

A Comparison of Polyaluminum Silicate Chloride and Electrocoagulation Process to Removing Hardness from Drinking Water

Mohammad Malakootian, Mohammad Reza Heydari

Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

(Received 4 September, 2010 ; Accepted 13 January, 2011)

Abstract

Background and purpose: Hard water causes many problems in domestic and industrial usage. There are various techniques for removal of water hardness each with its own special advantages and disadvantages. The purpose of this study was to compare Polyaluminum Silicate Chloride (PASIC) method and Electrocoagulation (EC) Process in removing hardness from drinking water.

Materials and methods: This study was carried out in coagulant drinking water of Ghouchan (Northeast of Iran) during winter 2009 to spring 2010. Jar test was used to investigate the effects of the hardness, turbidity, pH, residual aluminum on EC and PASIC. The efficacy of each method was analyzed using Covariance and Regression analyses.

Results: The results demonstrate that PASIC coagulation was capable of removing 75% of hardness and 95% of turbidity at optimum concentration of 1-5 (mg/L) in raw water. The EC process was able to remove 97% of hardness and 50% of turbidity. The maximum percentage of hardness was seen at 30 volt, residual time of 60 min and pH=6.5-7.5.

Conclusion: It seems that both methods were efficient and cost-effective in removing hardness and turbidity from surface water and can be used in coagulant drinking water.

Key words: Polyaluminum silicate chloride, electrocoagulation, hardness

J Mazand Univ Med Sci 2011; 21(80): 45-53 (Persian).

مقایسه روش انعقاد با پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته و فرآیند الکتروکواگولاسیون در حذف سختی از آب شرب

محمد ملکوتیان محمدرضا حیدری

چکیده

سابقه و هدف: آب سخت مشکلات زیادی را در مصارف خانگی و صنعتی ایجاد می‌کند. روش‌های متعددی برای حذف سختی آب با مزیت‌ها و معایب خاص خودشان وجود دارد. هدف از این مطالعه مقایسه حذف سختی آب آشامیدنی بوسیله منعقد کننده‌های پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته (PASIC) و الکتروکواگولاسیون (EC) بود.

مواد و روش‌ها: این بررسی در تصفیه خانه آب شهر قوچان (شمال شرقی ایران) اجرا گردید. نمونه برداری از آب شرب در فصول زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ انجام گرفت. آزمایشات سختی، کدورت، pH و آلومینیوم باقیمانده بوسیله منعقد کننده‌های پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته (PASIC) و الکتروکواگولاسیون (EC) مورد بررسی قرار گرفت و کارآیی هر یک از روش‌ها با استفاده از آنالیز کوواریانس و رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج بدست آمده نشان داد که منعقد کننده PASIC قادر به حذف ۷۵ درصد حذف سختی کل و ۷۰ درصد حذف سختی کلسیمی، ۹۵ درصد کدورت آب خام ورودی در دوزهای بهینه ۱ تا ۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد. فرآیند الکتروکواگولاسیون نیز قادر به حذف به ترتیب ۹۷ و ۹۵ درصد سختی کل و کلسیمی و ۵۰ درصد کدورت می‌باشد به گونه‌ای که بیشترین درصد سختی در ولتاژ ۳۰ ولت و زمان ماند ۶۰ دقیقه و pH ۶/۵ تا ۷/۵ مشاهده گردید.

استنتاج: به نظر می‌رسد که هر دو فرآیند به لحاظ هزینه و کارایی در حذف سختی و کدورت بسیار مناسب بودند و می‌توانند در تصفیه خانه‌های آب شرب استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته، الکتروکواگولاسیون، سختی

مقدمه

ضرورت می‌یابد (۵). روش‌های مختلفی برای سختی‌زدایی وجود دارد. از جمله استفاده از مواد شیمیایی و کاربرد رزین‌های تبادل یونی (۴-۶، ۷). کاربرد هر یک از این روش‌ها، اثرات نامطلوب جنبی بر کیفیت آب مصرفی دارد. در فرآیند تبادل یون غلظت سدیم آب افزایش می‌یابد که برای بیماران قلبی و مبتلا به فشارخون که از رژیم

آب سخت دشواری‌هایی زیادی برای صنعت و زندگی به وجود می‌آورد. به جز کلسیم و منیزیم، آهن، منگنز، استرانسیم و برخی فلزات دیگر نیز می‌توانند باعث سختی آب شوند. اما چون در مقایسه با کلسیم و منیزیم مقادیر کمتری را شامل می‌شوند قابل چشم‌پوشی است (۴-۱). با توجه به این دشواری‌ها، حذف سختی آب

