تنها عامل تشکیل لخته‌ها دانست. به‌نظر می‌رسد که در این مورد، تشکیل لخته‌ها در محدوده pH بهینه، بیشتر از طریق به دام افتادن ذرات معلق در زنجیره‌های پلیمری ماده منعقدکننده انجام شده است که مکانیسم انعقاد جاروبی و به دام افتادن ذرات در رسوب نام دارد. بینا و همکاران نیز بر این امر تأکید نموده‌اند که بهترین شرایط برای کوآگولاسیون PAC در pH برابر ۸ است [۲۰].

¹ ANOVA

محیط زیستی مربوطه و نیز قیمت ماده منعقدکننده بسیار تأثیرگذار هستند. در رابطه با میزان حذف کدورت با استفاده از PAC و با توجه به شکل ۳، به نظر می‌رسد که میزان حذف ۹۳/۹۸ درصد، یک نقطه ویژه و یا به عبارت بهتر یک نقطه بحرانی در نمودار است. به همین دلیل، با توجه به شکل یاد شده، غلظت بهینه PAC برای حذف کدورت، ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. از طرفی بررسی نتایج حاصل شده بیانگر آن است که مکانیسم‌هایی که سبب کدورت‌های باقیمانده کمتر در آب می‌شوند به غلظت منعقدکننده مصرفی و pH آب بستگی دارند. در این شرایط مکانیسم‌های غالب از نوع جذبی یا جاروبی و یا ترکیبی از دو مکانیسم ذکر شده هستند [۲۱ و ۲۲].

۳-۳- تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کیتوزان

میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه‌برداری در گستره ۶۷/۶۷ تا ۱۳۲/۶ محاسبه شد. در این مدت میانگین کدورت خروجی در دز ۱۰ میلی‌گرم در لیتر PAC کاربردی با کمک منعقدکننده کیتوزان در دزهای بین ۰ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، در گستره‌ای بین ۵۳/۰ تا ۴۷/۲ قرار داشت. نتایج حاصل در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزودن کیتوزان به‌عنوان کمک منعقدکننده، بازدهی فرایند را افزایش داده است. در بهترین حالت یعنی هنگامی که غلظت پلی‌آلومینیوم کلراید و کیتوزان به ترتیب ۱۰ و ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر بود، حذف کدورت معادل ۹۹/۱۶ درصد حاصل شد. با توجه به آزمون آنووا ($P < 0.05$) تفاوت معنی‌داری بین دز کمک منعقدکننده کیتوزان و درصد حذف کدورت وجود داشت. کدورت نهایی نمونه در حالت‌هایی که دز کمک منعقدکننده کیتوزان در گستره ۰/۰۲ تا ۰/۸ میلی‌گرم در لیتر قرار داشت، از نمونه شاهد هم کمتر بود. در دزهای بالاتر کمک منعقدکننده کیتوزان در گستره ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، کدورت نهایی بیشتر از نمونه شاهد بود ولی نسبت به کدورت ورودی کمتر بود. دلیل این رفتار این است که تا غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر، کیتوزان که دارای بار مثبت بوده بارهای منفی ذرات کلئیدی موجود را خنثی کرده است و در این غلظت در حقیقت بار الکتریکی محلول به صفر رسیده است. کیتوزان اضافی تزیق شده، باعث ایجاد بار مثبت اضافی یا به عبارت دیگر پتانسیل معکوس شده و منجر به افزایش کدورت ثانویه می‌شود. بنابراین دز ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر کمک منعقدکننده کیتوزان به‌عنوان دز بهینه انتخاب شد. به‌علاوه فلوک‌های تشکیل شده توسط کیتوزان نسبت به نمونه شاهد (PAC ۱۰ میلی‌گرم در لیتر)، درشت‌تر بوده و سرعت ته‌نشینی بالایی داشتند. دیواکاران^۱ و پیلائی^۲ طی فرایند

