تحقیقی

تعیین میزان آلومینیوم باقیمانده ناشی از کاربرد آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت آب‌های کدر

دکتر محمدهادی مهدی نژاد*[۱]، نساء علیمحمدی[۲]، ساجده ارباب مجنی[۲]، آمنه سلطانی[۲]، عالیه امانبایی[۲]

۱- استادیار و عضو مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان. ۲- مهندس بهداشت محیط.

چکیده

زمینه و هدف : *در فرایند زلال‌سازی آب به منظور ته‌نشینی ذرات کلوییدی از مواد منعقدکننده مختلفی مانند سولفات آلومینیوم (آلوم) و پلی‌آلومینیوم کلراید استفاده می‌شود. استفاده از هر دو نوع منعقد کننده در فرایند انعقاد باعث باقی‌ماندن مقداری آلومینیوم در آب می‌شود که اگر مقدار آن از استاندارد تعیین شده تجاوز کند؛ اثرات مخربی بر روی سلامت انسان و محیط زیست خواهد داشت. این مطالعه به منظور تعیین میزان آلومینیوم باقیمانده ناشی از کاربرد آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب‌های کدر انجام شد.*

روش بررسی : *در این مطالعه آزمایشگاهی کدورت‌های به‌کار رفته در نمونه آب شامل کدورت‌های کم (کمتر از NTU۳۰-۱۰)، کدورت متوسط (NTU ۱۳۰-۱۰۰) و کدورت‌های بالا (NTU ۲۳۰-۲۰۰) بود که با استفاده از پودر کائولین به‌صورت مصنوعی ساخته شد. نمونه‌های آب به میزان یک لیتر در ٦ جار ریخته شد و پس از تنظیم pH و افزودن ماده منعقد کننده، آزمایش جار طی مرحله اختلاط سریع طی زمان ۳۰ ثانیه و با شدت اختلاط ۱۰۰ دور در دقیقه و سپس در مرحله اختلاط کند با شدت ۲۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۵ دقیقه و مرحله ته‌نشینی به مدت ۳۰ دقیقه انجام گردید. نمونه‌برداری برای به‌دست آوردن راندمان حذف کدورت و میزان آلومینیوم باقیمانده صورت گرفت. تعیین کدورت مطابق روش نفلومتری و توسط دستگاه کدورت سنج و تعیین آلومینیوم طبق روش اریوکروم سیانینR انجام شد.*

یافته‌ها : *میزان آلومینیوم باقیمانده توسط کاربرد پلی‌آلومینیوم کلراید در آب‌هایی با کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۰/۰۰٦، ۰/۰۵ و ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر و میزان آلومینیوم باقیمانده توسط کاربرد آلوم در آب‌هایی با کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۰/۰٦۵ ، ۰/۱۵ و ۰/۲۲ میلی‌گرم در لیتر بود. بین دوز مصرفی آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید با میزان آلومینیوم باقیمانده ارتباط آماری معنی‌داری به‌دست آمد (P<۰/۰۵).*

نتیجه‌گیری : *پلی‌آلومینیوم کلراید، به دلیل حساسیت کمتر به تغییرات pH و کاهش غلظت آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده نسبت به آلوم برتری داشته و می‌تواند به عنوان یک منعقد کننده مناسب استفاده شود.*

کلید واژه‌ها : *آلوم ، پلی‌آلومینیوم کلراید ، حذف کدورت ، آلومینیوم باقیمانده ، تصفیه آب*

* نویسنده مسؤول : دکتر محمدهادی مهدی نژاد ، پست الکترونیکی hmnejad@yahoo.com

نشانی : گرگان، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، دانشکده بهداشت، تلفن ۰۱۷۱-٤٤٤٠٧۳۰ ، نمابر ٤٤۲۳٦۳۰

