

حذف کدورت از آب خام با استفاده از کیتوزان به عنوان منعقد کننده

در فرایند انعقاد الکتریکی توسط الکتروآلومینیوم

دکتر عبدالمطلب صید محمدی^۱، دکتر قربان عسگری^۱، سیده اعظم مبارکیان^۲، فاطمه طاهرخانی^{۲*}

۱- دانشیار، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: آب‌های سطحی یکی از منابع اصلی تامین آب در جوامع مختلف هستند. برای استفاده از این منابع آبی لزوم تصفیه متداول این منابع امری ضروریست؛ اما در فصول پر باران و طغیانی کدورت افزایش یافته که موجب کاهش کارایی واحدهای تصفیه‌خانه می‌گردد. این مطالعه به منظور تعیین کارایی حذف کدورت از آب خام با استفاده از کیتوزان به عنوان منعقد کننده در فرایند انعقاد الکتریکی توسط الکتروآلومینیوم انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی - تحلیلی یک راکتور انعقاد الکتریکی در مقیاس آزمایشگاهی با حجم تقریبی شش لیتر از جنس پلکسی‌گلاس مجهز به ۴ الکتروود از جنس آلومینیوم به ابعاد ۲۰۰ × ۲۰۱ × ۲۱ میلی متر به فاصله ۶ سانتی‌متر از هم به صورت شناور در راکتور مورد استفاده قرار گرفت. اثر پارامترهای بهره‌برداری از جمله pH محیط (۹-۵)، ولتاژ جریان (۳۰-۱۰ ولت)، کدورت اولیه (۶۰۰-۱۰۰ NTU)، غلظت اولیه کیتوزان (۲-۰/۵ mg/L) و زمان تماس (۳۰-۵ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بیشترین کارایی حذف کدورت در فرایند انعقاد الکتریکی و بدون افزودن کیتوزان در pH بهینه ۷، شدت جریان ۳۰ ولت، کدورت اولیه ۱۰۰ NTU و زمان تماس ۳۰ دقیقه به میزان ۸۷ درصد مشاهده شد. در حالیکه با افزودن ۱/۵ میلی‌گرم کیتوزان در لیتر در شرایط مشابه کارایی حذف کدورت به ۱۰۰ درصد رسید.

نتیجه‌گیری: استفاده از انعقاد الکتریکی با الکتروود آلومینیوم به همراه کمک منعقد کننده کیتوزان میزان حذف کدورت را نسبت به فرایند انعقاد الکتریکی بدون کمک منعقد کننده افزایش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آب سطحی، تصفیه آب، کدورت، انعقاد الکتریکی، کیتوزان

* نویسنده مسؤول: فاطمه طاهرخانی، پست الکترونیکی fatemeh.taherkhani@yahoo.com

نشانی: همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکده بهداشت، تلفن ۰۸۱-۳۸۳۸۰۰۹۰، شماره ۳۸۳۸۰۵۰۹

وصول مقاله: ۹۳/۴/۱۰، اصلاح نهایی: ۹۳/۹/۲۳، پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۲۶

مقدمه

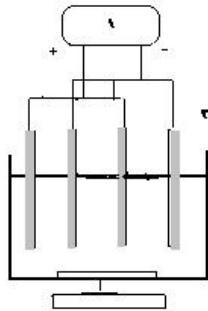
۱۲۰۰ NTU نیز می‌رسد (۱). این در حالی است که طراحی عموم تصفیه‌خانه‌های آب برای مقادیر کدورت کم و معین انجام شده و در صورت مواجهه با کدورت‌های فصلی در آب ورودی به تصفیه‌خانه کارایی واحدهای مختلف تصفیه‌خانه کاهش محسوسی می‌یابند (۲). در چنین شرایطی لزوم استفاده از روش‌های پیش تصفیه از جمله کاربرد حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه بلافاصله بعد از آبگیر و صافی‌های شنی درشت دانه توسط محققین برای به حداقل رسیدن مقدار کدورت آب پیشنهاد شده است که علی‌رغم مشکلات فراوان بهره‌برداری و نگهداری و بالا بودن هزینه ساخت تجهیزات در مواردی استفاده از آنها مشاهده شده است (۳). در دهه‌های اخیر کاربرد فناوری انعقاد الکتریکی به منظور حذف آلاینده‌های مختلف

در سالیان اخیر به علت رشد جمعیت و افزایش ارتقاء سطح زندگی و به تبع آن افزایش تقاضای مصرف آب، علاوه بر استفاده از آب‌های زیرزمینی، نیازمند استفاده از آب‌های سطحی هستیم. یکی از آلاینده‌های موجود در آب‌های سطحی، مواد کلوئیدی است که عامل ایجاد کدورت در آب به شمار می‌آیند. اصلی‌ترین وظیفه فرایند تصفیه متداول ناپایدارسازی این ذرات پایدار از طریق کاربرد مواد منعقد کننده است. مقدار کدورت در آب‌های سطحی بسته به عوامل مختلف متفاوت است. حتی در یک منبع مشخص نیز میزان کدورت آب در فصول مختلف کاملاً متفاوت بوده و در فصول طغیانی به نحو چشمگیری افزایش یافته و در مواردی به

