

بررسی امکان حذف اسید هیومیک با نمک‌های آهن و آلومینیوم از منابع آبی در شرایط انعقاد متداول

علی احمد آقاپور^۱، سپیده نعمتی^۲، امیر محمدی^۳، حامد جهانی^۴، سیما کریم‌زاده^۲

تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش ۱۳۹۵/۰۲/۰۲

چکیده

پیش‌زمینه و هدف: اسید هیومیک عامل اصلی تشکیل تری‌هالومتان‌ها (THMs) در فرایند کلرزنی آب می‌باشد که سرطان‌زای شناخته شده‌اند. هدف این مطالعه بررسی قابلیت حذف اسید هیومیک توسط سه ماده منعقد کننده PACl، الوم و کلروفریک از منابع آبی و اثر آن بر پتانسیل زتا بوده است.

مواد و روش کار: این مطالعه به صورت تجربی در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. آزمایشات در راکتور ناپیوسته در غلظت ۱۰ mg/l اسید هیومیک، pH در محدوده ۵، ۷ و ۹ و دوزهای منعقد کننده ۱۰، ۲۰ و ۳۰ mg/l انجام گرفت مقادیر پتانسیل زتا و THMs هم تحت شرایط بهینه حذف اسید هیومیک اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: این مطالعه نشان داد در دوزهای بهینه برای حذف اسید هیومیک کلروفریک با راندمان حذف ۸۹ درصد بالاترین کارایی را داشته است و PACl با ۸۸ درصد و الوم با ۸۱ درصد در رتبه بعدی قرار داشتند ولی مقادیر شاخص SUVA فقط برای کلروفریک کمتر از محدوده مجاز (کمتر از ۲ L/mg m) به دست آمد. همچنین در شرایط بهینه مقادیر pH، پتانسیل زتا و تری‌هالومتان به ترتیب بالای ۷، ۱۵ mV- و کمتر از ۵۰ ppb حاصل شد.

نتیجه‌گیری: کلروفریک می‌تواند برای حذف اسید هیومیک مورد استفاده قرار گیرد ولی کاربرد نمک‌های آلومینیوم امکان تشکیل THMs را افزایش می‌دهد. کلرزنی آب تصفیه شده با کلروفریک کاهش مقادیر تری‌هالومتان به محدوده مجاز USEPA ($80 > \text{ppb}$) را تأیید نمود. همچنین مکانیسم غالب حذف اسید هیومیک توسط کلروفریک با توجه به مقادیر پتانسیل زتا جذب سطحی تعیین گردید.

کلیدواژه‌ها: کلروفریک، آب، اسید هیومیک، تری‌هالومتان، انعقاد

مجله پزشکی ارومیه، دوره بیست و هفتم، شماره سوم، ص ۲۴۷-۲۴۰، خرداد ۱۳۹۵

آدرس مکاتبه: یزد بلوار صفاییه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد تلفن و فکس ۸۲۰۹۱۰۱ - ۰۳۵۳

Email: mohammadiurm@gmail.com

مقدمه

دیگر گندزدها، سهولت کاربرد و داشتن باقیمانده مناسب در شبکه هنوز هم متداول‌ترین گندزدا در جهان و بخصوص در کشورهای درحال توسعه مثل ایران بوده است (۲، ۳). با این وجود، به علت پتانسیل تشکیل محصولات تغییر شکل یافته مضر، از کلر برای اکسیداسیون ریز آلاینده‌های آلی استفاده نمی‌شود (۴). زیرا کلر با مواد آلی طبیعی محلول واکنش داده و ترکیبات آلی متعددی تولید می‌کند که اصطلاحاً محصولات ثانویه گندزدایی (DBPs) نامیده می‌شود. در بین ترکیبات ثانوی حاصل از گندزدایی با کلر، تری‌هالومتان‌ها و هالو استیک اسیدها به عنوان اولین و مهم‌ترین

امروزه غلظت آلاینده‌های آب که بیشتر پایه آلی دارند به نحو نگران کننده‌ای در حال افزایش می‌باشد. مواد آلی طبیعی و مصنوعی موجود در آب شامل مواد هیومیک، بقایای میکروارگانیسم‌ها و متابولیت‌های آن‌ها، هیدروکربن‌های آروماتیک و آلیفاتیک با منشأ نفتی و با وزن مولکولی بالا می‌باشد (۱). برای حذف این آلودگی‌ها در کنار فرایندهای متداول تصفیه آب از گندزدهایی نظیر اوزون، اشعه ماورای بنفش، کلر و برخی ترکیبات جانبی آن نظیر دی‌اکسید کلر استفاده می‌شود. کلر به علت ارزان بودن نسبی در مقایسه با

^۱ استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

^۲ کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

^۳ دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ایران (نویسنده مسئول)

^۴ کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، شرکت آب و فاضلاب روستایی آذربایجانغربی، ارومیه، ایران

¹ disinfection by product synthetic

هدف این مطالعه بررسی قابلیت حذف اسید هیومیک توسط سه ماده منعقد کننده PACI، الوم و کلرو فریکاز منابع آبی و اثر آن بر پتانسیل زتا بوده است.