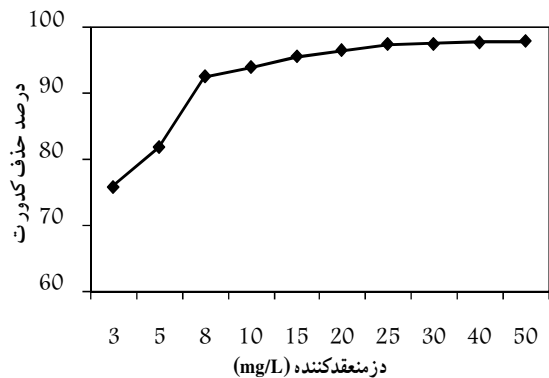


شکل ۲- روند تغییرات درصد حذف کدورت نسبت به تغییرات pH منعقدکننده PAC

(شرایط محیطی: غلظت اولیه PAC: ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، کدورت اولیه: ۳۳ NTU تا ۳۴ و دما ۲۴/۵ سلسیوس)

۳-۲- تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید

میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه‌برداری در گستره ۴۴ تا ۴۵ NTU محاسبه شد. در این مدت میانگین کدورت خروجی در گستره‌ای بین ۸۹/۰ تا ۶۴/۱۰ قرار داشت. در شکل ۳، تأثیر غلظت ماده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید بر میزان حذف کدورت در pH بهینه نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که به‌طور کلی با افزایش غلظت PAC، میزان حذف کدورت نیز افزایش یافته است به‌طوری که بیشترین میانگین درصد حذف کدورت با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای دزهای منعقدکننده ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر معادل ۹۳/۹۸ و ۹۷/۵۸ درصد به‌دست آمد.



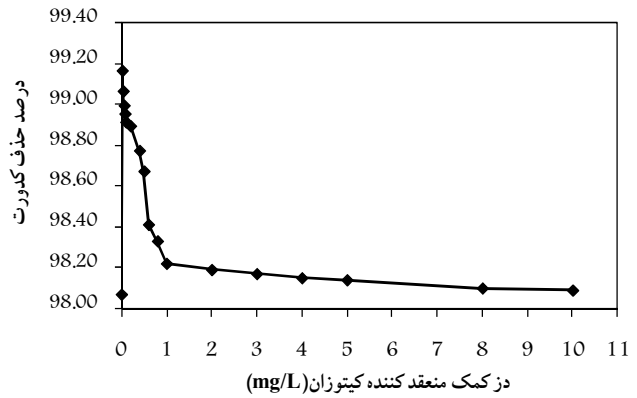
شکل ۳- روند تغییرات درصد حذف کدورت نسبت به تغییرات دز منعقدکننده PAC

(شرایط محیطی: pH برابر ۸، دما ۲۳/۹ سلسیوس، کدورت اولیه: ۴۵-۴۴ NTU و سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ rpm)

با توجه به آزمون آنووا ($P < 0.05$) تفاوت معنی‌داری بین دز منعقدکننده PAC و درصد حذف کدورت وجود داشت. در تعیین غلظت بهینه یک ماده منعقدکننده، عوامل مختلفی از نظر قوانین

¹ Divakaran
² Pillai

انعقاد، برای کدورت‌های اولیه بین ۱۰ NTU تا ۱۶۰، ۸۰ تا ۹۵ درصد حذف را به دست آوردند. pH بهینه برای حذف کدورت ۷ تا ۷/۵ و دز بهینه کیتوزان ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. در غلظت‌های بالاتر کیتوزان، پایداری ذرات معلق دیده شد. همچنین فلوک‌های تشکیل شده به دلیل مکانیسم پل زنی بین ذرات بسیار درشت، سرعت ته‌نشینی زیادی داشتند [۱۷].

