مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، سال هجدهم،
شماره ۵، صفحه ۲۹۰-۲۸۵، ۱۳۸۴
ISSN : 1016-3255

مقایسه کارایی زیست پلیمرهای مختلف در تصفیه آب

Comparison of Different Biopolymers Performance in Water Treatment

خشایار محمدبیگی[۱]، ابراهیم واشقانی فراهانی[۲*]
۱ - تهران، پژوهشگاه صنعت نفت ، پژوهشکده توسعه فرایندها، صندوق پستی ۱۸۷۴۵/۴۱۶۳
۲ - تهران، دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی شیمی، صندوق پستی ۱۴۱۱۵/۱۴۳
دریافت:۸۳/۵/۲۸ ، پذیرش: ۸۴/۴/۲۱

چکیده

در سامانه های تصفیه آب و پساب از پلی‌الکترولیتهای سنتزی برای کمک به انعقاد وصاف کردن استفاده می‌شود. اکثر این پلیمرها فاقد خاصیت زیست تخریب‌پذیری در کوتاه مدت بوده، برخی ازآنها نیز موجب سرطان‌زایی و جهش‌ژنتیکی در انسان می‌شوند. دراین پژوهش، کارایی چند زیست پلیمر به عنوان مواد جایگزین پلی‌الکترولیتهای سنتزی برای تصفیه آب و عوامل مؤثر بر عملکرد آنها ارزیابی و در نتیجه شرایط عملیاتی مناسب برای تصفیه آب معین شد. نتایج آزمایشها نشان داد که می‌توان از زیست پلیمرهایی مثل کیتوسان، نشاسته و سدیم آلژینات به عنوان مواد کمک منعقد کننده، در سامانه‌های تصفیه آب برای کاهش کدورت استفاده کرد. در مقایسه با نشاسته و سدیم آلژینات، کیتوسان کارایی بهتری برای کاهش کدورت داشته، دامنه عملیاتی آن نیز گسترده‌تر است. همچنین، ذرات تجمع یافته با استفاده از کیتوسان، بزرگتر و مستحکمتر از ذرات ناشی از کاربرد نشاسته و آلژینات بود. بنابراین، استفاده از کیتوسان در عملیات ته‌نشینی و صاف کردن برای تصفیه آب مؤثرتر است.

واژه‌های کلیدی

تصفیه آب،
کیتوسان، نشاسته،
سدیم‌آلژینات ، انعقاد

Key Words

water treatment,
chitosan, starch,
sodium alginate, coagulation

مقدمه

آبهای سطحی دارای ذرات معلق و کلوئیدی مختلف هستند که وجود آنها سبب ایجاد رنگ و کدورت در آب می‌شود. این ذرات، به علت سبکی و دارا بودن بار همنام، ته نشین نمی‌شوند بنابراین، مواد منعقد کننده بکار می رود تا امکان انعقاد و لخته‌سازی میسر شود. در واحدهای تصفیه آب، از نمکهای آلومینیم و آهن به عنوان منعقدکننده استفاده می‌شود ولی این مواد وابستگی زیادی به pH آب برای انعقاد مؤثر دارند و در ضمن موجب آلودگی در لجن

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار : evf@modares.ac.ir

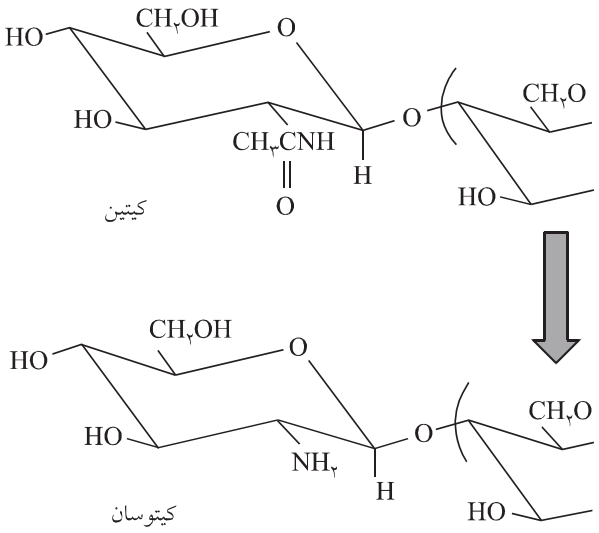
رسوب یافته و کاهش قدرت بازی آب می شوند[۱].