E-mail: m.malakootian@yahoo.com

مؤلف مسئول: محمد ملکوتیان - کرمان: دانشگاه علوم پزشکی کرمان، دانشکده بهداشت گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۸۹/۹/۷ تاریخ تصویب: ۸۹/۱۰/۲۴

محدود سدیم استفاده می کنند، مضر می باشد. از مبادله کننده های یونی به آسانی نمی توان برای سبک کردن آب در تصفیه خانه های بزرگ استفاده نمود (۸). استفاده از آهک به عنوان نرم کننده خود سبب افزایش میزان سختی دائم آب می شود. از طرفی مقدار زیاد لجن تولیدی سبب گرفتگی و کثیف شدن صافی ها و سیستم های توزیع آب می گردد. طرز کار با دستگاه های مذکور به مهارت زیاد و اضافه نمودن مقادیر مشخص و تعیین شده ای از آهک، کربنات سدیم و ... به سیستم دارد (۹، ۱۰). در فرآیند آهک زنی، مواد منعقد کننده ای مثل آلوم، کلراید آهن و ... استفاده میشود تا ذرات نامحلول سنگین شده و در نتیجه سرعت ته نشینی افزایش یابد (۱۱). این امر علاوه بر هزینه های اقتصادی، اثرات نامطلوب بهداشتی مثل افزایش احتمال ایجاد بیماری آلزایمر را نیز به دنبال خواهد داشت. از طرفی استفاده از آهک خود نیز باعث افزایش pH آب می شود. برای تاثیر بهتر کلردر مرحله گندزدایی، بایستی pH آب بعد از حذف سختی به زیر ۷/۸ تقلیل یابد. این امر خود نیاز به مصرف اسید را افزایش می دهد (۲، ۵). استفاده از مواد منعقد کننده علاوه بر افزایش میزان لجن، جامدات پساب را نیز افزایش می دهند (۱۲). از فرآیند جذب نیز برای حذف سختی استفاده می شود. این فرآیند به علت از بین رفتن جاذب در طی آن و لزوم شستشوی معکوس کمتر مورد توجه است (۶، ۱۳). استفاده از غشاهای نیز باعث ایجاد رسوب و کثیف شدن مکرر غشاهای می گردد (۲، ۳، ۱۴).

برای بهبود اثر انعقاد، با پلیمریزه کردن آلومینیوم سه ظرفیتی تحت شرایط خاصی، پلی آلومینیوم کلراید (PAC) و سیلیکای فعال با یکدیگر ترکیب شده و تولید ماده منعقد کننده جدیدی به نام پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته می نماید (۱۵). پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته در زمره نسل نوینی از منعقد کننده های غیر آلی می باشد (۱۵، ۱۶). این ماده نسبت به PAC توانایی بیشتری در حذف کدورت، رنگ و تشکیل ذرات با اندازه

بزرگتری دارد. Gao و همکارانش در سال ۲۰۰۷ در چین توانستند بوسیله پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته شده (PASIC) در شرایط آزمایشگاهی به حذف قابل توجهی از جلبک، روغن و COD و TP دست یابند (۱۷). الکتروکواگولاسیون یک روش موثر و سریع در تصفیه املاح محلول در آب است که عامل منعقد کننده با مکانیسم تعویض یونی بوسیله صفحه آند صورت می گیرد (۱۸، ۱۹). در این فرآیند هیچ گونه ماده شیمیایی منعقد کننده به آب افزوده نمی شود. حجم لجن تولیدی نسبت به اکثر روش های متداول تصفیه آب کمتر است. لجن تشکیل شده از این روش براحتی قابل حذف بوسیله تخلیه می باشد (۲۰). در فرآیند مذکور از صفحه های آلومینیومی و آهنی استفاده می شود (۲۱). علاقه به استفاده از این فرآیند در امر تصفیه آب و فاضلاب رو به افزایش بوده و تحقیقات گسترده ای در زمینه حذف فلزات سنگین، مواد شیمیایی صنعتی، میکروارگانیزم ها، سختی، کدورت و آلاننده های محیطی دیگر صورت گرفته است (۲۲-۲۴). در مطالعه دیگری که بروی حذف مواد آلی طبیعی در آب آشامیدنی بوسیله انعقاد-ممبران با غشای فلزی توسط Viero و همکارانش در برزیل در سال ۲۰۰۲ صورت گرفت، بیش از ۴۵ درصد حذف در سختی مشاهده گردید (۲۴). در تحقیقی که توسط ملکوتیان و همکاران در محیط آزمایشگاهی بروی حذف سختی کل و کلسیمی با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون در سال ۲۰۱۰ انجام گرفت درصد حذف سختی به بیش از ۹۸/۲ درصد برای حذف سختی کل و ۹۷/۴ درصد برای حذف سختی کلسیمی مشاهده گردید (۲۵). هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه عملکرد ماده منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته و فرآیند الکتروکواگولاسیون در حذف سختی از آب سطحی می باشد.