کلوئیدی و باکتری‌ها با استفاده از آلوم توأم با کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا بررسی شد. نتایج نشان داد استفاده از این کمکمنعقدکننده‌ها بدون فیلتراسیون، کدورت آب را تا زیر ۵NTU کاهش می‌دهد و کاربرد کیتوزان میزان استفاده از آلوم را به نحو چشمگیری می‌کاهد (۱۱). این مطالعه به منظور تعیین کارایی حذف کدورت از آب خام با استفاده از کیتوزان به عنوان منعقدکننده در فرایند انعقاد الکتریکی توسط الکتروآلومینیوم انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه توصیفی - تحلیلی در یک راکتور با جریان منقطع در آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان طی دو مرحله مجزا به انجام رسید. پایلوت موردنظر (شکل یک) از جنس پلکسی گلاس مجهز به ۴ الکتروآلومینیوم هریک به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی متر به فاصله ۶ سانتی متر از هم به صورت شناور در راکتور بود.



شکل ۱: تصویر شماتیک واحد انعقاد الکتریکی
۱: منبع انرژی، ۲: الکتروآلومینیوم

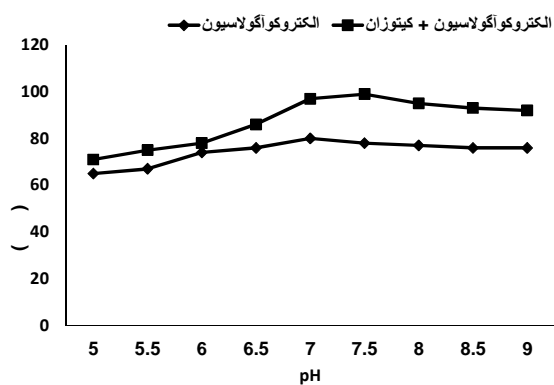
الکترودها به صورت دو به دو (آلومینیوم-آلومینیوم) به صورت تک قطبی به مولد جریان الکتریسیته از نوع DC متصل شدند. به نحوی که دو الکتروآلومینیوم کاتد و دو الکتروآلومینیوم آنود بودند. دستگاه مولد انرژی قابلیت تولید جریان الکتریسیته در مقادیر استفاده در جریان‌های ۳۰-۱۰ ولت را دارا بودند. نمونه آب مورد مطالعه، آب آشامیدنی شهر همدان بود که با استفاده از بنتونیت کدورت‌های مورد نظر در آن تامین شد. به منظور تعیین اثر فرآیند حذف کدورت در مقادیر ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ NTU آزمایشات در دو مرحله و با استفاده از فناوری الکتروکواگولاسیون و الکتروکواگولاسیون توأم با کمک منعقدکننده کیتوزان با استفاده از الکتروآلومینیوم انجام گردید.

برای تهیه کدورت ابتدا بنتونیت را با استفاده از الک با مش ۱۰۰ دانه‌بندی نمودیم. سپس ۱۰۰ گرم از آن را در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر کاملاً مخلوط نمودیم. پس از ۲۴ ساعت نگهداری در محل ثابت از سوپرناتانت آن به عنوان منبع کدورت استفاده شد.

از جمله فلوراید، روغن، فلزات سنگین و سختی در آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است. مکانیسم اصلی حذف آلاینده‌ها در فرآیند انعقاد الکتریکی مشابه واکنش‌های متعارف در فرآیند انعقاد شیمیایی عموماً با نمک‌های آلومینیم و آهن است و تنها تفاوت در نحوه آزاد شدن یون نمک است (۴). طی فرآیند انعقاد شیمیایی الکترودهای آهن و آلومینیوم تجزیه شده و عوامل منعقدکننده و هیدروکسیدهای فلزی که می‌توانند سبب تجمع و تشکیل لخته‌های ناشی از مواد معلق یا مواد محلول در آب باشند را تولید می‌کنند (۵). محصولات اصلی واکنش‌های کاتدی گاز هیدروژن و یون هیدروکسیل و محصولات اصلی واکنش‌های آندیک یون آلومینیوم است. یون‌های هیدروکسیل تولید شده طی احیا آب در کاتد در واکنش با یون‌های آلومینیوم تولیدی در آنود، تولید سوسپانسیون ژلاتینی هیدروکسید آلومینیوم می‌کنند که باعث به دام انداختن ذرات کلوئیدی می‌شود (۶). از جمله مزایای این روش می‌توان به ساده بودن تجهیزات مورد نیاز، سرعت بالا و زمان ماندگاری کوتاه برای حذف آلاینده‌ها، راهبری و نگهداری آسان، بهره‌برداری کاملاً خودکار و پیوسته، هزینه پایین بهره‌برداری، عدم نیاز به افزودن مواد شیمیایی یا نیاز کم به مصرف مواد شیمیایی، حجم کم لجن تولیدی، عدم نیاز به کنترل pH مگر برای مقادیر اضافی، کاهش تعداد واحدهای فرآیندهای تصفیه‌خانه و در نتیجه کاهش شدید سطح زمین مورد نیاز اشاره نمود (۷و۸). در مطالعات مختلف کاربرد فرآیند انعقاد شیمیایی علی‌الخصوص به منظور حذف کدورت مورد توجه قرار گرفته است. از جمله در مطالعه Sadeddin و همکاران اثر فرآیند انعقاد الکتریکی به منظور بهبود کیفیت آب تغذیه کننده سیستم‌های اسمز معکوس در حذف کدورت و مواد معلق مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حکایت از بالابودن کارایی این فرآیند داشت (۹).