با پیشرفت فناوری انعقاد، پلی الکترولیتهای سنتزی به عنوان کمک منعقدکننده در تصفیه آب و پساب استفاده شده‌اند. این پلی الکترولیتها، پلیمرهایی با پایه پلی آکریلامید هستند که موجب کاهش حجم لجن تولیدی شده، عملیات آب گیری و دفع لجن با سهولت انجام می گیرد. استفاده از این پلیمرها، نه تنها مقدار تزریق منعقد کننده اولیه را کم می کند، بلکه سبب افزایش استحکام و حجم ذرات منعقد شده و بهبود شرایط صاف کردن می شود [۲]. ساز و کار انعقاد و لخته سازی هنگام استفاده از این پلی الکترولیتها بدین صورت است که ابتدا گروههای عامل و فعال پلیمر روی سطح ذره کلوئیدی جذب سطحی شده، سپس بین هر دو ذره پلی شیمیایی از راه پلیمرهای جذب شده برقرار می شود. عوامل متعددی مثل گروههای عاملی موجود در مولکول پلیمر، وزن مولکولی، چگالی بار الکتریکی مولکول پلیمر و مقدار شاخه‌ای بودن پلیمر درکارایی پلی الکترولیتها نقش دارند. همچنین، pH محیط نیز در باردار شدن گروههای عامل وفعال پلیمر حائز اهمیت است [۳].

وزن مولکولی پلی الکترولیتهای کاتیونی متداول در تصفیه آب حدود یک میلیون دالتون است. این پلی الکترولیتها از راه سازوکار پل زدن و یا حتی خنثی سازی بار یا گاهی هر دو سازوکار، موجب انعقاد می شوند. وابستگی این نوع پلی الکترولیتها به pH، سختی و قدرت یونی آب کمتر از سایر پلی الکترولیتها ست [۴]. اما اکثر این پلیمرها، فاقد خاصیت تجزیه زیستی اند و برخی از آنها موجب سرطان زایی و جهش ژنتیکی در انسان می شوند. بنابراین، استفاده از این پلی الکترولیتها در برخی کشورها مثل سوئیس و ژاپن ممنوع بوده، در کشورهای آلمان وآمریکا نیز برای مصرف این مواد در سامانه های تصفیه آب آشامیدنی مقرارتی وضع شده است [۵]. با توجه به این اثرات نامطلوب، زیست پلیمرها به عنوان جایگزین پلی الکترولیتهای سنتزی مطرح شده‌اند. مهمترین پلی الکترولیتهای طبیعی قابل استفاده در صنایع تصفیه آب و پساب شامل کیتوسان، سدیم آلژینات و نشاسته است. این زیست پلیمرها قابل تجزیه زیستی بوده ، روی بدن انسان عوارضی ندارند بنابراین، می توان از این زیست پلیمرها برای تصفیه آب آشامیدنی استفاده کرد.

کیتوسان زیست پلیمری کاتیونی با وزن مولکولی زیاد است که از صدف سخت پوستان دریایی مثل خرچنگ و میگو تهیه می شود. این محصول در صنعت از استیل زدایی کیتین بدست می آید (طرح ۱). خصوصیات شیمیایی و زیستی ویژه این پلیمر موجب استفاده گسترده آن در صنایع مختلف شده است[۶].

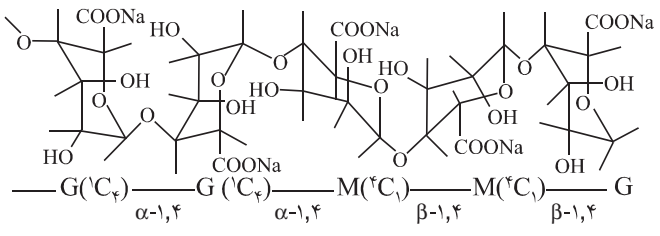
کیتوسان در تهیه گازهای پانسمان و زخم‌بندی برای جلوگیری از خونریزی نیز بکار می‌رود.لایه بسیار نازکی از کیتوسان در درمان



طرح ۱ استیل زدایی کیتین.