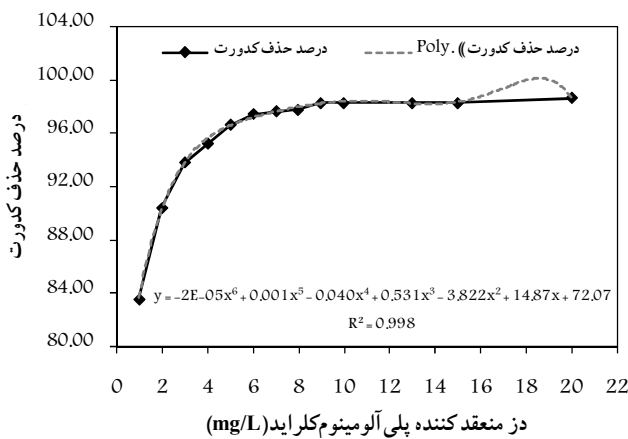


شکل ۴- روند تغییرات درصد حذف کدورت نسبت به تغییرات دز کمک منعقدکننده کیتوزان (شرایط محیطی: غلظت اولیه PAC: ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، کدورت اولیه: NTU تا ۶۲/۶۷ تا ۱۳۲/۶، pH برابر ۸، دما ۲۴/۷ سلسیوس و سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ rpm)

۳-۴- تعیین غلظت بهینه PAC در ترکیب با کمک منعقدکننده کیتوزان

مواد کمک منعقدکننده مانند سیلیس فعال، خاک رس و پلی‌الکترولیت‌ها، معمولاً به منظور دستیابی به بازدهی بالاتر در فرایند انعقاد و لخته‌سازی، کاهش مقدار ماده منعقدکننده مورد نیاز و تشکیل لخته‌های قوی‌تر و با قابلیت ته‌نشینی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۳]. میانگین کدورت ورودی در طول این مرحله از نمونه‌برداری در گستره ۴۶/۸ تا ۷۰ محاسبه شد. در این مدت میانگین کدورت خروجی در دز ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر کمک منعقدکننده کیتوزان کاربردی با PAC در دزهای بین ۱ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، در گستره‌ای بین ۰/۶۴ تا ۷/۹۸ قرار داشت (شکل ۵). نوع رابطه بین دز PAC افزوده شده و راندمان حذف کدورت در دز ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر از نوع غیرخطی و ضریب ارتباط (R^2) بین این دو متغیر برابر ۰/۹۹۸۶ است. همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود با افزایش دز PAC در این مرحله راندمان حذف کدورت از دز ۱ میلی‌گرم در لیتر تا ۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته و به ۹۶/۵۹ درصد رسیده است ولی از ۵ میلی‌گرم در لیتر به بعد افزایش با رشد خیلی کم پیش رفته است. بنابراین نقطه ۵ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند یک نقطه بهینه

باشد. نتایج آزمون آنووا با سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) تفاوت معنی‌داری بین PAC تزریقی و درصد حذف کدورت نشان داد. نتایج به دست آمده نشان داد که ترکیب PAC توأم با کیتوزان توانایی حذف کدورت تا زیر حد استاندارد (۵ NTU) را دارند. هوانگ و همکاران^۱ نشان دادند که بهترین نتیجه حذف کدورت در شرایطی حاصل می‌شود که دز بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید ۴ میلی‌گرم در لیتر و کیتوزان ۱ میلی‌گرم در لیتر باشد [۲۴]. همچنین مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که لخته‌های حاصل از کاربرد کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در شرایط بهینه نسبت به زمانی که از PAC به تنهایی استفاده شد، بسیار درشت‌تر است و برای ته‌نشینی به زمان کمتری نیاز است. آزمایش‌های اولیه نشان داد که ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر پلی‌الکترولیت در عرض ۲ دقیقه، ۹۵ درصد فلوک‌ها را ته‌نشین می‌کند. در حالی که مصرف منعقدکننده به تنهایی، فقط ۵۰ درصد فلوک‌ها را در همان مدت ته‌نشین می‌کند [۲۵].