استفاده از مواد پلیمری در فرآیند انعقاد شیمیایی به منظور افزایش کارایی حذف آلاینده‌های مختلف از جمله کدورت در آب همواره مورد توجه محققین قرار گرفته است. بدین منظور مواد پلیمری با پایه شیمیایی و بیولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پلیمرها باعث ایجاد پل‌های اتصال بین ذرات ناپایدار گردیده و عملیات ناپایدارسازی را از طریق جذب در سطح ذره کلوئیدی انجام می‌دهند و باعث ته‌نشینی بهتر ذرات می‌شوند (۱۰). مشکلات بهداشتی به دلیل استفاده از پلیمرهای با پایه شیمیایی محققین را به سمت استفاده از بیوپلیمرها از جمله کیتین و کیتوزان سوق داده است. در این میان کیتوزان یک پلی‌الکترولیت کاتیونی مشتق شده از کیتین است که به منظور حذف آلاینده‌های مختلف در آب و فاضلاب به تنهایی و به عنوان کمک منعقدکننده مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله در مطالعه مهدی‌نژاد و همکاران حذف ذرات

نمودار یک آمده است. بر این اساس در فرآیند انعقاد الکتریکی بالاترین کارایی حذف کدورت در pH معادل ۷ (۸۰ درصد) حاصل گردید و پس از آن با افزایش یا کاهش pH میزان حذف کدورت کاهش یافت و طی زمان ۳۰ دقیقه از انجام فرآیند در pH های ۵ و ۹ به ترتیب به مقدار ۶۵ درصد و ۷۶ درصد رسید. نتایج تقریباً مشابهی در فرآیند انعقاد الکتریکی با کمک منعقد کننده کیتوزان در شرایط مشابه بهره‌برداری و با دوز کیتوزان ۱/۵ mg/L به دست آمد. نتایج حاکی از آنست که بالاترین مقدار حذف کدورت در این شرایط در pH معادل ۷/۵ (۹۹ درصد) است. هرچند با افزایش و کاهش آن میزان حذف کدورت کاهش و به مقادیر ۷۱ درصد و ۹۲ درصد به ترتیب در pH های ۵ و ۹ رسید. در هر دو فرآیند اختلاف معنی‌داری بین تغییرات pH و میزان حذف کدورت مشاهده شده است ($r=0/72$, $r=0/82$, $P<0/05$).



نمودار ۱: اثر pH بر میزان حذف کدورت در فرایند انعقاد الکتریکی با و بدون کیتوزان
زمان ۳۰ دقیقه، ولتاژ ۳۰ ولت و کدورت ۲۰۰ NTU

اثر تغییرات دوز کیتوزان در حذف کدورت

اثر تغییرات مقادیر مختلف کیتوزان در حذف کدورت در فرآیند انعقاد الکتریکی در نمودار ۲ نشان داده شده است. در غلظت اولیه ۲۰۰ NTU، ولتاژ ۳۰ ولت و pH بهینه مقادیر متفاوت کیتوزان در دامنه ۲-۵ میلی گرم بر لیتر بررسی شد. غلظت کیتوزان بر انجام فرآیند اثر گذار بود. با افزایش دوز کیتوزان از ۰/۵ تا ۱/۵ میلی گرم بر لیتر، راندمان حذف کدورت روندی افزایشی نشان داد و در مدت زمان ۳۰ دقیقه از ۸۶ درصد به ۹۹ درصد رسید. همچنین با افزایش غلظت کیتوزان به مقدار بیش از ۱/۵ mg/L راندمان حذف مجدداً کاهش یافت و به کمتر از ۹۴ درصد در غلظت ۲ mg/L رسید. بین غلظت کیتوزان و میزان حذف کدورت در فرآیند توأم انعقاد شیمیایی و کیتوزان ارتباط آماری معنی‌داری وجود داشت ($F=5/9$, $P<0/05$).

برای تهیه محلول کیتوزان ۱۰۰ میلی گرم از پودر کیتوزان با درجه دی استیلیشن ۸۵ درصد را در بشر ریخته و سپس ۱۰ میلی لیتر از اسید کلریدریک ۰/۱ مولار بر روی آن ریخته شد تا حل گردد و تا یک ساعت در این حالت باقی گذاشته شد. سپس محلول به دست آمده با مقداری آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. بدین ترتیب هر یک میلی لیتر از این محلول حاوی یک میلی گرم کیتوزان بود (۱۱). همه مواد مورد نیاز از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