زخمهای مزمن و جراحتهای خارجی پوست مؤثر است. همچنین، این زیست پلیمر هنگام عمل جراحی برای کاهش خونریزی، در جراحیهای پلاستیک به عنوان پوست مصنوعی، در تهیه لنزهای طبیعی، در داروسازی برای کپسول کردن مواد فعال و در فناوری زیستی برای تثبیت آنزیمها و سلولهای زنده بکار می رود [۷]. در سالهای اخیر، پژوهشهای گسترده‌ای در زمینه استفاده از کیتوسان در سامانه های انتقال دارو انجام شده است. از آنجا که این زیست پلیمر با ارگانیسمهای زنده سازگاری دارد بنابراین، استفاده از آن در صنایع داروسازی رو به گسترش است [۸،۹]. همچنین، این زیست پلیمر در تصفیه آب به عنوان منعقدکننده و کمک منعقدکننده به همراه آلوم و کلرورفریک استفاده می شود [۱۰].

سدیم آلژینات زیست پلیمری آنیونی با فرمول شیمیایی $(C_6H_7NaO_6)_n$، نمک اسید آلژنیک و دارای ساختار مولکولی مطابق با طرح ۲ است. وزن مولکولی مونومر سدیم آلژینات ۱۹۸ و وزن مولکولی متوسط درشت مولکول آن ۱۰۵×۶–۱۰۴ است. از این زیست پلیمر به عنوان کمک منعقدکننده در تصفیه آب استفاده می شود.



طرح ۲ ساختار مولکولی سدیم آلژینات.

نشاسته به فرمول عمومی $C_n(H_2O)_n$ از لحاظ شیمیایی در طبقه پلی‌ساکاریدها قرار می‌گیرد و زیست پلیمری غیر یونی است که به عنوان کمک منعقدکننده در تصفیه آب استفاده می‌شود. در این حالت سازوکار لخته سازی از راه ایجاد پل پلیمری بین ذرات کلوئیدی انجام می‌گیرد [۱۱،۱۲].

در حال حاضر نشاسته در ایران تولید می‌شود و با توجه به دسترسی آسان به منبع اولیه تولید کیتوسان (پوست خرچنگ و میگو) و سدیم آلژینات (جلبک دریایی)، امکان تهیه این زیست پلیمرها در داخل کشور فراهم است.

تجربی

مواد

در این پژوهش، کارایی پلی‌الکترولیتهای طبیعی در سامانه‌های تصفیه آب و پساب با استفاده از روش آزمون پیمانه (jar test) بررسی و مقایسه شد. کلیه روشهای سنجش پارامترها در این پژوهش، بر مبنای استانداردهای آزمایشهای آب وپساب انجام شده است [۱۳]. متغیر اصلی مورد بحث در این پژوهش، درصد کاهش کدورت است که در شرایط متفاوت و کدورتهای مختلف ارزیابی شد. در این پژوهش، شرایط آبهای سطحی در کدورتهای مختلف: زیاد (ntu ۱۸۰-۱۰۰)، متوسط (ntu۱۰۰-۳۰) و کم (کمتر از ntu ۳۰) شبیه‌سازی شد و با انجام آزمایشهای لازم، شرایط عملیاتی بهینه برای انجام فرایند انعقاد و لخته‌سازی بدست آمد. در انجام این پژوهش از کیتوسان ساخت شرکت Sigma آلمان و سدیم آلژینات محصول شرکت Kibon ژاپن استفاده و بقیه مواد آزمایشگاهی مورد مصرف از شرکت Merck آلمان تهیه شد.