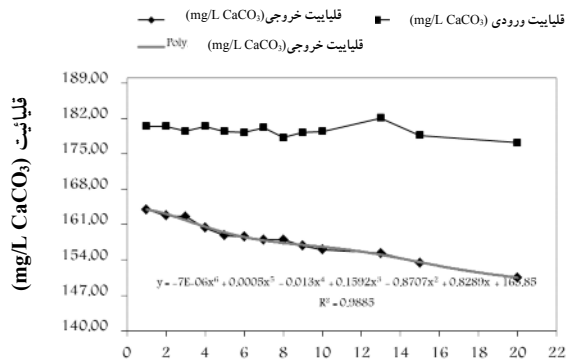
شکل ۵- روند تغییرات درصد حذف کدورت نسبت به تغییرات دز PAC

(شرایط محیطی: غلظت اولیه کیتوزان: ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر، کدورت اولیه: NTU تا ۴۶/۸ تا ۷۰، pH برابر ۸، دما ۲۶/۲ سلسیوس، سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ rpm)

روسی نشان داد که مکانیسم غالب حذف کدورت توسط کیتوزان به دلیل بالا بودن تعداد گروه‌های آمینی و تولید بار مثبت زیاد در شرایط خنثی و کمی اسیدی، خنثی‌سازی بار است [۱۶]. همچنین کاربرد این مواد هیچ‌گونه تأثیری بر قلیائیت و pH آب نمونه در قبل و بعد از عملیات جار نداشت. نتایج آزمون آنووا ($P > 0.05$) تفاوت معنی‌داری بین PAC تزریقی (توأم با کمک منعقدکننده کیتوزان) و میزان قلیائیت خروجی نشان نداد. شکل ۶، روند تغییرات قلیائیت ورودی و خروجی با توجه به دز PAC افزوده شده در مرحله اختلاط سریع در طول نمونه‌برداری در این

¹ Huang et al.

مرحله را نشان می‌دهد. نوع رابطه بین دز PAC افزوده شده و کلیتاً خروجی در دز ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان از نوع غیرخطی و با معادله درجه ششم و ضریب ارتباط (R^2) بین این دو متغیر برابر ۰/۹۸۸۵ است. نتایج به دست آمده در این تحقیق با مطالعات دیواکاران^۱ و پیلائی^۲ مطابقت داشت [۱۷].



دز منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید (mg/L)

شکل ۶- روند تغییرات کلیتایی ورودی و خروجی نسبت به تغییرات دز PAC افزوده شده در مرحله اختلاط سریع (شرایط محیطی: غلظت اولیه کیتوزان ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر، کدورت اولیه: ۴۶/۸ NTU تا pH ۷/۰ برابر ۸، دما ۲۶/۲ سلسیوس، سرعت اختلاط سریع: ۱۲۰ rpm)

آزمایش‌ها نشان داد که وقتی PAC به تنهایی برای حذف کدورت به کار رفت، میزان آلومینیوم باقیمانده در آبهای تصفیه شده بین ۰/۸ تا ۱/۴ میلی‌گرم در لیتر بود که از حد استاندارد ثانویه آب آشامیدنی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا^۳ بیشتر بود. بر اساس این استاندارد، حداکثر مقدار آلومینیوم در آب آشامیدنی بین ۰/۰۵ تا ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر است [۲۶]. در حالی که با استفاده از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، میزان آلومینیوم باقیمانده در آبهای تصفیه شده بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۵۷ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد.