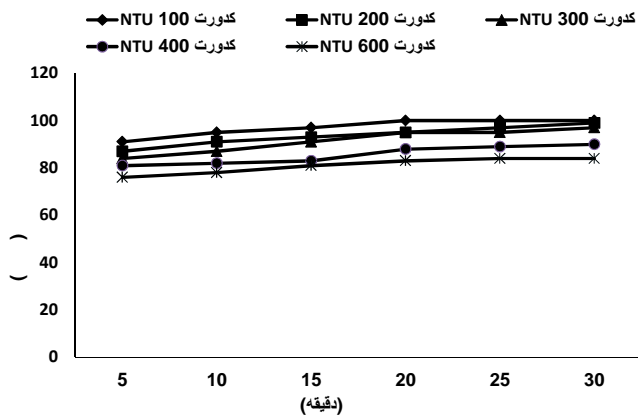
برای انجام آزمایشات مراحل به صورت زیر انجام گردید. فرآیند انعقاد الکتریکی (مرحله اول): ابتدا نمونه آب ورودی به راکتور با حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر در pH بین ۵ تا ۹ با افزودن اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال و سود امولار تنظیم گردید و با کدورت ثابت ۲۰۰ NTU تحت تاثیر جریان ۳۰ ولت قرار گرفت. نمونه برداری بعد از گذشت زمان واکنش (۵ تا ۳۰ دقیقه) انجام شد و سپس به نمونه برداشت شده به مدت ۱۵ دقیقه اجازه داده شد تا فلاک‌های ایجاد شده ته‌نشین گردد و در نهایت مقدار کدورت نمونه‌ها با دستگاه کدورت‌سنج قرائت گردید. نمونه برداری از مایع رویی نمونه صورت گرفت. در ادامه برای تعیین ولتاژ بهینه، با حفظ pH بهینه به دست آمده از مرحله قبل و در کدورت ثابت ۲۰۰ NTU جریان‌های ۱۰ تا ۳۰ ولت مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت شرایط بهینه بهره‌برداری کارایی فرآیند با تغییر مقادیر اولیه کدورت از ۱۰۰ تا ۶۰۰ NTU مورد آزمایش قرار گرفت. معیار انتخاب جریان بهینه و کدورت موثر در این مراحل از بررسی باقیمانده کدورت با نمونه برداری در زمان‌های مختلف و اندازه‌گیری با استفاده از کدورت‌سنج ساخت شرکت HACH2100 امریکا بود.

فرآیند انعقاد الکتریکی به همراه کمک منعقد کننده کیتوزان (مرحله دوم): پس از تعیین میزان بهینه شدت جریان کارایی فرآیند در حذف کدورت با تغییر مقادیر pH در دامنه ۵ تا ۹ کدورت ثابت ۲۰۰ NTU و افزودن کیتوزان به مقدار ۱/۵ mg/L به عنوان کمک منعقد کننده مشخص شد. در ادامه به منظور تعیین دوز بهینه ماده کمک منعقد کننده در شرایط pH و شدت جریان بهینه مقادیر ۰/۵ تا ۲ میلی گرم در لیتر در مراحل مختلف به راکتور اضافه شد و میزان حذف کدورت بررسی شد. در نهایت اثر فرآیند در شرایط بهینه بهره‌برداری در حذف مقادیر متفاوت کدورت از ۱۰۰ تا ۶۰۰ NTU تعیین شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-16 و آزمون‌های t-student و ANOVA با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها

اثر pH محیط در حذف کدورت

نتایج حاصل از اثر تغییرات pH محیط بر میزان حذف کدورت در فرآیندهای انعقاد الکتریکی و انعقاد الکتریکی با کیتوزان در



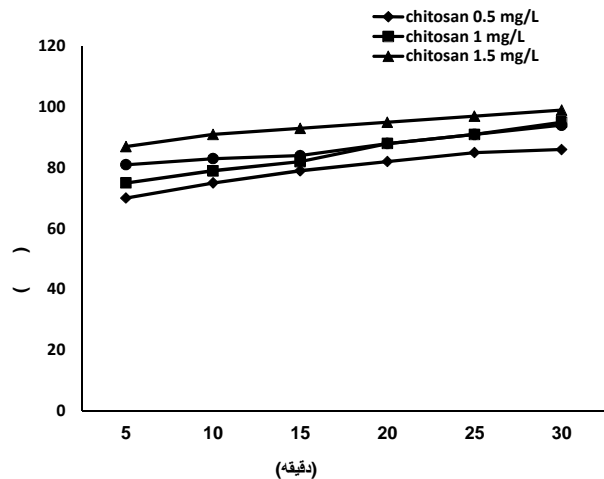
نمودار ۵: اثر کدورت اولیه بر میزان حذف کدورت در فرایند انعقاد الکتریکی با کیتوزان در زمان‌های مختلف در شرایط بهینه بهره‌بردار