روشها

روش تهیه محلولها

برای تهیه محلول کیتوسان، ابتدا محلول استیک اسید ۱درصد تهیه شد. سپس، ۱۰۰mg کیتوسان در mL ۱۰۰ از محلول استیک اسید ۱ درصد حل و حجم آن به L۱ رسانده شد. هر mL از این محلول شامل mg ۰/۱ کیتوسان است (برای تسریع در انحلال کیتوسان می‌توان محلول را کمی گرم کرد ولی از گرمادهی طولانی باید اجتناب شود). برای تهیه محلول نشاسته، g۱۰ از نشاسته در L۱ آب مقطر حل شد که هر mL از این محلول شامل mg ۱۰ نشاسته است.

برای تهیه محلول سدیم آلژینات، ابتدا ۱۰۰mg سدیم آلژینات در mL ۱۰۰ آب مقطر حل و سپس حجم به L ۱ رسانده شد. هر mL از این محلول شامل mg ۰/۱ سدیم آلژینات است.

محلول آلوم با حل کردن g۱۰ آلوم در mL۱۰۰ آب مقطر و افزایش حجم به L ۱ تهیه شد. هر mL از این محلول شامل mg۱۰ آلوم است. برای تهیه محلول آهک، ابتدا g۱۰ آهک را در mL ۱۰۰ آب مقطر حل کرده، سپس حجم به L۱ رسانده شد. هر mL از این محلول شامل mg ۱۰ آهک است. برای تنظیم pH از سدیم هیدروکسید و کلریدریک اسید M۰/۱ استفاده شد. برای تهیه نمونه آب کدر، خاک رس در آب حل و نمونه به مدت h۲۴ در حالت سکون قرار داده شد تا ذرات ته‌نشین شوند. سپس با نمونه گیری، مقدار کدورت برای انجام آزمایشهای لازم تنظیم شد. در جدول ۱ روشهای اندازه‌گیری پارامترهای مورد مطالعه آورده شده است.

روش آزمایش

در انجام این پژوهش، برای بررسی شرایط لخته سازی از دستگاه آزمون پیمانه استفاده شد. این دستگاه از تعدادی همزن (معمولاً ۶ عدد) با دور قابل تنظیم (rpm ۲۰۰-۰) تشکیل شده‌است. ابتدا شش بشر یک لیتری را با آب مقطر شستشو داده، درون هر یک از آنها، L ۰/۵ از نمونه آب کدر ریخته و زیر همزنها قرار داده می‌شوند. سپس، مقدار مورد نظر از منعقدکننده اولیه را به نمونه‌ها اضافه کرده، عمل اختلاط با دور rpm ۱۲۰ به مدت min۱ انجام می‌گیرد. سپس، دورهمزن به rpm ۳۰ کاهش داده می‌شود تا عمل لخته‌سازی انجام گیرد. بعد از آن همزدن را خاتمه داده، نمونه‌ها از زیر همزن خارج می‌شوند و پس از مدت زمان لازم برای ته‌نشینی، نمونه گیری انجام می‌گیرد و با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج، مقدار کدورت آن اندازه‌گیری شده، درصد

جدول ۱ روش اندازه‌گیری پارامترهای مورد مطالعه.

پارامتر	روش	وسیله سنجش
مقدار منعقد کننده	آزمون پیمانه	دستگاه آزمون پیمانه، دارای دور قابل تنظیم rpm ۲۰۰-۰ همراه با زمان گیر
دما و pH	اندازه گیری مستقیم به وسیله الکترود	pH سنج، Testo ۲۵۲
کدورت	اندازه گیری با کدورت سنج	کدورت سنج، HACH ۲۱۰۰ p

کاهش کدورت معین می‌شود. همچنین، با تغییر زمان لخته‌بندی و ته‌نشینی، اثر این پارامترها روی لخته سازی ذرات بررسی و pH نمونه‌ها نیز با استفاده از کلریدریک اسید و سدیم هیدروکسید، تغییر داده شد و pH بهینه برای انجام لخته‌سازی وکاهش کدورت بدست آمد.

