ORIGINAL ARTICLE

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).

Archive of SID

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیستم شماره ۸۰ بهمن سال ۱۳۸۹ (۵۳-۴۵)

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 منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیوم کلراید سیلیکاته (PASIC) و الکتروکواگولاسیون (EC) بود.

مواد و روش ها : این بررسی در تصفیه خانه آب شهر قوچان (شمال شرقی ایران) اجرا گردید. نمونه‌برداری از آب شرب در فصول زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹انجام گرفت. آزمایشات سختی،کدورت، pH و آلومینیوم باقیمانده بوسیله منعقد کننده‌های پلی‌آلومینیوم 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.

یافته ها : 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 میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. فرآیند الکتروکواگولاسیون نیز قادر به حذف به ترتیب ۹۷ و ۹۵ درصد سختی‌کل 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

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 ضرورت می‌یابد(۵). روش‌های مختلفی برای سختی‌زدایی وجود دارد. از جمله استفاده از مواد شیمیایی وکاربرد رزین‌های تبادل یونی(۴-۲،۶،۷). کاربرد هر یک از این روش‌ها، اثرات نامطلوب جنبی برکیفیت آب مصرفی دارد. در فرآیند تبادل یون غلظت سدیم آب افزایش می‌یابد که برای بیماران قلبی و مبتلا به فشارخون که از رژیم

مولف مسئول: محمد ملکوتیان- کرمان: دانشگاه علوم پزشکی کرمان، دانشکده بهداشت
گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان
E-mail: m.malakootian@yahoo.com

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

www.SID.ir
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

محدود سدیم استفاده می‌کنند، مضر می‌باشد. از مبادله کننده‌های یونی به آسانی نمی‌توان برای سبک کردن آب در تصفیه خانه‌های بزرگ استفاده نمود(۸). استفاده از آهک به عنوان نرم‌کننده خود سبب افزایش میزان سختی دائم آب می‌شود. از طرفی مقدار زیاد لجن تولیدی سبب گرفتگی و کثیف شدن صافی‌ها و سیستم‌های توزیع آب می‌گردد. طرز کار با دستگاه‌های مذکور به مهارت زیاد و اضافه نمودن مقادیر مشخص وتعیین شده‌ای از آهک، کربنات سدیم و ... به سیستم دارد(۹،۱۰). در فرآیند آهک زنی، مواد منعقد کننده‌ای 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 هزینه‌های 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 می‌شود. 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 می‌دهد(۵،۲). استفاده از مواد منعقدکننده علاوه بر افزایش میزان لجن، جامدات پساب را نیز افزایش می‌دهند(۱۲). از فرآیند جذب نیز برای حذف سختی استفاده می‌شود. این فرآیند به علت از بین رفتن جاذب در طی آن و لزوم شستشوی معکوس کمتر مورد توجه است(۱۳،۶). استفاده از غشاها نیز باعث ایجاد رسوب و کثیف شدن مکررغشاها می‌گردد(۱۴،۳،۲).

برای بهبود اثر انعقاد، با پلمیریزه 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 می‌نماید(۱۵). پلی آلومینیوم کلراید سلیکاته در زمره نسل نوینی از منعقد کننده‌های غیر آلی می‌باشد(۱۶،۱۵). 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 می‌گیرد(۱۸،۱۹). در این فرآیند هیچ‌گونه ماده شیمیایی منعقد کننده به آب افزوده نمی‌شود. حجم لجن تولیدی نسبت به اکثر روش‌های متداول تصفیه آب کمتر است. لجن تشکیل شده از این روش براحتی قابل حذف بوسیله تخلیه می‌باشد(۲۰). در فرآیند مذکور از صفحه‌های آلومینیومی و آهنی استفاده می‌شود(۲۱). علاقه به استفاده از این فرایند در امر تصفیه آب و فاضلاب رو به افزایش بوده و تحقیقات گسترده‌ای در زمینه حذف فلزات سنگین، مواد شیمیایی صنعتی، میکروارگانیزم‌ها، سختی، کدورت و آلاینده‌های محیطی دیگر صورت گرفته است(۲۴-۲۲). 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 منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید سیلیکاته و فرآیند الکتروکواگولاسیون در حذف سختی از آب سطحی می‌باشد.