وصول مقاله : ۹۱/۱۱/۲۳ ، اصلاح نهایی : ۹۲/۵/۲۳ ، پذیرش مقاله : ۹۲/۵/۲۷

مقدمه

طی فرایند انعقاد، ذرات غیرقابل ته‌نشینی که اصطلاحاً کلوئید نامیده می‌شوند و عامل مهمی در بروز کدورت هستند؛ به یکدیگر چسبیده و ذرات درشت و قابل ته‌نشینی را تشکیل می‌دهند. در فرایند تصفیه آب از منعقدکننده‌ها و کمک منعقدکننده‌های مختلفی استفاده می‌شود که براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کاربردهای مختلفی دارند که دو نوع از فراوان‌ترین آنها، نمک‌های آهن و آلومینیوم است (۱). از منعقدکننده‌های اصلی برای ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آنها به یکدیگر و از کمک منعقدکننده‌ها برای افزایش دانسیته ذرات بهم چسبیده و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر آنها استفاده می‌شود (۲و۳). پلی‌آلومینیوم کلراید (polyaluminum chloride) ازجمله منعقدکننده‌های معدنی است که از سال ۱۹۸۰تاکنون در تصفیه آب و فاضلاب استفاده شده است. به نحوی که امروزه در کشورهایی نظیر آمریکا، کانادا، چین، ایتالیا، فرانسه و انگلستان به یکی از رایج‌ترین منعقدکننده‌های مورد استفاده در تصفیه آب تبدیل شده است (۴). عملکرد در محدوده وسیع pH، حساسیت کمتر نسبت به حرارت، باقی‌گذاردن آلومینیوم باقیمانده کمتر نسبت به منعقدکننده‌های فلزی دیگر، کاهش لجن

تولیدی و سهولت آبگیری لجن از جمله مزایای پلی‌آلومینیوم کلراید است که افزایش مصرف آن را در تصفیه آب به دنبال داشته است. پلی‌آلومینیوم کلراید بهتر از آلوم هیدرولیز می‌شود و پلی‌هیدروکسیدهای با زنجیره ملکولی طولانی و شارژ الکتریکی بزرگ‌تری در محلول ایجاد می‌کند و بنابراین در خنثی‌سازی بار منفی ذرات کلوئیدی ومواد آلی موجود در آب‌ها بسیار موثر است. در آب‌هایی با کدورت متوسط و بالا در مقایسه با آلوم عمل انعقاد با پلی‌آلومینیوم کلراید بهتر صورت می‌گیرد و لجن با دانسیته بالاتری تولید می‌کند (۵). مطالعه مصطفی‌پور و همکاران در سال ۱۳۸۶ نشان داد که کاربرد پلی آلومینیوم کلراید برای آب‌هایی با کدورت کم (تا ۱۰ NTU) (Nephelometric Turbidity Unit) می‌تواند تا ۹۹ درصد کدورت را حذف نماید (۶). علاوه بر پلی‌آلومینیوم کلراید، متداول‌ترین نمک آلومینیوم مصرفی در عمل انعقاد سولفات آلومینیوم یا آلوم (Alum) است (۷). غلظت آلومینیوم در آب‌های طبیعی به صورت عمده بستگی به عوامل متغیر فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی دارد. غلظت آن در آب‌های با pH تقریباً طبیعی دامنه آن از ۰/۰۵ تا ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر است؛ اما افزایش تا میزان ۱-۰/۵ میلی‌گرم در لیتر در آب‌های اسیدی یا آب‌های غنی شده با مواد آلی وجود دارد. در آب‌های به‌شدت اسیدی که تحت تأثیر کانی‌های اسیدی قرار گرفته‌اند؛ غلظت آلومینیوم حل شده تا بالای ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نیز گزارش شده است (۸). در سال ۱۹۹۸جمعیتی در حدود ۲۰۰۰۰ نفر در منطقه Comelford انگلستان در تصفیه خانه آب شهر از سولفات آلومینیوم استفاده می‌کردند و به‌صورت ناگهانی میزان آلومینیوم ورودی به شبکه آبرسانی افزایش یافت و علائمی از قبیل تهوع، استفراغ، زخم دهان و بثورات پوستی در بین مصرف کنندگان پدیدار شد. کلیه علایم ملایم و کوتاه مدت بودند و اثرات پایدار بر روی سلامت افراد مشاهده نشد؛ لذا ارتباطی بین علایم بیماری و آلومینیوم موجود در آب آشامیدنی یافت نشد (۸). جذب مقادر زیاد آلومینیوم اثرات خطرناکی در انسان نظیر آنتی میکروسنتتیک، پوکی استخوان و نارسایی کلیه در بیماران دیالیزی ایجاد می‌کند. امروزه شواهد زیادی در مورد ارتباط بین اختلالات استخوانی و غلظت آلومینیوم در آب وجود دارد. این بیماری در اروپا به نیوکاسل استخوانی معروف است. ارتباط آلومینیوم با بیماری آلزایمر نیز از موضوعات مهمی است که باید به آن توجه نمود (۹و۱۰). استفاده از pH مناسب در پروسه انعقاد، پرهیز نمودن از استفاده دوزهای بالای منعقدکننده‌های آلومینیوم، مخلوط نمودن کافی و مطلوب در محل به‌کارگیری منعقدکننده، سرعت مناسب همزن‌ها برای تشکیل لخته‌های انعقاد و کارآیی مناسب فیلتراسیون برای حذف لخته‌های آلومینیومی، تعدادی از راهکارهایی است که غلظت آلومینیوم باقی‌مانده در آب تصفیه شده را به حداقل می‌رساند (۸). بهرحال اثرات سودمند آلومینیوم به‌عنوان یک منعقدکننده در تصفیه آب آشامیدنی مشخص شده؛ ولی بایستی ملاحظات بهداشتی مورد توجه قرار گیرد. این مطالعه به منظور تعیین میزان آلومینیوم باقیمانده ناشی از کاربرد آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب‌های کدر انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه آزمایشگاهی با استفاده از جار تست ۶ خانه‌ای به منظور تعیین شرایط بهینه برای مواد منعقدکننده آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی گلستان در سال ۱۳۹۰ انجام شد.