مواد و روش ها

ماده منعقد کننده منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته به روش زیر ساخته شد (۲۶):

گرفت. آزمایش با استفاده از آب خام ورودی به تصفیه خانه آب قوچان در زمان‌های اختلاط سریع به مدت ۲ دقیقه با تعداد دور ۱۲۰ rpm و اختلاط کند در مدت ۱۰ دقیقه با تعداد دور ۴۵ rpm انجام گرفت. ۱۵ دقیقه زمان داده شد تا ته نشین فلوک‌ها صورت بگیرد. سپس از ارتفاع ۲ سانتیمتری زیر سطح آب برای انجام آزمایشات نمونه‌برداری صورت گرفت (۱۵). با ۳ بار تکرار هر آزمایش تعداد نمونه‌ها در مجموع ۱۲۴۸ عدد در هر ماه بود.

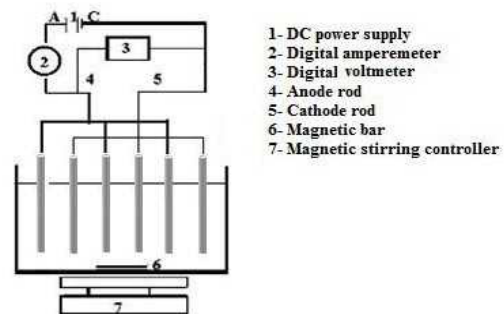
کدورت بوسیله دستگاه کدورت سنچ Eutech، آزمایش pH با استفاده از دستگاه pH متر Eutech، آزمایش تعیین میزان سختی با روش EDTA Titrimetric و آزمایش آلومینیوم باقیمانده بر طبق روش Eriochrome cyanine R در طول موج ۵۲۵nm انجام شد. تمامی آزمایشات بر طبق کتاب روش‌های آزمایشات آب و فاضلاب انجام شد، در همه آزمایشات برای سنجش تاثیر pH بر کارایی حذف سختی از محلول ۰/۱ مولار HCl و محلول ۰/۱ مولار NaOH استفاده گردید (۲۷). تمامی مواد شیمیایی مصرفی از شرکت مرک (Merck) آلمان بود. میانگین میزان سختی کل و سختی کلسیم آب مورد بررسی بترتیب ۵۵۹ و ۳۵۷ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم بوده است. در پایان کارایی هر یک از منعقدکننده‌های ذکر شده در حذف کدورت با استفاده از آنالیز کوواریانس و رگرسیون تعیین و نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شده و ۰/۰۵ < p معنی دار تلقی گردید.

یافته‌ها

میزان درصد حذف سختی و کدورت در غلظت‌های مختلف پلی‌آلومینیوم کلراید سیلیکاته بروی آب ورودی به تصفیه خانه آب شهر قوچان در نمودار شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است. با افزایش مقدار ماده منعقدکننده، درصد حذف سختی کل و سختی کلسیمی افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر به میانگین درصد حذف سختی کل ۷۵ درصد با

در ابتدا ۱۰/۷۵ میلی‌لیتر از محلول غلیظ Waterglass (SiO₂، ۳ مولار) را به آهستگی تحت شرایط اختلاط به درون ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید هیدروکلریک ریخته تا محلولی بنام پلی‌سیلیکات (Poly Silicate) با مشخصه SiO₂ ۱/۵ مولار و pH ۲ تا ۲/۵ بدست آمد. در مرحله بعد محلول ALCL₃ ۲/۵ مولار را به محلول PSI تازه افزوده تا نسبت مولی ۱۰ = AL/Si شد سپس به آهستگی محلول Na₂CO₃ غلیظ را تحت شرایط اختلاط افزوده تا نسبت مولی ۲ = OH/AL بدست آمد. محلول فوق دارای دانسیته ۱ تا ۱/۵ و pH = ۱/۵-۳/۵ و Al/Si = ۱۰ و OH/AL = ۲ می‌باشد.