اثر تغییرات ولتاژ جریان

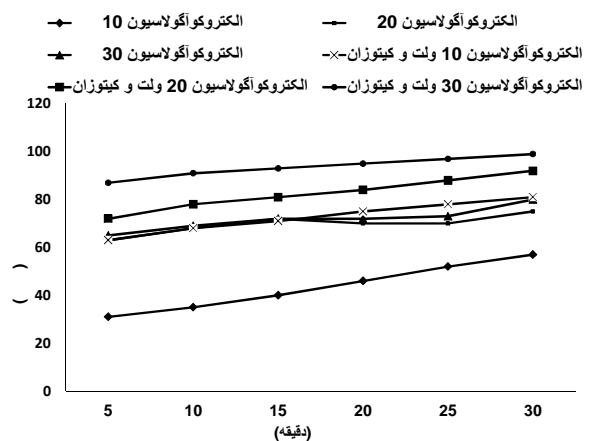
نتایج حاصل از اثر تغییرات شدت جریان ولتاژ (۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت) در حذف کدورت در فرآیندهای انعقاد الکتریکی و انعقاد الکتریکی با کیتوزان در غلظت اولیه کدورت ۲۰۰ NTU و pH بهینه در نمودار ۳ نشان داده شده است. در فرآیند انعقاد الکتریکی همزمان با افزایش ولتاژ جریان و زمان واکنش راندمان حذف کدورت افزایش یافت. به نحوی که با افزایش ولتاژ از ۱۰ به ۳۰ ولت، در زمان ۳۰ دقیقه‌ای راندمان حذف از ۵۷ درصد به ۸۰ درصد افزایش یافت. اختلاف معنی‌داری بین میزان حذف کدورت و تغییرات ولتاژ جریان مشاهده شد ($F=31/7, P<0/001$). در شرایط مشابه، نتایج حاصل از فرآیند انعقاد الکتریکی به همراه کیتوزان نیز افزایش میزان کدورت را از ۸۱ درصد به ۹۹ درصد با افزایش ولتاژ جریان از ۱۰ ولت به ۳۰ نشان داد. در فرآیند انعقاد الکتریکی به همراه کیتوزان مشابه فرآیند قبل، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین تغییرات ولتاژ جریان و میزان حذف کدورت مشاهده شد ($F=17/5, P<0/001$).

اثر تغییرات غلظت اولیه کدورت بر حذف کدورت

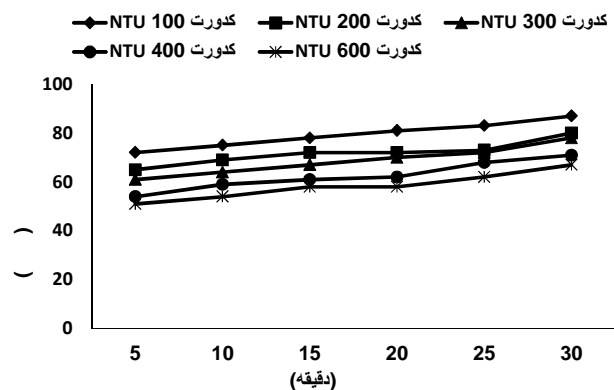
اثر تغییرات غلظت اولیه کدورت (۱۰۰ تا ۶۰۰ NTU) بر حذف کدورت در فرآیندهای انعقاد الکتریکی و انعقاد الکتریکی با کیتوزان در شرایط بهینه بهره‌بردار در نمودارهای ۴ و ۵ آمده است. در هر دو فرآیند مذکور با افزایش غلظت اولیه کدورت، راندمان حذف کاهش یافت. در فرآیند انعقاد الکتریکی (نمودار ۴) در غلظت‌های اولیه ۱۰۰ و ۶۰۰ و در شرایط بهینه بهره‌بردار راندمان حذف کدورت به ترتیب ۸۷ درصد و ۶۷ درصد به دست آمد. از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین میزان حذف کدورت و غلظت اولیه کدورت مشاهده شد ($F=12/43, P<0/001$). در فرآیند انعقاد الکتریکی با کیتوزان (نمودار ۵) در غلظت‌های اولیه ۱۰۰ و ۶۰۰ راندمان حذف کدورت به ترتیب به مقادیر



نمودار ۲: اثر مقدار کیتوزان بر میزان حذف کدورت در فرآیند انعقاد الکتریکی در زمان‌های مختلف ولتاژ ۳۰ ولت، کدورت ۲۰۰ NTU، pH بهینه، و ولتاژ ۳۰ ولت



نمودار ۳: اثر ولتاژ جریان بر میزان حذف کدورت در فرایند انعقاد الکتریکی با و بدون کیتوزان در زمان‌های مختلف pH بهینه، کدورت اولیه ۲۰۰ NTU، کیتوزان: ۱/۵ mg/L



نمودار ۴: اثر کدورت اولیه بر میزان حذف کدورت در فرایند انعقاد الکتریکی در زمان‌های مختلف pH و ولتاژ بهینه

۱۰۰ درصد و ۸۴ درصد رسید. نتایج آنالیز آماری استفاده از کیتوزان به عنوان کمک منعقد کننده در فرآیند انعقاد نیز بیانگر وجود اختلاف معنی دار بین غلظت کدورت ورودی و حذف آن بود ($F=14/82, P<0/001$).