قبل از کار با دستگاه، ظروف جار با آب مقطر و مواد پاک کننده چندین بار شستشو و تمیز شدند. میزان حذف کدورت در محدوده‌های کم، متوسط و زیاد و میزان آلومینیوم باقیمانده در شرایط بهینه توسط کاربرد منعقدکننده‌های آلوم و پلی آلومینیوم کلراید در آب‌های نمونه مورد بررسی قرار گرفت.

کائولین استفاده شده در این تحقیق از نوع Merck و فرمول شیمیایی آن H2Al2Si2O8.8H2O (سیلیکات آلومینیوم هیدراته) و به‌صورت پودر سفیدرنگ بود. برای تهیه این سوسپانسیون، چند گرم از پودر کائولین وزن شده را به مدت ۳-۴ ساعت در یک آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار دادیم تا خشک شد. سپس آن را خارج کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در دسیکاتور قرار دادیم تا کاملاً آب آن گرفته و سرد شد. بعد از این مرحله، ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و مدت یک شب آن را کنار گذاشتیم تا کاملاً خیس شود. بعد از این مدت حجم محلول را به ۱/۵ لیتر رساندیم و توسط یک همزن به مدت ۲۰ دقیقه آن را کاملاً مخلوط نمودیم. مخلوط حاصل را به مدت ۴ ساعت در حالت سکون قرار دادیم تا ذرات درشت ته‌نشین شدند. سپس از مایع رویی یک لیتر برداشت کرده و در یک ارلن مایر ریختیم و به عنوان استوک آن را نگهداری نمودیم. از این سوسپانسیون برای تهیه آب مصنوعی با کدورت‌های مختلف در مطالعات آزمایشگاهی استفاده شد (۱۱). کدورت‌های به‌کار رفته شامل کدورت‌های کم (کمتر از ۳۰NTU-۱۰)، کدورت متوسط (۱۳۰ NTU-۱۰۰) و کدورت های بالا (۲۳۰ NTU-۲۰۰) بود.

برای اندازه‌گیری آلومینیوم باقیمانده در نمونه‌های آب به روش اریوکروم سیانین R منحنی استاندارد (کالیبراسیون) رسم گردید. به منظور تعیین pH بهینه برای منعقدکننده PAC و آلوم آزمایش جار در pH ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵ و ۸ انجام شد.

با توجه به کاربرد دو منعقد کننده و استفاده از آنها در سه نوع از کدورت‌های مختلف برای تعیین دوز بهینه هر یک از منعقدکننده‌ها تعداد ۷۲ نمونه و به منظور تعیین pH بهینه برای هر یک از مواد

منعقدکننده تعداد ۱۵ نمونه برداشت گردید. با توجه به حصول شرایط بهینه در سه نوع کدورت و توسط دو نوع منعقدکننده در این مطالعه ۳ دوز بهینه در سه نوع کدورت برای هر یک از منعقدکننده‌ها حاصل شد. لذا تعداد نمونه لازم برای تعیین میزان آلومینیوم باقیمانده برای هر یک از منعقدکننده‌ها با ۳ بار تکرار ۹ نمونه و در مجموع ۱۸ نمونه حاصل گردید.