برای الکتروکواگولاسیون از یک راکتور ۲۰۰ لیتری به عنوان سل الکتروکواگولاسیون استفاده شد. از هشت صفحه آلومینیومی با خلوص ۱۰۰ درصد استفاده شد که هر الکترو سطح مستغرق (فعال) ۸۰ cm² (۸ cm × ۱۰ cm) و فاصله مابین صفحات ۱ سانتیمتری ثابت بود. الکترودها بصورت دی پولار به یک منبع تغذیه متغیر با جریان ولتاژ ۱۰ تا ۳۰ ولت و ۰ تا ۱۵ آمپر متصل بودند. قبل از هر آزمایش الکتروکواگولاسیون برای ممانعت از مداخله گرها ابتدا الکترودها بوسیله آب مقطر دو بار تقطیر شسته شده و سپس با محلول اسید هیدروکلریک (۱+۱) تمیز شده و دوباره با آب مقطر دو بار تقطیر شستشو داده می‌شد.



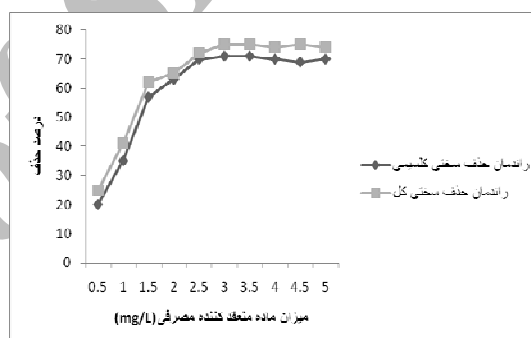
تصویر شماره ۱: پابلوت فرآیند الکتروکواگولاسیون مورد استفاده در آزمایش

نمونه برداری به مدت شش ماه از آب خام ورودی به تصفیه خانه آب قوچان (شمال شرق ایران) انجام

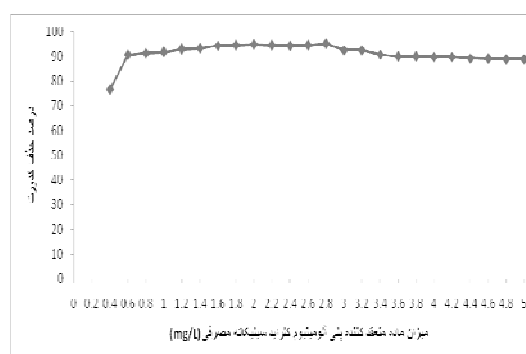
ولی در ادامه افزایش غلظت با کاهش کارآیی همراه بود که از غلظت 5 mg/L به بعد میزان حذف در دامنه ثابتی حفظ می گردید. با توجه به نمودار شماره ۲ مشخص گردید که میانگین درصد حذف کدورت با افزایش میزان غلظت PASIC تا 1 mg/L افزایش یافت که به میانگین کارآیی ۹۳ درصد کدورت با انحراف از معیار ۲/۲ رسید و این کارآیی با افزایش غلظت با هیچ گونه تغییر قابل توجهی همراه نبود (نمودار شماره ۲). نتایج آزمون آماری نشان داد که میانگین کدورت در آب خام ورودی و بعد از انجام فرآیند، اختلاف معنی داری داشت ($p < 0/05$). کدورت باقی مانده همواره کمتر از 0/۲ NTU بود. با افزایش کدورت تا 100 NTU نیز میزان کارآیی حذف کدورت افزایش یافت به گونه ای که کدورت باقی مانده همواره کمتر از 0/۲ NTU بود. همچنین هرچه میزان دوز مصرفی افزایش می یافت آلومینیوم باقیمانده در آب نیز بیشتر می گردید. ولی در طول تمامی آزمایشات میزان آلومینیوم باقیمانده کمتر از استاندارد تعیین شده سازمان جهانی بهداشت (WHO) بود (0/۳ mg/L). همچنین منعقد کننده PASIC نه تنها بر حذف سختی موثر بود بلکه میزان حذف کدورت و ارتفاع لجن را نیز افزایش داد. بهترین زمان ته نشینی در ۱۵ دقیقه بود.

در فرآیند الکتروکوکولاسیون میزان حذف سختی کل و کلسیمی با افزایش ولتاژ و زمان ماند افزایش یافت به گونه ای که در طول آزمایشات همواره ولتاژ ۳۰ ولت بهترین نتایج را نشان داد. طبق نتایج حاصله، با افزایش زمان ماند در تمامی ولتاژها زمان کارآیی حذف بصورت چشمگیری افزایش یافت. به گونه ای که بیشترین درصد سختی در ولتاژ ۳۰ ولت و زمان ماند ۶۰ دقیقه و pH ۶/۵ تا ۷/۵ مشاهده گردید. در این روش میانگین درصد حذف سختی کل ۹۷ درصد با انحراف از معیار ۲/۵۳ و میانگین درصد حذف سختی کلسیمی ۹۵ درصد با انحراف از معیار ۲/۶۴ بود (نمودار شماره ۳). نتایج آزمون آماری نشان داد که میانگین غلظت در