بحث

pH محیط یکی از عوامل کلیدی و موثر در واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی است (۱۲). نتایج مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد اثر pH اولیه محیط بسته به نوع فرآیند مورد استفاده و نوع آلاینده بسیار متفاوت است. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن است که تغییرات pH محیط در حذف کدورت در هر دو فرآیند اثر گذار بوده است. به طوری که بالاترین مقدار حذف کدورت در pH خنثی مشاهده شد. علت اثر pH در تشکیل انواع مختلف هیدروکسیدهای فلزی است. در چنین شرایطی و در محیط اسیدی با pH پایین و در حدود ۳-۲ گونه‌های مونومر کاتیونی Al^{3+} و $Al(OH)^{2+}$ غالب است و هنگامی که pH بالاتر از ۱۰ باشد؛ غلظت یون‌های $Al(OH)^{4-}$ مونومری در مقایسه با $Al(OH)_3$ افزایش می‌یابد. علاوه بر این ممکن است کاتد به‌طور شیمیایی توسط یون‌های OH^- به همراه H_2 در مقادیر pH بالا مورد حمله قرار گیرد و طی واکنش زیر:



تشکیل یون‌های $Al(OH)_4^-$ می‌دهند که جایگزین عامل اصلی انعقاد یعنی $Al(OH)_3$ شده است. در هر دو مورد قدرت تشکیل فلوک آنها از $Al(OH)_3$ کمتر است؛ ولی هنگامی که pH بین ۹-۴ است؛ یون‌های Al^{3+} و OH^- به‌وسیله واکنش‌ها از گونه‌های مختلف مونومری از قبیل $Al(OH)^{2+}$ و $Al(OH)^{22+}$ و گونه‌های پلیمری از قبیل $Al_6(OH)^{153+}$ ، $Al_7(OH)^{174+}$ و $Al_3(OH)^{345+}$ تشکیل می‌شود که نهایتاً از طریق سنتیک‌های پلیمریزاسیون/ته نشینی به $Al(OH)_3$ نامحلول تبدیل می‌شود (۱۳).

نتایج به‌دست آمده از این آزمایشات با نتایج مطالعه Divakaran و Pillai بر روی حذف کائولینت در آب با کیتوزان، مطابقت داشت و pH بهینه به‌دست آمده در استفاده از کیتوزان ۷/۵ بود (۱۴). یکی دیگر از پارامترهای موثر در فرآیندهای الکتروشیمیایی می‌تواند غلظت موثر کمک منعقد کننده (کیتوزان) باشد. هر چند در این زمینه مطالعات چندانی در فرآیند انعقاد الکتریکی و کمک منعقد کننده انجام نشده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش غلظت کمک منعقد کننده و ایجاد شرایط مناسب مکانیسم‌های حذف کدورت، راندمان حذف افزایش می‌یابد. به نحوی که با افزایش دوز کیتوزان از ۰/۵ تا ۱/۵ میلی گرم بر لیتر اندازه فلوک‌ها افزایش یافته و در نتیجه سرعت ته‌نشینی افزایش می‌یابد و کدورت باقیمانده از ۲۸NTU به ۲NTU می‌رسد. با ادامه افزایش دوز کیتوزان از ۱/۵

تا ۲ میلی گرم بر لیتر راندمان حذف مجدداً کاهش و کدورت باقیمانده به ۱۲NTU می‌رسد. این امر نشان‌دهنده پایداری مجدد ذرات در غلظت‌های بالا است (۱۶ و ۱۵). از طرفی با گذشت زمان انجام فرآیند از ۵ به ۳۰ دقیقه راندمان‌های حذف در تمامی مقادیر کیتوزان افزایش یافته است. در مطالعه Pillai و Divakaran روی حذف جامدات معلق رودخانه با استفاده از کیتوزان، در مقادیر کدورت بالا دوز بهینه کیتوزان حاصله ۱/۵ mg/L بود (۱۷).

از سایر پارامترهای اثر گذار در فرآیند الکتروشیمیایی و به خصوص انعقاد الکتریکی ولتاژ ورودی است. بر اساس قانون فارادی مقدار آلومینیوم منحل شده به‌وسیله فرآیند الکتروشیمیایی متناسب با شارژ بارگذاری شده است. به نحوی که با افزایش شدت جریان، میزان جریان عبوری از الکترودها افزایش یافته و حلالیت الکترودهای آند نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه یون آلومینیوم تولید می‌شود که با هیدروکسیدهای تولید شده طی احیا آب در کاتد، هیدروکسیدهای آلومینیوم بیشتری تولید می‌گردد و می‌تواند از طریق کمپلکس‌سازی سطحی و جذب الکترواستاتیک و یا جاروب لخته‌ای ذرات را به دام انداخته و جداسازی آنها از محلول از طریق رسوب‌دهی صورت گیرد (۱۸ و ۱۶). لخته‌های سبک نیز در اتصال به حباب‌های گاز هیدروژن تولیدی در کاتد به سطح پساب آمده و حذف می‌گردند. از اینرو راندمان حذف به مقدار آلومینیوم تولید شده در محلول بستگی دارد. از آنجایی که مقدار آلومینیوم تولیدی نیز به زمان واکنش و ولتاژ بستگی دارد؛ با افزایش یکی از این دو پارامتر، تولید مواد کواگولانت نیز افزایش می‌یابد و حذف آلاینده‌ها کامل می‌شود. راندمان حذف اندک در ولتاژ کم و زمان واکنش اندک، حاکی از عدم تشکیل مقدار کافی رسوبات برای حذف بالا است (۱۹). از طرفی با کاهش میزان اختلاف پتانسیل، زمان مورد نیاز برای دستیابی به راندمان‌های حذف مشابه بایستی افزایش یابد که این امر در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد. راندمان تصفیه تا حدود زیادی تحت تاثیر بارگذاری جریان الکتریسته است (۲۰). در مطالعه Ratna Kumar و همکاران راندمان حذف آرسنیک از آب از طریق فرآیند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آلومینیومی انجام شد. با افزایش ولتاژ، میزان حذف آرسنیک افزایش یافت (۲۱). در مطالعه حاضر اثر غلظت اولیه کدورت بر میزان حذف آن در هر دو فرآیند انعقاد الکتریکی / انعقاد الکتریکی با کیتوزان بیانگر اثرگذاری غلظت اولیه کدورت در میزان حذف آن بود. مهم‌ترین دلایل این اثرگذاری را می‌توان چنین بیان کرد که در فرآیند انعقاد الکتریکی با افزایش مقدار آلاینده به میزان بیشتری از کواگولانت احتیاج است. با توجه به این که غلظت‌های مختلف کدورت در شرایط یکسان محیطی وارد راکتور می‌شوند و از سوی دیگر به دلیل این که در یک ولتاژ ثابت،