نتایج مطالعات انجام شده نشان داد که غلظتهای بالاتر آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده ناشی از کنترل نامناسب pH و نداشتن شرایط بهینه است و بهترین راه کاهش آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده، به دست آوردن شرایط بهینه در غلظت منعقدکننده و pH است [۲۷]. استفاده از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، ضمن کاهش کدورت باقیمانده تا زیر ۵ NTU، سبب کاهش مصرف PAC به میزان ۵۰ درصد در شرایط بهینه گردید. این

کاهش مصرف PAC در فرایند تصفیه آب، علاوه بر کاهش هزینه‌های خرید این منعقدکننده سبب کاهش آلومینیوم باقیمانده تا زیر حد استاندارد (۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) در آب تصفیه شده گردید. نتایج کاربرد کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در فرایند انعقاد، نشان داد که در شرایط بهینه، میزان TOC آزاد شده توسط آن ۰/۵۶ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به مقادیر TOC به دست آمده توسط کیتوزان، مشاهده شد که با افزایش غلظت این ماده، میزان تغییرات TOC در آب تصفیه شده ناچیز است و در شرایط بهینه مقدار TOC به دست آمده از نمونه شاهد یعنی ۰/۷۸ میلی‌گرم در لیتر کمتر بود. مشاهدات آزمایشگاهی و راندمان حذف کدورت نشان داد که وجود کربن آلی بر رفتار انعقاد، تأثیر چندانی نداشته است. نتایج به دست آمده در این تحقیق با مطالعات انجام شده بر روی کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده توسط مهدی‌نژاد و همکاران مطابقت داشت [۱۳].

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تنظیم pH به عنوان عامل بسیار مؤثری بر میزان حذف کدورت، برای استفاده بهینه از ماده منعقدکننده ضروری بود. pH بهینه برای حذف کدورت توسط PAC برابر با ۸ بود. با افزایش غلظت PAC میزان حذف کدورت نیز افزایش یافت. بر اساس بررسی‌های انجام شده، غلظت بهینه پلی آلومینیوم کلراید برای حذف کدورت، ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تشخیص داده شد. هنگامی که غلظت PAC، ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود با افزودن ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان به فرایند، حداکثر میزان حذف کدورت ۹۹/۱۶ درصد به دست آمد. در غلظتهای بالاتر کیتوزان، پایداری مجدد ذرات مشاهده گردید. غلظت بهینه PAC به همراه کیتوزان به ترتیب ۵ و ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. کاربرد کمک منعقدکننده کیتوزان سبب گردید که علاوه بر کاهش مصرف PAC به عنوان منعقدکننده به میزان ۵۰ درصد، میزان آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده نیز تا زیر حد استاندارد (۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) کاهش یابد. همچنین کاربرد کیتوزان تأثیری بر pH و کلیتایی نداشت.

۵- قدردانی

به این وسیله از همکاری صمیمانه مسئولان و کارکنان آزمایشگاه تصفیه‌خانه شماره ۲ شرکت آب و فاضلاب اهواز تشکر و قدردانی می‌گردد.

¹ Divakaran

² Pillai

³ U.S. Environmental Protection Agency (US.EPA)