معیار ورود به مطالعه شامل همه نمونه‌های آب ساخته شده در محدوده کدورت کم، متوسط و زیاد بود و در این روش در مقیاس آزمایشگاهی، نمونه‌های آب به میزان یک لیتر در ۶ جار ریخته شد. پس از به‌دست آوردن pH بهینه و تنظیم آن در شرایط بهینه، با افزودن قلیائیت کل به صورت مصنوعی به آب نمونه در حد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با استفاده از بی‌کربنات سدیم، آزمایش جار با افزودن آلوم با مقدار اولیه ۵ میلی گرم بر لیتر راه‌اندازی گردید. در مرحله اختلاط سریع طی زمان ۳۰ ثانیه و با شدت اختلاط ۱۰۰ دور در دقیقه و سپس در مرحله اختلاط کند با شدت ۲۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۵ دقیقه نمونه‌ها هم زده شد و پس از این مراحل نمونه‌ها از زیر دستگاه خارج شد و به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط سکون (مرحله ته نشینی) قرار گرفت. بعد از این مدت نمونه‌برداری به میزان ۱۰ میلی‌لیتر از ۱۰ سانتی‌متر زیر سطح آب برای تعیین کدورت باقیمانده انجام گرفت. بالاترین راندمان حذف کدورت در غلظت‌های مختلف از ماده منعقد کننده و در pH مشخص به عنوان شرایط بهینه قلمداد گردید (۱۱و۱۲). سپس در شرایط بهینه حاصله، برای تعیین میزان آلومینیوم باقیمانده، نمونه‌هایی به حجم ۳۰ میلی‌لیتر از هر جار و در عمق ۱۰ سانتی‌متر زیر سطح آب برداشت گردید. در مورد پلی‌آلومینیوم کلراید نیز همین مراحل برای به‌دست آوردن دوز بهینه و تعیین آلومینیوم باقیمانده تکرار گردید. روش‌های آزمایش به منظور تعیین کدورت و آلومینیوم بر اساس کتاب استاندارد متد استوار بود و بر این اساس تعیین کدورت طبق روش نفلومتری و با استفاده از دستگاه کدورت سنج HACH نوع 2100P ساخت امریکا و تعیین آلومینیوم طبق روش آزمایشگاهی اریوکروم سیانین R انجام شد. برای اندازه‌گیری آلومینیوم باقیمانده در آب منحنی استاندارد رسم گردید. بدین‌ترتیب یک سری از استانداردهای آلومینیوم از صفرتا ۲۸۰میکروگرم در لیترتهیه شد و سپس در طول موج 535nm توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (JENWAY ، انگلستان) میزان جذب هر یک از نمونه‌ها قرائت گردید و نمودار جذب و غلظت توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید (۱۳). براساس استاندارد ثانویه آب آشامیدنی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US.EPA) (United State. Environmental Protection Agency) حداکثر مقدار یون آلومینیوم در آب آشامیدنی ۰/۲-۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بود (۱۴).

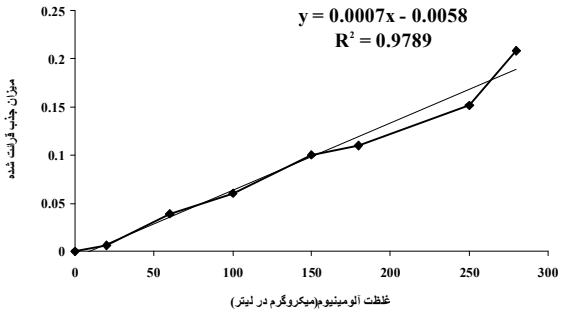
داده ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPS-S16 تجزیه و تحلیل شدند. برای تعیین تفاوت بین میانگین داده‌ها وتاثیرپذیری هر یک از متغیرها و مقایسه نتایج از آزمون ANOVA و ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. سطح معنی‌داری شامل مقادیر کمتر از ۰/۰۵ بود.

یافته‌ها

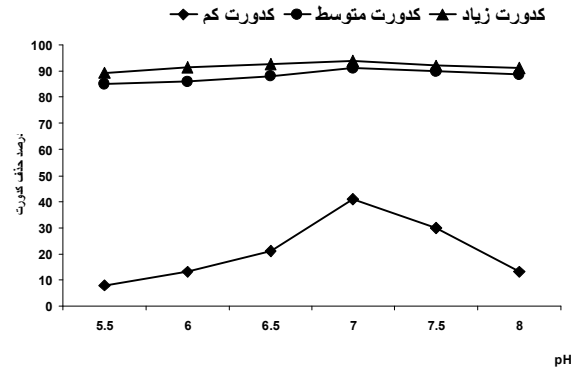
نمودار یک منحنی جذب – غلظت آلومینیوم در آب را نشان می‌دهد. با توجه به منحنی فوق، معادله خط y=0.0007X-0.0058 و R^2=0.9789 به دست آمد.

مطابق نمودارهای ۲ و ۳ pH بهینه برای منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید و آلوم به طور مشابه عدد ۷ به دست آمد.