NTU ۱۰۰ تا ۶۰۰ در آب ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب با استفاده از فرآیند الکتروکوالاسیون / الکتروکوالاسیون به همراه کیتوزان انجام شد؛ نشان داد با استفاده از کیتوزان می‌توان کدورت را تا حد قابل توجهی حذف کرد. در عین حال کارایی فرآیند الکتروکوالاسیون به همراه کیتوزان در حذف کدورت بیش از الکتروکوالاسیون بود. استفاده از فرآیند انعقاد الکتریکی با الکتروکوالاسیون با استفاده از کیتوزان به خوبی قادر است کدورت آب‌های سطحی را در فصول طغیانی قبل از ورود به تصفیه‌خانه به‌نحو چشمگیری کاهش دهد و می‌تواند به عنوان پیش‌تصفیه در حین مواجهه با کدورت‌های فصلی استفاده شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی (شماره ۹۱۲۳۵۸۷۴۹۶) مصوب معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان و با حمایت مالی آن معاونت به انجام رسید.

References

1. Annadurai G, Sung SS, Lee DJ. Simultaneous removal of turbidity and humic acid from high turbidity stormwater. *Advances in Environmental Research*. 2004; 8(3-4): 713-25. doi:10.1016/S1093-0191(03)00043-1
2. Qasim SR, Motley EM, Zhu G. *Water Works Engineering: Planning, Design And Operation*. 1st. New Delhi: Prentice Hall. 2000; p: 103.
3. Kawwamura S. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. 2nd. New York: John Willy & Sons, Inc. 2000; p: 225.
4. Donini JC, Kan J, Szykarczuk J, Hassan TA, Kar KL. The operating cost of electrocoagulation. *Can J Chem Eng*. 1994; 72(6): 1007-12. doi: 10.1002/cjce.5450720610
5. Koparal AS, Yildiz Y, Keskinler B, Demircioglu N. Effect of initial pH on the removal of humic substances from wastewater by electrocoagulation. *Sep Purif Technol*. 2008; 59(2): 175-82. doi:10.1016/j.seppur.2007.06.004
6. Ahmadi Moghadam M, Amiri H. [Investigation of TOC Removal from Industrial Wastewaters using Electrocoagulation Process]. *Iran J Health Environ*. 2010; 3(2): 185-94. [Article in Persian]
7. Takdastan A, Azimi A, Salari Zh. [The use of electrocoagulation process for removal of turbidity, COD, detergent and phosphorus from carwash effluent]. *Journal of Water and Wastewater*. 2011; 3: 19-25. [Article in Persian]
8. Akhondi A, Khodadadi Darban A, Ganjidoust H. [The effectiveness of electrocoagulation process for the removal of cadmium from water]. *Journal of Water and Wastewater*. 2012; 23(2): 86-93. [Article in Persian]
9. Sadeddin K, Naser A, Firas A. Removal of turbidity and suspended solids by electro-coagulation to improve feed water quality of reverse osmosis plant. *Desalination*. 2011 Mar; 268(1-3):204-7.
10. Banihashemi A, Alavi Moghaddam MR, Maknoon R, Nikazar M. [Lab-scale study of water turbidity removal using aluminum inorganic polymer]. *Journal of Water and Wastewater*. 2008; 19(2): 82-86. [Article in Persian]

مقدار مشخصی ترکیبات هیدروکسید آلومینیوم در محیط تولید می‌شود و این مقدار هیدروکسید آلومینیوم تولیدی قادر به جذب و حذف مقدار مشخصی از کدورت است؛ لذا در صورت افزایش مقدار کدورت، مقدار لخته‌های هیدروکسید آلومینیوم موجود در محیط برای حذف کدورت اضافی کافی نیست. لذا با افزایش غلظت اولیه کدورت راندمان حذف کاهش می‌یابد (۲۲). همچنین با افزایش غلظت اولیه کدورت، مدت زمان لازم برای رسیدن به راندمان یکسان در غلظت‌های مختلف افزایش می‌یابد که منجر به افزایش حجم مخازن و تحمل هزینه‌های اجرایی فرآیند است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه عسگری و همکاران (۲۳) مطابقت داشت. در مطالعه عسگری و همکاران عملکرد فرآیندهای انعقاد الکتریکی و انعقاد الکتریکی / فلوتاسیون در حذف کدورت‌های فصلی با الکتروکوالاسیون و آلومینیوم انجام شد (۲۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه که به منظور حذف کدورت در مقادیر