انحراف از معیار ۵/۴ و میانگین درصد حذف سختی کلسیمی ۷۰ درصد با انحراف از معیار ۳/۵ می رسد. و لیکن از غلظت ۳ میلی گرم بر لیتر میزان حذف ثابت بوده و با افزایش ماده منعقد کننده تغییر قابل محسوسی ملاحظه نمی گردد (نمودار شماره ۱). نتایج آزمون آماری نشان داد که میانگین غلظت در میزان حذف سختی کل و کلسیمی در آب خام ورودی و بعد از انجام فرآیند، اختلاف معنی داری وجود دارد ($p < 0/05$). بهترین بازه حذف سختی کل و کلسیمی در pH ۶/۵ تا ۷/۵ مشاهده گردید که این pH طبیعی آب سطحی ورودی به تصفیه خانه می باشد.



نمودار شماره ۱: کارایی منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته در حذف سختی کل و کلسیمی



نمودار شماره ۲: کارآیی منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته در حذف کدورت

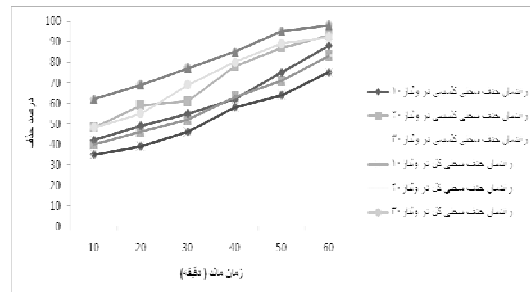
درصد حذف کدورت با افزایش میزان غلظت PASIC تا 1 mg/L، کارآیی حذف را افزایش می داد

بحث

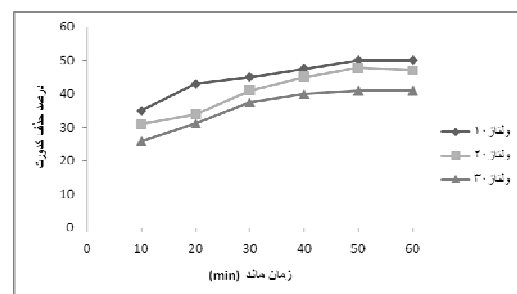
نتایج حاصل از تحقیق نشان داد منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته PASIC در غلظت پایین قادر به حذف قابل قبولی از سختی کل و کلسیمی می باشد، همچنین این ماده قادر به حذف بالایی از کدورت آب می باشد. که این نتایج با مطالعه ای که توسط Gao و همکارانش در چین بروی خصوصیات منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته PASIC در تصفیه آب صورت گرفت مطابقت دارد (۱۵). همچنین مطالعه حاضر با مطالعه محوی و همکارانش در سال ۲۰۰۳ که توانستند به حذف مناسبی از کدورت و سختی بوسیله ماده منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید برسند همخوانی داشت (۲۸). بالاترین بازده حذف بوسیله ماده منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته در pH طبیعی آب شرب مصرفی قرار داشت که با یافته های Qin و همکارانش در سال ۲۰۰۶ بر روی تاثیر pH بر افزایش عملکرد انعقاد مطابقت داشته و نشان دهنده بهترین عملکرد در pH طبیعی آب شرب می باشد (۲۹).

منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته نه تنها بر حذف سختی موثر می باشد بلکه بر میزان حذف کدورت و افزایش ارتفاع لجن نیز تاثیر گذار می باشد. بهترین زمان ته نشینی در ۱۵ دقیقه بود. تولید لجن مناسب باعث کاهش مشکلات ته نشینی و هزینه های اضافی می گردد. مطالعه Zhang و همکارانش در چین در سال ۲۰۰۸ نشان داد که در تصفیه آب رودخانه ها pH بهینه برای حذف کدورت، در محدوده pH طبیعی آب است، که برای حذف خوب کدورت لازم است و با نتایج حاصله از مطالعه این تحقیق همخوانی دارد (۳۰). با توجه به راندمان بسیار بالای این منعقد کننده و میزان هزینه پائین آن نسبت به سایر منعقد کننده های متداول استفاده از این منعقد کننده می تواند جایگزین مناسبی در تصفیه آب باشد.