مواد و روش ها

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

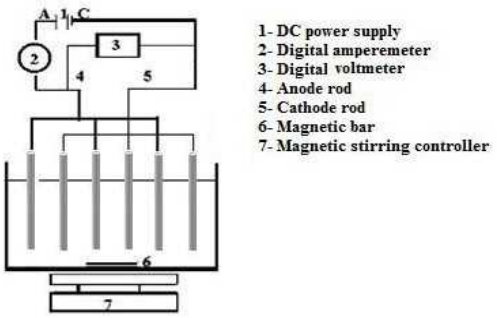
Archive of SID

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

در ابتدا ۱۰/۷۵ میلی لیتر از محلول غلیظ Waterglass (SiO_2 ، ۳ مولار) را به آهستگی تحت شرایط اختلاط به درون ۱۰ میلی لیتر محلول اسید هیدروکلریک ریخته تا محلولی بنام پلی سیلیکات (Poly Silicate) با مشخصه SiO_2 ۱/۵ مولار و pH ۲ تا ۲/۵ بدست آمد. در مرحله بعد محلول $ALCL_3$ ۲/۵ مولار را به محلول PSI تازه افزوده تا نسبت مولی ۱۰ =AL/siشد سپس به آهستگی محلول Na_2Co_3 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 ۱۰ =Al/Si و OH/AL=۲ می باشد.

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 الکترود سطح مستغرق (فعال) $۸۰cm^2$ (۱۰ cm×۸ 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 الکتروکوگولاسیون برای ممانعت از مداخله‌گرها 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: پایلوت 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 گرفت. آزمایش با استفاده از آب خام ورودی به تصفیه خانه آب قوچان در زمان‌های اختلاط سریع به مدت ۲ دقیقه با تعداد دور rpm ۱۲۰ و اختلاط کند در مدت ۱۰ دقیقه با تعداد دور rpm ۴۵ 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 بارتکرار هر آزمایش تعداد نمونه‌ها در مجموع ۱۲۴۸ عدد در هر ماه بود.

کدورت بوسیله دستگاه کدورت سنج Eutech ، آزمایشpH 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 و۳۵۷ 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 معنی‌دار تلقی گردید.

یافته ها

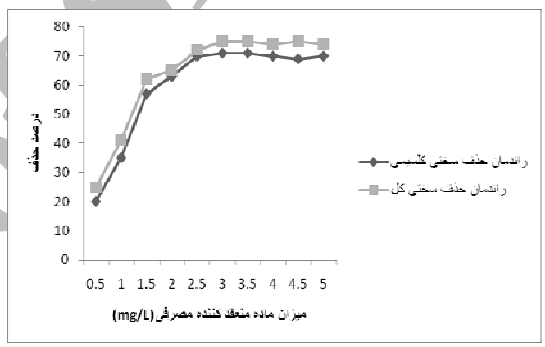
میزان درصد حذف سختی و کدورت در غلظت‌های مختلف پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته بروی آب ورودی به تصفیه خانه آب شهر قوچان در نمودار شماره ۱و۲ نشان داده شده است. با افزایش مقدار ماده منعقدکننده، درصد حذف سختی کل و سختی کلسیمی افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر به میانگین درصد حذف سختی کل ۷۵ درصد با

Archive of SID

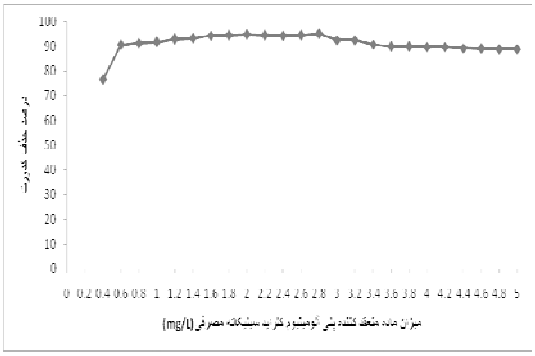
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

انحراف از معیار۵/۴ و میانگین درصد حذف سختی کلسیمی ۷۰ درصد با انحراف از معیار ۳/۵ می‌رسد. و لیکن از غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف ثابت بوده و با افزایش ماده منعقد کننده تغییر قابل محسوسی ملاحظه نمی‌گردد(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 معنی‌داری وجود دارد ($p < ۰/۰۵$). 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 می‌باشد.