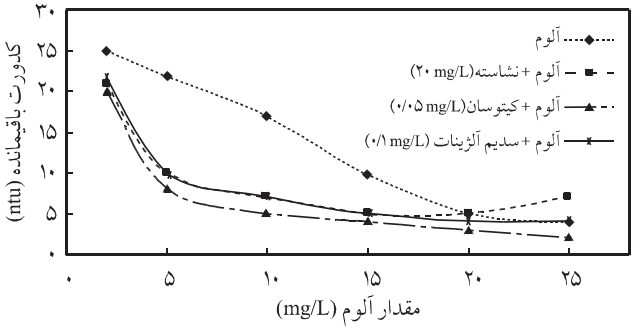
نتایج ارائه شده میانگین آماری سه آزمایش تکراری با انحراف استاندارد ۵ ± درصد است.

نتایج و بحث

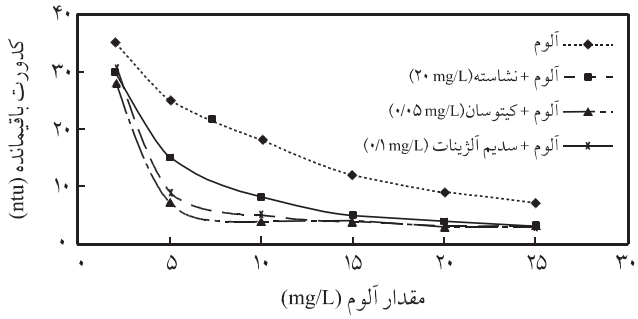
با ارزیابی نتایج این پژوهش، می‌توان عوامل مؤثر بر کارایی پلی‌الکترولیتهای طبیعی درسامانه‌های تصفیه آب را بررسی کرد. در شکل ۱، اثر پلی‌الکترولیتهای طبیعی به همراه آلوم درکدورت ۳۰ntu، ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش آلوم تا مقدار ۱۴ mg/L، کاهش کدورت آب تا ۸۸ درصد میسر است. در صورتی که با استفاده از ۶ mg/L آلوم به همراه ۰/۰۵ mg/L کیتوسان، کاهش کدورت به ۹۷ درصد می‌رسد و کیفیت آب افزایش می‌یابد و برای رسیدن به همین مقدار کدورت نیاز به مصرف ۱۲ mg/L آلوم و ۲۰ mg/L نشاسته گندم است.

در شکل ۲، اثر غلظت آلوم به همراه کمک منعقدکننده‌های طبیعی بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۸۰ntu رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اگر مقدار تزریق آلوم ۱۴ mg/L باشد، درصد کاهش کدورت آب به ۸۸ می‌رسد. در صورتی که می‌توان با استفاده از ۶ mg/L آلوم به همراه ۰/۰۵ mg/L کیتوسان، به کاهش کدورت تا ۹۶ درصد دست یافت و اگر از ۱۰ mg/L آلوم به همراه ۲۰ mg/L نشاسته استفاده شود، درصد کاهش کدورت به ۸۸ می‌رسد.

در شکل ۳، درصد کاهش کدورت با مصرف آلوم به همراه زیست



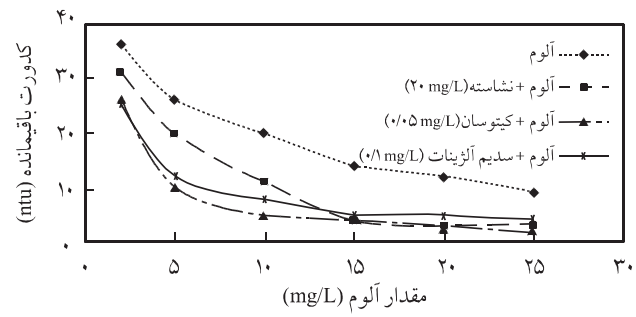
شکل ۱ اثر غلظت آلوم در ترکیب آن با پلیمرهای طبیعی بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۳۰ ntu.



شکل ۲ اثر غلظت آلوم در ترکیب آن با پلیمرهای طبیعی بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۸۰ ntu.