تمامی متغیرها در آب خام ورودی و بعد از انجام فرآیند، اختلاف معنی داری داشت ($p < 0/05$). بهترین pH برای حذف سختی کل و کلسیمی pH ۶/۵ تا ۷/۵ می باشد. که این pH طبیعی آب ورودی به تصفیه خانه آب شرب و مصرفی می باشد. میانگین درصد حذف کدورت ۵۰ درصد با انحراف از معیار ۲۰/۸ در ولتاژ ۳۰ ولت و زمان ماند ۳۰ دقیقه و pH=۶/۵ بود (نمودار شماره ۴). نتایج آزمون آماری نشان داد که میانگین کدورت در آب خام ورودی و بعد از انجام فرآیند، اختلاف معنی داری وجود داشت ($p < 0/05$). بیشترین درصد حذف کدورت در ۳۰ دقیقه اول بدست آمد و با افزایش زمان ماند میزان حذف کدورت همواره ثابت است. همواره میزان آلومینیوم باقیمانده در تمام آزمایشات کمتر از حد تعیین شده سازمان جهانی بهداشت (۰/۳ mg/L) بود.



نمودار شماره ۳: کارایی فرآیند الکتروکوکولاسیون در حذف سختی کل و کلسیمی با ولتاژهای متغیر در زمان های متفاوت



نمودار شماره ۴: کارایی فرآیند الکتروکوکولاسیون در حذف کدورت

است (۳۲،۳۱،۹). نتایج بدست آمده با مطالعه‌ای که توسط Onder و همکارانش در ترکیه بروی فرآیند الکتروکواگولاسیون انجام دادند و توانستند بترتیب COD و کدورت را ۶۰ و ۷۶ درصد حذف کنند همخوانی دارد (۱۹). همچنین نتایج با تحقیقی که Bagga و همکارانش در چین بروی مقایسه الکتروکواگولاسیون و منعقد کننده‌های شیمیایی متداول بر پایه آهن انجام داده بودند مطابقت دارد (۳۳). نتایج بدست آمده از این مطالعه همچنین با تحقیقی که توسط آقای رحمانی در سال ۱۳۸۷ بروی حذف کدورت بوسیله فرآیند الکتروکواگولاسیون صورت پذیرفت همخوانی دارد (۱۰). نتایج Park و همکارانش در کره جنوبی بروی الکتروممبران نیز درصد قابل قبولی از حذف سختی را نشان داد (۳۴).

عملکرد منعقد کننده‌های متداول نسبت به منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته در حذف کدورت به شکل زیر است: $PASIC > AlCl_3 > PAC > Al_2(SO_4)_3$ که به ترتیب ۹۵ درصد، $AlCl_3$ ۹۴ درصد، PAC ۹۱/۵ درصد و $Al_2(SO_4)_3$ ۹۰/۵ درصد کارایی حذف دارد (۳۵).

آلومینیوم باقیمانده از منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته کمتر از $4/1 \mu g/L$ و در الکتروکواگولاسیون کمتر از $15 \mu g/L$ می‌باشد. میزان یون آلومینیوم باقیمانده در اثر منعقد کننده آلوم به $50 \mu g/L$ می‌رسد (۳۶). در رابطه با ارتباط آلومینیوم محلول در آب و بیماری آلزایمر اخطارهای بسیاری داده شده است. نسبت آلومینیوم باقیمانده در سه ماده منعقد کننده متداول به شکل $Al_2(SO_4)_3 > AlCl_3 > PAC$ می‌باشد (۲). که این تحقیق مشخص کرد که میزان یون آلومینیوم باقیمانده در منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته و الکتروکواگولاسیون همواره کمتر از حد مجاز استانداردهای جهانی و استاندارد آب ایران می‌باشد و مشکلی برای سلامتی ایجاد نخواهد کرد.