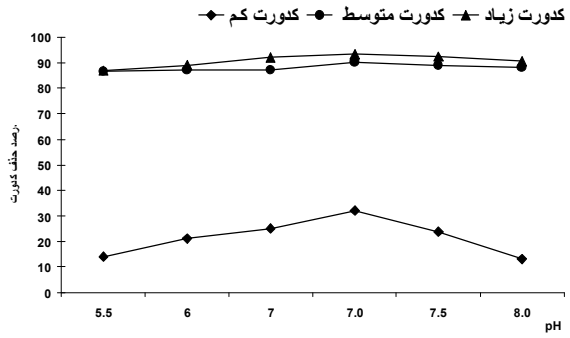
طبق نمودار ۴ غلظت بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید در کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۲۵ ، ۱۵ و ۱۵ میلی گرم بر لیتر و راندمان حذف کدورت به ترتیب ۴۵درصد، ۹۲/۵درصد و ۹۱/۶درصد حاصل شد. نتایج به دست آمده در مورد غلظت بهینه آلوم طبق نمودار ۵ نشان می‌دهد که غلظت بهینه آلوم در کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۲۰ ، ۱۵ و ۷/۵ میلی گرم بر لیتر و راندمان حذف کدورت به ترتیب ۵۸درصد، ۹۱/۱درصد و ۹۴/۱درصد به‌دست آمد.



نمودار ۱ : منحنی کالیبراسیون آلومینیوم



نمودار ۲ : تعیین pH بهینه برای منعقدکننده‌های پلی‌آلومینیوم کلراید در کدورت‌های کم (کمتر از NTU۳۰-۱۰)، کدورت متوسط (NTU ۱۳۰-۱۰۰) و کدورت‌های بالا (NTU ۲۳۰-۲۰۰)

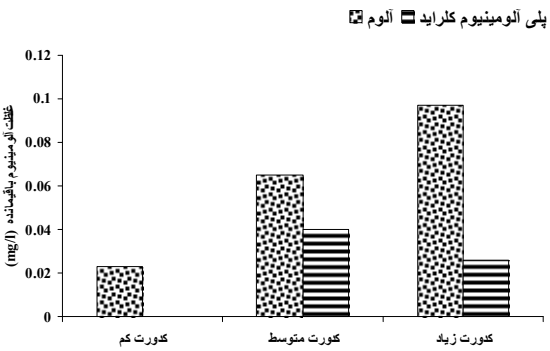


نمودار ۳ : تعیین pH بهینه برای منعقدکننده‌های آلوم در کدورت‌های کم (کمتر از NTU۳۰-۱۰)، کدورت متوسط (NTU ۱۳۰-۱۰۰) و کدورت‌های بالا (NTU ۲۳۰-۲۰۰)

نمودار ٤ : تعیین غلظت بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید در کدورت‌های کم (کمتر از NTU۳۰-۱۰)، کدورت متوسط (NTU ۱۳۰-۱۰۰) و کدورت‌های بالا (NTU ۲۳۰-۲۰۰) (pH=۷)

نمودار ۵ : تعیین غلظت بهینه آلوم در در کدورت‌های کم (کمتر از NTU۳۰-۱۰)، کدورت متوسط (NTU ۱۳۰-۱۰۰) و کدورت‌های بالا (NTU ۲۳۰-۲۰۰) (pH=۷)

با توجه به نمودار ۶ میزان آلومینیوم باقیمانده توسط کاربرد پلی آلومینیوم کلراید در آب‌هایی با کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب صفر، ۰/۰۴ و ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر و میزان آلومینیوم باقیمانده توسط کاربرد آلوم در آب‌هایی با کدورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۰/۰۲۳ ، ۰/۰۶ و ۰/۰۹ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. بین دوز مصرفی آلوم و پلی آلومینیوم کلراید با میزان آلومینیوم باقیمانده ارتباط آماری معنی‌داری به‌دست آمد (P<۰/۰۱).



نمودار ٦ : میزان آلومینیوم باقیمانده ناشی از کاربرد منعقدکننده‌ها در آب‌های کدر

بحث

تعیین آلومینیوم باقیمانده در دوز بهینه آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در کدورت‌های مختلف در این مطالعه نشان داد که استفاده از هر یک از منعقدکننده‌ها با افزایش کدورت سبب افزایش آلومینیوم باقیمانده در آب می‌شود. از طرفی مشاهده شد که غلظت یون آلومینیوم باقیمانده در آب با مصرف پلی‌آلومینیوم کلراید، در مقایسه با آلوم کاهش یافت. نتایج موجود حاکی از آن است که میزان آلومینیوم باقیمانده با استفاده از پلی‌آلومینیوم کلراید فقط در آب‌هایی با کدورت متوسط بالاتر از حد مجاز (۰/۰۴ mg/l) بوده است؛ ولی در مورد کاربرد آلوم در تمام موارد (آب‌هایی با کدورت کم، متوسط و زیاد) میزان آلومینیوم باقیمانده از حد مجاز بیشتر به دست آمد.