پلیمرها در کدورت ۱۳۰ ntu ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش آلوم تا ۱۴ mg/L، کاهش کدورت آب تا ۸۳ درصد میسر است. در صورتی که با استفاده از ۶ mg/L آلوم به همراه ۰/۰۴ mg/L کیتوسان، کاهش کدورت به ۸۵ درصد می‌رسد و کیفیت آب افزایش می‌یابد. چنانچه از ۱۰ mg/L آلوم به همراه ۵ mg/L نشاسته گندم استفاده شود، دست‌یابی به همین مقدار کدورت میسر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار تزریق کیتوسان در کدورتهای مختلف کمتر از ppm ۱ است در حالی که مقدار نشاسته گندم مورد نیاز با توجه به کدورت آب ۵ الی ۲۰ mg/L است.

دامنه pH بهینه در انجام لخته‌سازی ذرات کلوئیدی، در محیط قلیایی قرار می‌گیرد. بنابراین، در مورد آبهایی که pH کمی دارند باید با افزودن قلیای مناسب (آهک)، pH محیط را بالا برد تا عمل لخته‌بندی بهتر انجام شود. برای تهیه آب آشامیدنی باید کدورت به کمتر از ۵ ntu برسد که در جدول ۲ بر مبنای آزمایشهای انجام شده، مقدار تزریق منعقدکننده و کمک منعقدکننده برای تهیه آب آشامیدنی در کدورتهای مختلف ارائه شده است.



شکل ۳ اثر غلظت آلوم در ترکیب آن با پلیمرهای طبیعی بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۱۳۰ ntu.

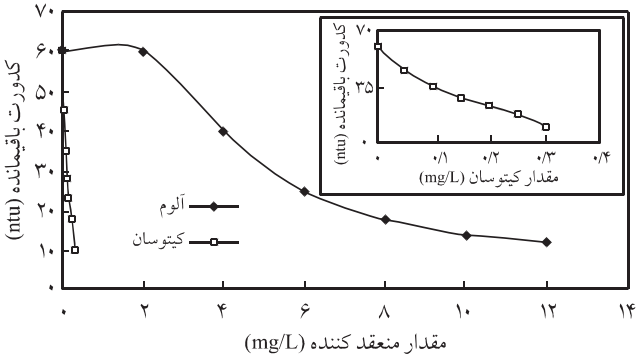
جدول ۲ مقدار تزریق منعقد کننده و کمک منعقد کننده برای تهیه آب آشامیدنی در کدورتهای مختلف.

منعقد کننده و کمک منعقد کننده		کدورت (ntu)		
		۱۸۰-۱۰۰	۱۰۰-۳۰	کمتر از ۳۰
		مقدار تزریق (mg/L)		
آلوم + کیتوسان	آلوم	۱۰-۶	۸-۶	۷-۵
	کیتوسان	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴
آلوم + نشاسته	آلوم	۱۵-۱۲	۸-۶	۱۰-۸
	نشاسته	۲۰	۲۰	۴
آلوم + سدیم آلژینات	آلوم	۱۵	۸	۶
	سدیم آلژینات	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱

در شکل ۴ نتایج آزمایش روی نمونه‌ای با کدورت اولیه ۷۰ntu رسم شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، کیتوسان به عنوان منعقد کننده اولیه نیز استفاده می‌شود و کدورت آب تصفیه شده به مقدار مطلوب کاهش می‌یابد. کیتوسان در کدورتهای خیلی زیاد نیز به‌عنوان منعقدکننده بکار می‌رود.

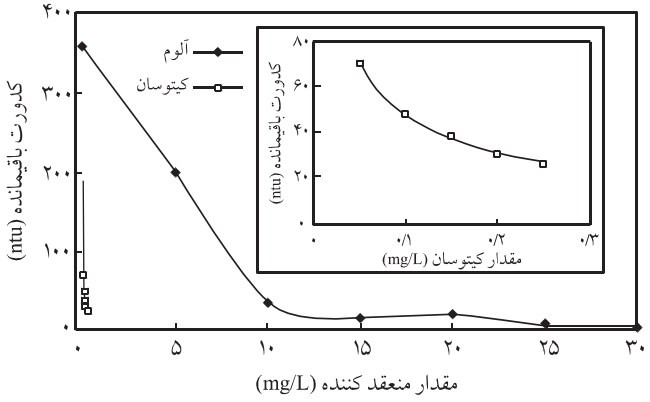
شکلهای ۵ و ۶ نتایج آزمون پیمانه روی نمونه‌ای با کدورت اولیه ۵۰۰ntu را نشان می‌دهند. در شکل ۵، با افزودن ۳۰mg/L آلوم، کدورت آب به ۵ ntu رسیده است در حالی که با مصرف ۲۵ mg/L آلوم و ۰/۰۵ mg/L کیتوسان (شکل ۶) دست‌یابی به این مقدار کدورت مقدور است.