نتایج حاصله از پژوهش فرآیند الکتروکواگولاسیون نشان داد که این فرآیند قادر به حذف سختی و کدورت آب تا حد استاندارد تعیین شده سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. با افزایش زمان ماند و ولتاژ میزان حذف نیز افزایش می‌یافت. با افزایش میزان جریان، کارایی حذف سختی نیز افزایش می‌یافت. در ولتاژهای بالا، اندازه و رشد فلاک‌های تولیدی بهتر شده و این می‌تواند روی کارایی فرآیند تاثیرگذار باشد (۲۵،۱۷). با کاهش میزان جریان، زمان مورد نیاز برای رسیدن به کارایی‌های مشابه افزایش یافت. که این نتایج با بررسی‌های Ranta Kumar و همکاران در ارتباط با راندمان حذف آرسنیک به روش الکتروکواگولاسیون و همچنین مطالعه بذرافشان و همکاران در ارتباط با قابلیت استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در حذف کروم (Cr^{6+}) از محیط‌های آبی نیز همخوانی دارد (۳۱،۹). در مجموع اختلاف پتانسیل ۲۰ ولت جهت رسیدن به راندمان مطلوب پیشنهاد می‌گردد. افزایش زمان ماند در صورت ثابت بودن اختلاف پتانسیل و pH باعث افزایش راندمان حذف سختی می‌گردد و این بعلت ته نشین شدن لخته‌های تولیدی است که باعث حذف ذرات سختی می‌گردد. نتایج حاصل نشان داد که بیشترین مقدار سختی در ابتدای آزمایش حذف شده است. این نتایج با مطالعه‌ای که ملکوتیان و همکاران در سال ۲۰۱۰ در محیط آزمایشگاهی در کرمان انجام دادند مطابقت دارد (۲۶). این نتایج نیز توسط Ranta Kumar در بررسی راندمان حذف آرسنیک به روش الکتروکواگولاسیون و همچنین مطالعه Chaudhary و همکارانش در حذف کروم شش ظرفیتی به روش الکتروکواگولاسیون از محلول‌های آبی و همچنین مطالعه بذرافشان و همکاران در بررسی قابلیت استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در حذف کروم (Cr^{6+}) از محیط‌های آبی با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون نیز تایید شده

قابل استفاده در تصفیه خانه‌ها می‌باشند.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فن اوری دانشگاه علوم پزشکی کرمان به انجام رسیده است. نویسندگان لازم می‌دانند از کمیته تحقیقات بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمان که طرح را مورد تصویب قرار داده اند و همچنین از شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی تشکر و قدردانی نماید.

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان حذف سختی کل و کلسیمی بوسیله الکتروکواگولاسیون به نسبت بهتر از فرآیند منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته بود. ولی میزان حذف کدورت بوسیله منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته بهتر از فرآیند الکتروکواگولاسیون بود. در مجموعه با توجه به هزینه‌ها و کارایی منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته در حذف سختی و کدورت، مناسبتر از فرآیند الکتروکواگولاسیون می‌باشد. ولی در مجموع هر دو روش مورد ذکر برای حذف سختی از آب مناسب و

References

- HDR Engineering .Inc, "Handbook of public water systems", 2nd ed, New York: John Wiley & Sons; 2001. PP 412-417.
- Park J.S, Song J.H, Yeon K.H, Moon S.H. Removal of hardness ions from tap water using electro membrane processes. Desalination 2007; 202: 1-8.
- Schaep J, Bruggen B, Uytterhoeven S, Croux R, Vandecasteele C, Wilms D, et al. Removal of hardness from groundwater by Nano filtration. J of Desalination 1998; 119: 295-302.
- Yildiz E, Nuhoglu A, Keskinler B, Akay G, Farizoglu B. Water softening in a cross flow membrane reactor. J of Desalination 2003; 159: 139-152.
- Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 2000. PP 510-523.
- Gasco G, Me'ndez A. Sorption of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} and K^{+} by clay minerals. Desalination 2005; 182: 333-338.
- Kabay N, Demircioglu M, Ersiiz E, Kurucaovali I. Removal of calcium and magnesium hardness by electrodialysis. Desalination 2002; 149: 343-349.
- Abbes I.B, Bayoudh S, Baklouti M. The removal of hardness of water using sulfonated waste plastic. Desalination 2008; 222: 81-86.
- Mahvi A M, Bazrafshan E , Mesdaghinia A R, Naseri S, Vaezi F. Chromium (Cr^{+6}) Removal from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. Isfahan Journal of Water & Wastewater 2006; 62: 28-34.
- Rahmani A. Removal of turbidity by the Electrocoagulation method. J Res Health Sci 2007; 8(1): 18-24.
- Degremond O. Hand book of eater treatment, Chapter 2. 6th ed, New York: Lavoisier Wiley pub, 2002.
- Ramesh R.B, Bhadrinarayana N.S, Meera S.B.K.M, Anantharaman N. treatment of tannery Waste water by electro coagulation, Journal of the University Chemical Technology and Metallurgy 2007; 42(2): 201-206.
- Doula K.M.K. Removal of Mn^{2+} ions from drinking water by using Clinoptilolite and a Clinoptilolite-Fe oxide system. Water Research 2006; 40: 3167-3176.
- Walha Kh, Amar R.B, Quemeneur F, Jaouen P. Treatment by nano filtration and reverse