- 1- Zahab Saniei, A. (1991). *Water treatment processes*, Vol 1, Niro Chap Company, Tehran. (In Persian)
- 2- Alipour, V., and Bazrafshan, A. (2002). *Water treatment*, 1st Ed., Vol 1, Danesh Nama Pub., Isfahan. (In Persian)
- 3- 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. of Hazard. Mater.*, 143, 567-574.
- 4- Wang, D., Sun, W., Xu, Y., Tang, H., and Gregory, J. (2004). "Speciation stability of inorganic polymer flocculant-PACl. Colloids Surf." *J. of Physicochem. Eng.*, 243, 1-10.
- 5- Ndabigengesere, A., and Narasiah, K.S. (1998). "Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds." *J. of Wat. Res.*, 32(3), 781- 791.
- 6- Hamilton and Hardys. (1995). *Industrial toxicology*, 5th Ed., Mosby.
- 7- Folkard, G.K., Sutherland, J., and Shaw, R. (2000). "Water clarification using *Moringa Oleifera* seed coagulant." *On Electronic products*: < [http://www.lboro.ac.uk/well/ resources/ technical-briefs/60](http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/60)>. (Aug. 2010)
- 8- Benjakul, S., Viessanguan, W., Tanaka, M., Ishizaki, S., Suthdham, R., and Sugpech, O. (2000). "Effect of chitin and chitosan on gelling properties of surimi from barred gar fish (*Hemiraphus far*)." *J. Sci. Food Agric*, 81(1), 102-108.
- 9- No, H.K., Park, N.Y., Lee, S.H., and Meyers, S.P. (2002). "Antibacterial activity of chitosan and chitosan oligomers with different molecular weights." *Int. J. of Food Microbiol.*, 74, 65-72.
- 10- Coma, V., Martial-Gros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F., and Deschamps, A. (2002). "Edible antimicrobial films based on chitosan matrix." *J. of Food Sciences*, 67(3), 1162-1169.
- 11- Wang, G.H. (1992). "Inhibition and inactivation of five species of foodborne pathogens by chitosan." *J. of Food Protection*, 55(11), 916-919.
- 12- Gamage, D.A.S. (2003). "The used of chitosan for the removal of metal ions contaminants and proteins from water." M.Sc. Thesis, University of Newfoundland.
- 13- Mahdi Nejad, M., Bina, B., Nik Aein, M., and Movahedian Attar, H. (2009). "Effectiveness of alum in injection chitosan and moringa oleifera in removal of turbidity and bacteria from turbid water." *J. of Gorgan University of Medical Sciences*, 11(3), 60-69. (In Persian)
- 14- Bing-tao, L., An-xil, J., and Rui-tao, L. (2008). "Effect and mechanism of chitosan coagulation aid in flocculation treatment of water supply." *J. of Harbin Institute of Technology*, 12, 1857-1863.
- 15- Wang, L.K., Wang, Q.S., Sun, X.M., Yang, J.K., and Liu, Y.F. (2009). "Influence of chitosan coagulation aids on floc form and strength." *J. of China Environmental Sciences*, 29(7), 718-721.
- 16- Roussy, J., Van Vooren, M., Dempsey, B., and Guibal, E. (2005). "Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions." *J. of Wat. Res.*, 39, 3247-3258.
- 17- Divakaran, R., and Pillai, V.N. (2002). "Flocculation of river silt using chitosan." *J. of Wat. Res.*, 36, 2414-2418.
- 18- ASTM. (1995). *Standard practice for coagulation-flocculation Jar Test of water*, E1-1994-R (1995). D 2035-80. Annual Book of ASTM Standards; Vol 11.02.
- 19- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A., and Singh, V. (2006). "Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions." *J. of Environ. Manage*, 81, 36-41.
- 20- Bina, B., Shahsavani, A., Asghari, Gh., and Hasanzadeh, A. (2006). "Effectiveness of two coagulants of moringa oleifera and polyaluminum chloride in turbidity removal from drinking water." *J. of Water and Wastewater*, 61, 24-33. (In Persian)
- 21- Montgomery, J.M. (1995). *Water treatment principals and desing*, John Wiley, USA.
- 22- Nonod, J., and Brault, J.L. (1991). *Water treatment handbook*, 6th Ed., Degremont. USA.
- 23- AWWA. (2003). *Principles and practices of water supply operations, water treatment*, 3rd Ed., American Water Works Association, USA.
- 24- Huang, C., Chen, S.H., and Pan, J.R. (2000). "Optimal condition for modification of chitosan: A biopolymer for coagulation of colloidal particles." *J. of Wat Res.*, 34(3), 1057-1062.
- 25- AWWA. (2005). *Water quality and treatment, A handbook of public water supplies*, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- 26- USEPA. (2003). "National primary drinking water standards." (EPA 816F03016). <<http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/>>. (Jan. 2010)
- 27- Letterman, R.D., and Driscoll, C.T. (1988). "Survey of residual aluminum in filtered water." *J. of Am. Water Works Assoc.*, 80, 154-158.