11. Mehdinejad MH, Bina B, Nikaeen M, Movahedian Attar H. [Effectiveness of Moringa Oleifera coagulant protein and chitosan as natural coagulant aids in removal of colloidal particles and bacteria from turbid waters]. *J Gorgan Uni Med Sci*. 2009;11(3):60-69. [Article in Persian]
12. Bayramoglu M, Kobya M, Can OT, Sozbir M. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*. 2004; 37(2):117-25. doi:10.1016/j.seppur.2003.09.002
13. Merzouk B, Gourich B, Sekki A, Madani K, Chibane M. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation-electroflotation technique A case study. *J Hazard Mater*. 2009 May; 164(1):215-22. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.07.144
14. Divakaran R, Pillai VN. Flocculation of kaolinite suspensions in water by chitosan. *Water Res*. 2001 Nov;35(16):3904-8.
15. Mirzaei A, Takdastan A, Alavi Bakhtiarv N. [Survey of PAC performance for removal of turbidity, COD, coliform bacteria, heterotrophic bacteria from water of Karoon river]. *Iran J Health Environ*. 2011; 4(3): 267-76. [Article in Persian]
16. Banihashemi A, Alavi Moghaddam MR, Maknoon R, Nikazar M. [Lab-scale study of water turbidity removal using aluminum inorganic polymer]. *Journal of Water and Wastewater*. 2008; 19(2): 82-86. [Article in Persian]
17. Divakaran R, Pillai VN. Flocculation of river silt using chitosan. *Water Res*. 2002 May;36(9):2414-8.
18. Ge J, Qu J, Lei P, Liu H. New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. *Sep Purif Technol*. 2004 Apr; 36(1): 33-39.
19. Dalvand A, Jonidi Jafari A, Gholami M, Ameri A, Mahmoodi N. [Treatment of synthetic wastewater containing reactive red 198 by electrocoagulation process]. *Iran J Health Environ*. 2011;4(1): 11-22. [Article in Persian]
20. Murray CA, Parsons SA. Removal of NOM from drinking water: Fenton's and photo-Fenton's processes. *Chemosphere*. 2004; 54(7):1017-23.

21. Ratna Kumar P, Chaudhari S, Khilar KC, Mahajan SP. Removal of arsenic from water by electrocoagulation. *Chemosphere*. 2004 Jun; 55(9):1245-52.
22. Rasoulifard MH, Taheri Qazvini N, Farhangnia E, Heidari A, Doust Mohamadi SMM. [Removal of direct yellow 9 and reactive orange 122 from contaminated water using Chitosan as a polymeric bioadsorbent by adsorption process]. *Journal of Color*

Science and Technology. 2010; 4(1): 17-23. [Article in Persian]

23. Asgari G, Seid-Mohammadi A, Roshanaie G, Sharifi Z, Mehralipur J, Shabanlo A, et al. [Electrocoagulation (EC) and electrocoagulation / flotation (ECF) processes for removing high turbidity from surface water using Al and Fe electrodes]. *Journal of Water and Wastewater*. 2013; 24(2): 62-69. [Article in Persian]

Original Paper

Removal of turbidity in raw water using chitosan in electrocoagulation process using aluminum electrodes

Seid-Mohammadi A (Ph.D)¹, Asgari G (Ph.D)¹
Mobarakian SA (B.Sc)², Taherkhani F (B.Sc)*²

¹Associate Professor, Social Determinants of Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. ²M.Sc Student of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Abstract

Background and Objective: Raw water is one of the main sources of water supply in some communities. Filtration of surface water resources is a challenging point in the rainy seasons due to the highly turbidity. This study was done to evaluate the removal of turbidity in raw water using chitosan in electrocoagulation process using aluminum electrodes.

Methods: In this the descriptive –analytical study, a Plexiglas electrocoagulation reactor in a lab scale to an approximate volume of 6 liter which was equipped with four aluminum electrodes having dimension of 200×20×2 mm was proposed. The effects of operating parameters including pH (5 to 9), applied voltage (10 to 30 V), the initial turbidity (100-600 NTU), initial chitosan concentration (0.5-2 mg/L) and contact time (5 to 30 min) were evaluated.

Results: Turbidity removal efficiency was over 100% (pH=7, applied voltage=30 V and initial turbidity concentration of 100NTU) in the application of electrocoagulation with chitosan but in the application of electrocoagulation without chitosan removed 87% of turbidity in the same condition.

Conclusion: Chitosan as coagulant aid in low amount can increase turbidity removal efficiency rather than application of electrocoagulation alone.

Keywords: Raw water, Water filtration, Turbidity, Electrocoagulation, Chitosan

* **Corresponding Author:** Taherkhani F (B.Sc), E-mail: fatemeh.taherkhani@yahoo.com

Received 1 Jul 2014

Revised 14 Dec 2014

Accepted 17 Dec 2014