- osmosis of high salinity drilling water for seafood washing and processing. *Desalination* 2008; 219: 231-239.
15. Gao B Y, Yue Q Y, Wang B J, Chu Y B. Poly-aluminum-silicate-chloride (PASiC)-a new type of composite inorganic polymer coagulant. *J Colloids and surfaces A: Physicochem Eng Aspects* 2003; 229: 121-127.
 16. Gao B Y, Hahn H H, Hoffmann E. Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. *Water Reserch* 2002; 36: 3573-3581.
 17. Gao B Y, Yue Q Y, Wang Y. Coagulation performance of polyaluminum silicate chloride (PASiC) for water and wastewater treatment. *J Separation and Purification Technology* 2007; 56: 225-230.
 18. Zhu B, Clifford D.A, Chellam S. Comparison of electro coagulation and chemical coagulation pre treatment for enhanced virus removal using microfiltration membranes. *Water Research* 2005; 39: 3098-3108.
 19. Yilmaz E, Boncukcuoglu R, Kocakerim M. A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron-containing solution. *J Hazardous Materials* 2007; 149: 475-481.
 20. Onder E, Savas A, Koparal AS, Ogutveren U. An alternative method for the removal of surfactants from water: Electrochemical coagulation. *J of Separation and Purification Technology* 2007 ;52 : 527-532
 21. Abuzaid N.S, Alaadin A Bukhari, Zakariya M, Hamouz. Ground water coagulation using soluble stainless steel electrodes. *J Adv Enviro Res* 2002; 6: 325-333.
 22. Zhua B, Clifforda D, Chellam S. Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation pretreatment for enhanced virus removal using microfiltration membranes. *J Water Res* 2005; 39: 3098-3108.
 23. Vepsäläinen M, Ghiasvand M, Selin J, Pienimaa J, Repo E, Pulliainen M, Sillanpää M. Investigations of the effects of temperature and initial sample pH on natural organic matter(NOM) removal with electrocoagulation using response surface method (RSM). *J of Separation and Purification Technology* 2009; 69: 255-226.
 24. Chou W, Wang C, Hsu C, Huang K, Liu T. Removal of total organic carbon from aqueous solution containing polyvinyl alcohol by electrocoagulation technology. *J Desalination* 2010; 259: 103-110.
 25. Viero A.F, Mazzarollo A.C.R, Wada K, Tessaro I.C. Removal of hardness and COD from retanning treated effluent by membrane process. *Desalination* 2002; 149: 145-149.
 26. Malakootian M, Mansoorian H.J, Moosazadeh M. Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination* 2010; 255: 67-71.
 27. Gao B.Y, Yue Q.Y, Wang B.J. The chemical species distribution and transformation of polyaluminum silicate chloride coagulant. *Chemosphere* 2002; 46(6): 809-813.
 28. American Public Health Association, The American Water Works Association, The Water Enviroment Federation. Standard method for examination of water and wastewater". 21st ed, Washington DC: American Public Health Association Publication; 1999. P 2340.
 29. Mahvi A.H, Sheikhi R, Naddafi K. Total Coliforms and Turbidity Removal of Water in the Continuous Sand Filter. *J Iranian Publ Health* 2003; 32(3): 7-13.
 30. Qin J, Htun O.M, Kekre K.A, Knops F, Miller P. Impact of coagulation pH on enhanced

- removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. *J Separation and Purification Technology* 2006; 49: 295-298.
31. Zhang P W Z, Zeng G, Zhang H, Li J, Song X, Dong J. Coagulation characteristics of polyaluminum chlorides PAC-Al30 on humic acid removal from water. *J of Separation and Purification Technology* 2008; 63: 642-649.
32. Ranta Kumar P, Chaudhary S, Khilar K.C, Mahajan S.P. Removal of arsenic from water by electro coagulation. *Chemosphere* 2004; 55: 1245-1252.
33. Chaudhary A, Goswami N, Grimes N. Electrolytic removal of hexavalent chromium from aqueous solution. *Journal of chemical technology and Biotechnology* 2003; 78: 877-883.
34. Bagga A, Chellam S, Clifford D.A. Evaluation of iron chemical coagulation and electrocoagulation pretreatment for surface water microfiltration. *J Membrane Science* 2008; 309: 82-93.
35. Yang Z.L, Gao B.Y, Yue Q.Y, Wang Y. Effect of pH on the coagulation performance of Al-based coagulants and residual aluminum speciation during the treatment of humic acid-kaolin synthetic water. *Hazardous Materials* 2010; 178: 596-603.
36. Selcuka H, Rizzob L, Nikolaouc AN, Meric S, Belgiornob V, Bekbolet M. DBPs formation and toxicity monitoring in different origin water treated by ozone and alum/PAC coagulation. *Desalination* 2007; 210: 31-43.

Archive of SID