حلالیت آلوم در آب به شدت بستگی به pH دارد. اگر pH محلول بین ۴ تا ۵ باشد؛ عموماً آلوم به شکل یون‌های مثبت $Al(OH)^{+2}$ ، $Al(OH)^{+4}$ و Al^{+3} وجود دارد. زمانی که آلوم به‌صورت ترکیبات با بار منفی در محلول غالب باشد؛ مکانیسم انعقاد جارویی اتفاق می‌افتد و این عمل هنگامی رخ می‌دهد که pH آب بین ۶ تا ۸ باشد (۱۵). نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر در مورد تعیین pH بهینه منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید وضعیتی مشابه با آلوم را دنبال می‌کند. راندمان حذف کدورت نشان می‌دهد که کارایی پلی‌آلومینیوم کلراید در رابطه با حذف کدورت در این pH، پایین‌تر از آلوم است. علت اصلی این پدیده، کم بودن تعداد مونومرهای تولیدی با بار مثبت (تعداد یون‌های مثبت آلومینیوم و سولفات) در محلول توسط پلی‌آلومینیوم کلراید است که می‌تواند در مکانیسم خنثی‌سازی بار شرکت نماید. در مطالعه Yang و همکاران پلی‌آلومینیوم کلراید در pH بین ۶ تا ۷، عملکرد خوبی در

حذف کدورت نشان داد و میزان آلومینیوم باقیمانده، کمتر از pH بزرگ‌تر از ۷ به دست آمد (۱۲). دانستن pH بهینه در فرآیند انعقاد بسیار مهم است و سبب تشکیل لخته‌های بزرگ‌تر و در نتیجه حذف کدورت بهتر می‌گردد. کارآیی آلوم نسبت به پلی‌آلومینیوم کلراید به شدت تحت تاثیر این پارامتر است. این مسأله یکی از محدودیت‌های مهم کاربرد آلوم به عنوان منعقدکننده در فرآیند تصفیه آب محسوب می‌شود. براساس نتایج این مطالعه در pH بین ۶/۵ تا ۷/۵ کدورت آب کاهش مناسبی داشت و در pH مساوی با ۷، بالاترین راندمان حذف کدورت حاصل شد. در کدورت‌های بالاتر لخته‌های به‌دست آمده بزرگ‌تر و سنگین‌تر بودند و زمان ته‌نشینی با افزایش کدورت کاهش یافت. در خارج از این محدوده pH، راندمان حذف کاهش یافت.

در مطالعه ما مقایسه غلظت بهینه پلی‌آلومینیوم کلراید و آلوم در کدورت‌های مختلف نشان داد که راندمان حذف متاثر از کدورت اولیه بوده است. به طوری که هرچه کدورت اولیه بیشتر باشد؛ راندمان حذف نیز بیشتر خواهد بود. افزایش راندمان حذف کدورت از ۴۵درصد در کدورت کم تا ۹۱/۶درصد در کدورت زیاد، تایید کننده این مطلب است. کاهش زمان رسوب‌گذاری به دلیل سرعت و قدرت بالای انعقاد و لخته‌سازی، کاهش حجم لجن، مصرف قلیایت کم و کاهش اندک pH و باقیمانده آلومینیوم ناچیز، کاربرد پلی‌آلومینیوم کلراید را از نظر اقتصادی و بهداشتی مناسب‌تر از آلوم می‌کند. در آب‌هایی با کدورت متوسط و بالا در مقایسه با آلوم عمل انعقاد با پلی آلومینیوم کلراید بهتر صورت می‌گیرد و لجن با دانسیته بالاتری تولید می‌کند. در منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید قسمت اعظم یون‌های آلومینیوم به شکل الیگومر و پلیمر است و فقط یک پروتون کوچک از آلومینیوم مشابه سولفات آلومینیوم در فرم مونومری وجود دارد. این عامل اختلاف بزرگی بین سولفات آلومینیوم و ترکیبات پلی‌آلومینیوم کلراید و نیز دلیل برتری تکنیکی پلی‌آلومینیوم کلراید در فلوکولاسیون است (۱۱). مطالعه محوی و همکاران روی رودخانه اروند رود در استان خوزستان نشان داد که میزان حذف کدورت توسط کاربرد پلی‌آلومینیوم کلرید بین ۹۰ تا ۹۸ درصد حاصل شد و با افزایش کدورت میزان حذف به ۹۹درصد نیز افزایش یافت (۱۶). در مطالعه Deng و همکاران راندمان حذف کدورت در شرایط بهینه آب‌های سطحی بین ۳ تا NTU۱۰/۵، توسط پلی‌آلومینیوم کلراید بین ۷۳/۳درصد تا ۸۳/۳درصد حاصل شد (۱۷).