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



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

درصد حذف کدورت با افزایش میزان غلظت PASIC تا ۱ mg/L، کارآیی حذف را افزایش می‌داد ولی در ادامه افزایش غلظت با کاهش کارآیی همراه بود که از غلظت ۵ mg/L به بعد میزان حذف در دامنه ثابتی حفظ می‌گردید. با توجه به نمودار شماره ۲ مشخص گردید که میانگین درصد حذف کدورت با افزایش میزان غلظت PASIC تا ۱ 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 هیچ‌گونه 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 معنی‌داری داشت ($p < ۰/۰۵$). کدورت باقی مانده همواره کمتر از ۰/۲ NTU بود. با افزایش کدورت تا ۱۰۰ NTU نیز میزان کارآیی حذف کدورت افزایش یافت به گونه‌ای که کدورت باقی مانده همواره کمتر از ۰/۲ NTU بود. همچنین هرچه میزان دوز مصرفی افزایش می‌یافت آلومینیوم باقیمانده در آب نیز بیشتر می‌گردید. ولی در طول تمامی آزمایشات میزان آلومینیوم باقیمانده کمتر از استاندارد تعیین شده سازمان جهانی بهداشت (WHO) بود(۰/۳mg/L). همچنین منعقدکننده 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.

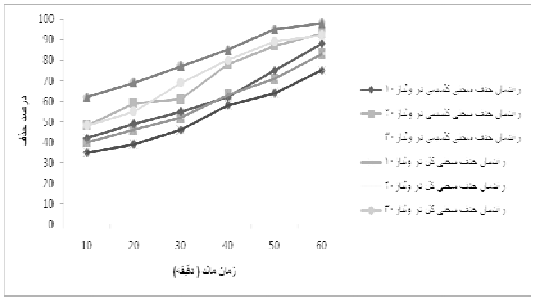
در فرآیند الکتروکوگولاسیون میزان حذف سختی کل و کلسیمی با افزایش ولتاژ و زمان ماند افزایش یافت به گونه‌ای که در طول آزمایشات همواره ولتاژ ۳۰ ولت بهترین نتایج را نشان داد. طبق نتایج حاصله، با افزایش زمان ماند در تمامی ولتاژها زمان کارآیی حذف بصورت چشمگیری افزایش یافت. به گونه‌ای که بیشترین درصد سختی در 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 معیار۲/۵۳ و میانگین درصد حذف سختی کلسیمی ۹۵ درصد با انحراف از معیار۲/۶۴ بود(نمودار شماره ۳). نتایج آزمون آماری نشان داد که میانگین غلظت در

Archive of SID

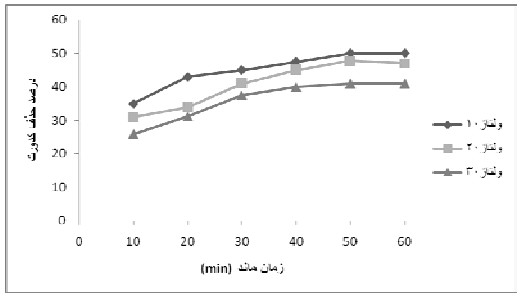
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

تمامی متغیرها در آب خام ورودی و بعد از انجام فرآیند، اختلاف معنی‌داری داشت ($p < ۰/۰۵$). بهترین pH برای حذف سختی کل و کلسیمی pH ۶/۵ تا ۷/۵ می‌باشد. که این pH طبیعی آب ورودی به تصفیه‌خانه آب شرب و مصرفی می‌باشد. 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 معنی‌داری وجود داشت ($p < ۰/۰۵$). 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: کارآیی فرآیند الکتروکوگولاسیون در حذف سختی کل و کلسیمی با ولتاژهای متغیر در زمان‌های متفاوت



نمودار شماره ٤: کارآیی فرآیند الکتروکوگولاسیون درحذف کدورت

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 می‌باشد، همچنین این ماده قادر به حذف بالایی از کدورت آب می‌باشد. که این نتایج با مطالعه‌ای 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 یافته‌های Qin و همکارانش در سال ۲۰۰۶ بر روی تاثیر pH بر افزایش عملکرد انعقاد مطابقت داشته و نشان‌دهنده بهترین عملکرد در pH طبیعی آب شرب می‌باشد(۲۹).

منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته نه تنها بر حذف سختی موثر می‌باشد بلکه بر میزان حذف کدورت و افزایش ارتفاع لجن نیز تاثیر گذار می‌باشد. بهترین زمان ته نشینی در ۱۵ دقیقه بود. تولید لجن مناسب باعث کاهش مشکلات ته‌نشینی و هزینه‌های اضافی می‌گردد. 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 منعقدکننده و میزان هزینه پائین آن نسبت به سایر منعقد کننده‌های متداول استفاده از این منعقد کننده می‌تواند جایگزین مناسبی در تصفیه آب باشد.

Archive of SID

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

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، کارآیی حذف سختی نیز افزایش می‌یافت. در ولتاژهای بالا، اندازه و رشد فلاک‌های تولیدی بهتر شده و این می‌تواند روی کارآیی فرآیند تاثیرگذار باشد(۲۵،۱۷). با کاهش میزان جریان، زمان مورد نیاز برای رسیدن به کارآیی‌های 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 الکترود های آلومینیمی 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 درسال 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 آلومینیمی در حذف کروم (Cr^{6+}) از محیط‌های آبی با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون نیز تایید شده 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 الکترومبران 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 PASIC ۹۵ درصد، $AlCl_3$ ۹۴درصد، PAC ۹۱/۵ درصد و $Al_2(SO_4)_3$ ۹۰/۵ درصد کارآیی حذف دارد(۳۵).

آلومینیوم باقیمانده از منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید سیلیکاته کمتر از ۴/۱ µg/L و در الکتروکواگولاسیون کمتر از ۱۵ µg/L می‌باشد. میزان یون آلومینیوم باقیمانده در اثر منعقد کننده آلوم به ۵۰µg/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 بشکل $Al_2(SO_4)_3>AlCl_3>PAC$ می‌باشد(2). که این تحقیق مشخص کرد که میزان یون آلومینیوم باقیمانده در منعقدکننده 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.

Archive of SID

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان حذف سختی کل و کلسیمی بوسیله الکتروکواگولاسیون به نسبت بهتر از فرآیند منعقدکننده 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 می باشد. ولی در مجموع هر دو روش مورد ذکر برای حذف سختی از آب مناسب و قابل استفاده در تصفیه خانه‌ها می‌باشند.

سپاسگزاری

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

References

1. HDR Engineering .Inc, "Handbook of public water systems", 2nd ed, New York: John Wiley & Sons; 2001. PP 412-417.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 2000. PP 510-523.
6. Gasco G, Me´ndez A. Sorption of Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} and K^{+} by clay minerals. Desalination 2005; 182: 333-338.
7. Kabay N, Demircioglu M, Ersiiz E, Kurucaovali I. Removal of calcium and magnesium hardness by electrodialysis. Desalination 2002; 149: 343-349.
8. Abbes I.B, Bayoudh S, Baklouti M. The removal of hardness of water using sulfonated waste plastic. Desalination 2008; 222: 81-86.
9. 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.
10. Rahmani A. Removal of turbidity by the Electrocoagulation method. J Res Health Sci 2007; 8(1): 18-24.
11. Degremond O. Hand book of eater treatment, Chapter 2. 6th ed, New York: Lavoisier Wiley pub, 2002.
12. 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.
13. 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.
14. Walha Kh, Amar R.B, Quemeneur F, Jaouen P. Treatment by nano filtration and reverse

Archive of SID
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]
www.SID.ir

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. Evalution of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. Watre 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

Archive of SID

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir

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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-02-06]

www.SID.ir