نتایج آزمون پیمانه روی نمونه‌ای با کدورت اولیه ۱۴۰۰ntu در شکلهای ۷ و ۸ رسم شده است. در شکل ۹ عملکرد کیتوسان با آلوم به عنوان منعقدکننده مقایسه شده است. در این حالت با افزایش آلوم به

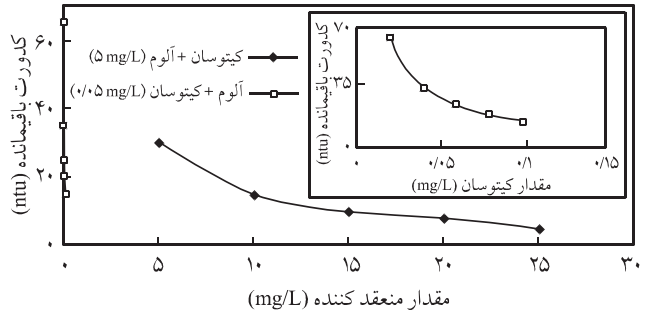


شکل ۴ مقایسه کارایی آلوم با کیتوسان به عنوان منعقد کننده بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۷۰ ntu.

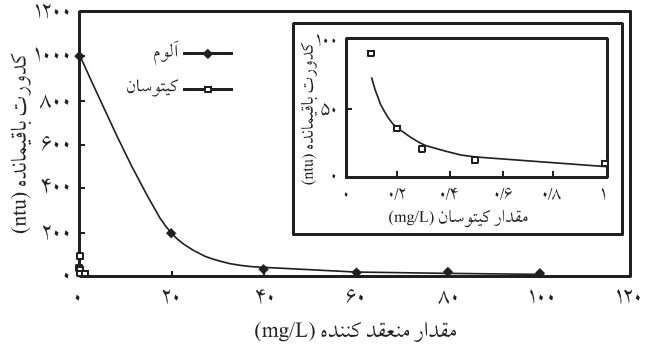
مقدار ۱۰۰mg/L کدورت باقیمانده به ۱۰ntu می‌رسد. در شکل ۱۰ اثر کیتوسان به عنوان کمک منعقد کننده بررسی شده است که با استفاده از ۲۵ mg/L آلوم به همراه ۰/۰۵ mg/L کیتوسان، کاهش کدورت تا همین مقدار (۱۰ ntu) میسر است.



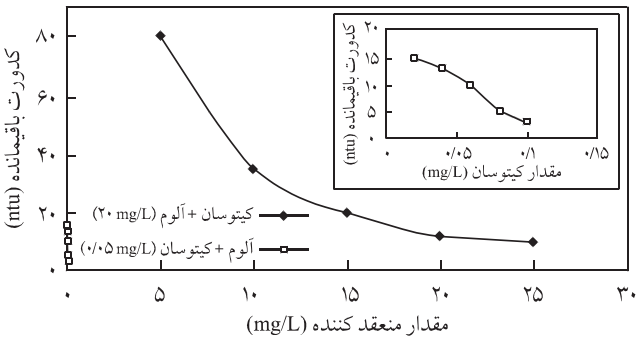
شکل ۵ مقایسه کارایی آلوم با کیتوسان به عنوان منعقد کننده بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۵۰۰ ntu.



شکل ۶ اثر آلوم و کیتوسان به عنوان منعقد کننده بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۵۰۰ ntu.



شکل ۷ اثر غلظت آلوم و کیتوسان بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۱۴۰۰ ntu.