سولفات آلومینیوم یا آلوم یکی از فراوان‌ترین منعقدکننده‌های به‌کاررفته در تصفیه آب است. حمل و نقل آسان و کاربری ساده آن باعث شده در بسیاری از کشورها از این ماده به عنوان منعقدکننده استفاده گردد. در مطالعه حاضر میزان غلظت بهینه آلوم در کدورت کم تا زیاد نشان می‌دهد که با افزایش کدورت میزان غلظت آلوم کاهش داشته است؛ ولی میزان حذف کدورت از ۵۸درصد به ۹۴/۱درصد افزایش یافت. لذا میزان کدورت می‌تواند اثر مستقیمی در راندمان حذف کدورت توسط منعقدکننده داشته باشد و همچنین با افزایش کدورت مقدار ماده منعقدکننده مصرفی کاهش می‌یابد. این نتایج مشابه نتایج به‌دست آمده مطالعه قبلی ما بود. به طوری که راندمان حذف کدورت توسط آلوم با افزایش کدورت افزایش داشت. به طوری که راندمان حذف کدورت از ۷۱/۶درصد به ۹۸/۳درصد رسید (۱۱). مقایسه نتایج حاصل از استفاده منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید وآلوم نشان داد که کارایی حذف کدورت توسط آلوم نسبت به پلی آلومینیوم کلراید بهتر بوده و میزان مصرف ماده منعقد کننده نیز با افزایش کدورت کاهش نشان داد. البته در مورد پلی‌آلومینیوم کلراید نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد؛ ولی میزان استفاده از آنها در حذف کدورت نسبت به آلوم کمی زیادتر است. نتایج مطالعه مصطفی پور و همکاران نیز نشان داد که بهترین منعقد کننده در حذف کدورت نسبت به پلی آلومینیوم کلراید و کلراید فریک، منعقد کننده آلوم است (۶). ارزیابی‌های صورت گرفته نشان داد که در حذف کدورت بین دو منعقد کننده آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد.

در منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید قسمت اعظم یون‌های آلومینیوم به شکل الیگومر و پلیمر است و فقط یک پروتون کوچک از آلومینیوم مشابه سولفات آلومینیوم در فرم مونومری وجود دارد. این عامل اختلاف بزرگی بین سولفات آلومینیوم و ترکیبات پلی آلومینیوم کلراید به‌وجود می‌آورد. با خنثی‌ساز کلیه بارهای منفی ذرات کلوئیدی توسط پلی‌آلومینیوم کلراید احتمال وجود آلومینیوم به شکل مونومری با توجه به کدورت آب و میزان خنثی‌سازی بار کمتر وجود دارد و بنابراین در تصفیه آب به شکل آلومینیوم باقیمانده کمتر ظاهر می‌شود. این پدیده دلیل برتری تکنیکی پلی‌آلومینیوم کلراید در فلوکولاسیون نسبت به آلوم است (۱۸). همچنین با توجه به مطالعه قبلی ما در کاربرد آلوم به تنهایی برای حذف کدورت، میزان آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده بین ۱/۶-۱ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد (۱۱). این میزان بالاتر از حد استاندارد آب تصفیه شده است که میزان آلومینیوم باقیمانده را ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر توصیه کرده‌اند (۱۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از پلی آلومینیوم کلراید در مقایسه با آلوم به عنوان یک منعقدکننده مناسب و بهداشتی در فرآیند تصفیه آب ارجح است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب (شماره ۶۸۵) کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی گلستان بود و با حمایت مالی معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی گلستان انجام شد. بدین وسیله از خانم مهندس سمیه بیرامی به‌خاطر همکاری در انجام آزمایشات تشکر و قدردانی می گردد.

References

1. Okuda T, Baes AU, Nishijima W, Okada M. Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed. Water Res. 1999; 33(15):3373-3378.

2. Benefield LD, Judkins JF, Weand B. Process chemistry for water and wastewater treatment. New Jersy: Prentice-Hall. 1982; pp: 211-12.

3. Mackenzie LD, Cornwell DA. Introduction to Environmental Engineering. 2nd. New York: McGraw Hill Inc.1991; pp:160-182.

4. Montgomery JM. Water treatment principals and design. New York: John Wiley and Sons Inc. 1995; pp: 116-134.

5. Aguilar MI, Sáez J, Lloréns M, Soler A, Ortuño JF, Meseguer V, Fuentes A. Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. Chemosphere. 2005 Jan;58(1):47-56.

6. Kord Mostafapoor F. [Effectiveness of three coagulants of polyaluminum chloride, aluminum sulfate and ferric chloride in turbidity removal from drinking water]. Zahedan J Res Med Sci. 2008;10(2):17-25. [Article in Persian]

7. AWWA. Water Quality and Treatment: a hand book of community water supplies. 4th. New York: McGraw Hill Inc. 1999; pp: 220-21.

8. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. 4th. 2011. Avaiable from: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf?ua=1

9. Miller RJ, Kopfler FC, Kelty KC, Stober JA, Ulmer NS. The occurrence of aluminum in drinking water. Technol J Am Water Works Assoc. 1984; 76(1):84-91.

10. Srinivasan PT, Viraraghavan T. Characterisation and concentration profile of aluminium during drinking water treatment. Water Salinity. 2002; 28(1):99-106.

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): 60-9. [Article in Persian]

12. Yang Z, Gao B, Wang Y, Wang Q, Yue Q. Aluminum fractions in surface water from reservoirs by coagulation treatment with polyaluminum chloride (PAC): Influence of initial pH and $OH^-/Al3^+$ ratio. Chem Eng J. 2011 May; 170(1): 107-13.

13. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Washington DC: American Public Health Association. 2005; pp: 9-70.

14. National Primary Drinking Water Standards. 2003; EPA Number 816F03016. http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/mcl.pdf

15. EPA. Guidance Manual Turbidity Provisions. Turbidity through the treatment process. 1999 Apr; pp: 1-22.

16. Mahvi AH, Sheikhi R. [PACl application for water treatment in Abadan city]. J Ilam Univ Med Sci. 2006; 14(2): 48-57. [Article in Persian]

17. Deng S, Zhou Q, Yu G, Huang J, Fan Q. Removal of perfluorooctanoate from surface water by polyaluminium chloride coagulation. Water Res. 2011 Feb;45(4):1774-80.

18. Tchobanoglous G, Hand DW, Trussell RR, Howe KJ. Water treatment: principles and design. 1st. New York: John Wiley and Sons Inc. 2005; pp: 643-779.

Original Paper

Residual Aluminum from application of Alum and Polyaluminum Chloride in removal of turbidity from turbid water

**Mehdinejad MH (Ph.D)*[1], Alimohammadi N (B.Sc)[2], Arbabmojeni S (B.Sc)[2]
Soltani A (B.Sc)[2], Amanbaei A (B.Sc)[2]**

[1]Assistant Professor, Environmental Health Research Center, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Golestan University of Medical Science, Gorgan, Iran. [2]Environmental Health Engineering.

Abstract

Background and Objective: Different coagulants including aluminum sulfate (Alum) and Polyaluminum Chloride (PAC) are used for water clarification process and deposition of colloidal particles. The use of coagulants causes some residual aluminum in water. The residual aluminum higher than 0.2 mg/l, has adverse effects on human health and environment. This study was conducted to determine the amount of residual aluminum by applying Polyaluminium chloride and aluminum sulfate for turbidity removal from turbid water.

Methods: In this laboratory study, the experiments were run by using synthetic water having low (10-30 NTU), medium (100-130 NTU) and high (200-230 NTU) initial turbidities. Synthetic turbid water was prepared by adding stock kaolin suspension into distilled water. Samples of 1 liter of water were poured on 6 Jars. After adjusting of pH, coagulant was added into each beaker at various doses and agitated at 100 rpm for 30s. The mixing speed was then reduced to 20 rpm and kept for another 15 minutes. The suspensions were left for sedimentation and after 30 minutes of sedimentation, clarified samples were collected from the top of the beakers. Residual turbidity and residual aluminum was measured. The residual turbidity was measured using a Turbidimeter according to Nephlometric method. The residual aluminum was determined by Eriochrome cyanine R method.

Results: Residual alminium in low, medium and high turbidities was 0.006 mg/l, 0.05 mg/l and 0.07 mg/l by applying Polyaluminum Chloride and 0.065 mg/l, 0.15 mg/l and 0.22 mg/l by applying alum, respectively. There was a significant correlation between dosage of Alum and Polyaluminum Chloride with residual aluminium ($P<0.05$).

Conclusion: Polyaluminum Chloride due to low sensitivity to pH variation and less residual aluminum in treated water is more suitable than alum coagulant and could be used as a recommended water coagulant.

Keywords: Alum, Polyaluminum Chloride, Turbid water, Residual aluminum

*** Corresponding Author: Mehdinejad MH (Ph.D), E-mail: hmnejad@yahoo.com**

Received 11 February 2013 **Revised** 14 August 2013 **Accepted** 18 August 2013

This paper should be cited as: Mehdinejad MH, Alimohammadi N, Arbabmojeni S, Soltani A, Amanbaei A. [Residual Aluminum from application of Alum and Polyaluminum Chloride in removal of turbidity from turbid water]. J Gorgan Uni Med Sci. 2014; 16(1): 82-88. [Article in Persian]