شکل ۸ اثر غلظت آلوم و کیتوسان به عنوان منعقد کننده بر کاهش کدورت آب با کدورت اولیه ۱۴۰۰ ntu.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کارایی پلی‌الکترولیتهای طبیعی (کیتوسان، نشاسته و سدیم آلژینات) برای تصفیه آب و پساب ارزیابی شد. برای کاهش کدورت آب، کیتوسان بهتر از نشاسته و سدیم آلژینات عمل می‌کند و دامنه عملیاتی آن گسترده‌تر است.

از کیتوسان می‌توان به عنوان منعقدکننده اولیه نیزاستفاده کرد. مقدار تزریق کیتوسان برای تهیه آب آشامیدنی (کاهش کدورت تا کمتر از ۵ntu)، در سه کدورت (زیاد، متوسط و کم) کمتر از ۱ppm است. برای افزایش عملیات لخته سازی با استفاده از کیتوسان محیط قلیایی متوسط، مناسب است ودر حالتی که pH آب کم است می‌توان از آهک استفاده کرد.

هنگام استفاده از نشاسته برای انجام لخته سازی مؤثر، نیاز به محیطی با قدرت بازی کم است و مقدار تزریق نشاسته برحسب میزان کدورت اولیه آب متفاوت است ولی مقدار آن خیلی بیشتر از کیتوسان است.

سدیم آلژینات (آنیونی) و نشاسته (بدون بار) از راه سازوکار پل زدن موجب انعقاد ذرات کلوئیدی می‌شوند در صورتی که کیتوسان پلی‌الکترولیت کاتیونی است که به روش سازوکار پل‌زدن و خنثی‌سازی بار، موجب انعقاد و لخته سازی ذرات کلوئیدی می‌شود و چون دارای وزن مولکولی زیادی است استحکام و حجم ذرات تجمع یافته هنگام استفاده از آن بزرگتر و مستحکمتر از حالتی است که از نشاسته و یا سدیم آلژینات به عنوان کمک منعقدکننده استفاده می‌شود. بنابراین، با مصرف کیتوسان عملیات ته‌نشینی وصاف کردن بهتر انجام می‌گیرد. با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از زیست پلیمرها به ویژه کیتوسان برای تصفیه آب و پساب توصیه می‌شود.

مراجع

1. Monod J. and Brault J.L. *Water Treatment Handbook,* 6th ed., **1**, Degremont, France, 131-145, 1991.
2. Polasek P., Cationic Polymers in Water Treatment, *Water SA,* **28**, 69-82, 2002.
3. Letterman R.D. and Pero R.W., Contaminates in Polyelectrolytes Used in Water Treatment, *J. AWWA,* **82**, 87-97, 1990.
4. Tripathy S. and Kumar J., *Handbook of Polyelectrolytes and their Applications,* 1st ed., American Scientific, California, 675-715, 2002.
5. Selaphathy P. and Reddy M.J., Effect of Polyelectrolytes on Turbidity Removal, *Water Supply,* **10**, 175-178,1992.
6. Majeti N.V. and Kumar R., A Review of Chitin and Chitosan Applications, *React. Funct. Polym.,* **46**, 1-27, 2000.
7. Hejazi R. and Amiji M, Chitosan Based Gastrointestinal Delivery Systems, *J. Controlled. Release,* **89**, 151-165, 2003.
8. Senel S. and McClure S., Potential Applications of Chitosan in Veterinary Medicine, *Adv. Drug Deliver. Rev.,* **56**, 1467-1480, 2004.
9. Schnürch B.A., Hornof M. and Guggi D., Thiolated Chitosans, *Eur. J. Pharm. Biopharm.,* 57, 9-17, 2004.
10. Struszczyk M.H., Chitin and Chitosan Part II.Applications of Chitosan, *Polymer,* **47**, 396-403, 2002.
11. Kawamura S., Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment, *J. AWWA,* **83**, 88-91, 1991.
12. Roussy J., Vooren M. and Guibal E., Chitosan for the Coagulation and Flocculation of Mineral Colloids, *J. Disper. Sci. Technol.,* **25**, 663-677, 2004.
13. Greenberg A.E. and Clesceri L.S., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, *APHA, AWWA and WEF,* USA, 2130 Turbidity 2002.