مواد و روش کار

این مطالعه به صورت تجربی در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. نمونه های آب مورد نیاز، در اوایل پاییز ۱۳۹۳ به صورت تصادفی از ابتدای آب ورودی به آبگیر بند ارومیه به حجم ۲۰ لیتر برداشت شد مواد و ترکیبات شیمیایی مورد استفاده شامل اسید هیومیک ساخت کمپانی سیگما الدریج، نمک های منعقد کننده (کلروفریک، آلوم و PACI) ساخت کمپانی مرک، اسید کلریدریک و سود ساخت کمپانی مرک آلمان بود.

در آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت ارومیه به منظور تهیه نمونه هایی با غلظت ۱۰ mg/l ابتدا یک محلول ۱۰۰۰ ppm از اسید هیومیک ساخته شد و بعد از سنجش اسید هیومیک نمونه آب رودخانه شهر چای، مقادیر اسید هیومیک مورد نیاز به آن افزوده شد.

متغیرهای مطالعه شامل pH، دوز منعقد کننده (کلروفریک، آلوم و PACI) و غلظت اسید هیومیک (پیش ساز اصلی تری هالو متان) بود که در غلظت ۱۰ mg/l اسید هیومیک؛ سه pH در محدوده ۵، ۷ و ۹ و دوزهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ mg/l منعقد کننده عملیات انعقاد - لخته سازی در یک راکتور ناپیوسته منقطع (دستگاه جارست ساخت کمپانی HACH) انجام گرفت که مرحله انعقاد دو دقیقه با سرعت ۱۲۰ rpm، مرحله لخته سازی ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰ rpm و ته نشینی به مدت ۲۰ دقیقه انجام گرفت تا مناسب ترین نمک منعقد کننده و شرایط بهینه حذف به دست آید.

به منظور تنظیم pH اولیه نمونه ها از اسید کلریدریک و سود رقیق با غلظت ۰/۱ mol/l استفاده شد. برای اندازه گیری غلظت اسید هیومیک طبق روش استاندارد متد ۲۰۰۵ از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج UV₂₅₄ مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای DOC و UV₂₅₄ به عنوان شاخص جذب ویژه اشعه ماورای بنفش (SUVA) در ابتدا و انتهای راه اندازی سیستم ناپیوسته طبق روش های گفته شده در مرجع استاندارد متد توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر HACH مدل DR 5000 و TOC متر Shimadzu اندازه گیری شد. برای سنجش پتانسیل زتا در دوزهای مختلف نمک های منعقد کننده از زتامتر با مارک Malvern استفاده شد. پتانسیل زتا برای شناخت مکانیسم انعقاد و حذف آلاینده اهمیت زیادی دارد.

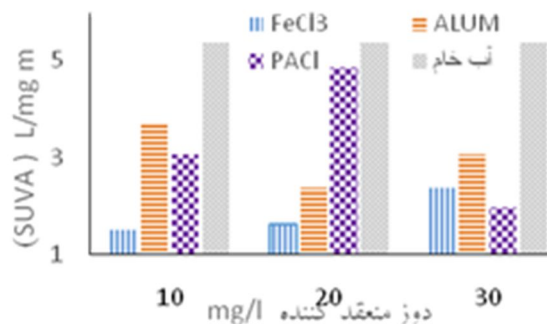
محصولات ثانوی گندزدایی گزارش شده اند (۵). مهم ترین اثرات بهداشتی تری هالومتان، ایجاد سرطان در انسان و حیوان می باشد همچنین رابطه بین خطر ابتلای سرطان مثانه، کولون و اثر بر دستگاه تنفسی با مصرف آب های کلرینه شده و مرده زایی توسط برخی کارشناسان گزارش شده است. (۶). تشکیل THMs^۲ به فاکتورهای زیادی از قبیل وجود پیش سازها^۳ (NOMs)، درجه حرارت، زمان تماس، خصوصیات کلر، غلظت کلر باقیمانده، pH و غلظت برم بستگی دارد (۷). مهم ترین فاکتور پتانسیل تشکیل تری هالومتان ها^۴ (THMFP) وجود پیش سازهای آن در آب می باشد که اسیدهای هیومیک عمده ترین آن ها به شمار می رود. هیومیک ها ترکیباتی بسیار پیچیده و ناهمگون از مواد آلی با وزن مولکولی بالا، با گروه های فعال مختلف (کربوکسیل و فنل) و هسته آروماتیک هستند که از تجزیه شیمیایی و بیولوژیکی بافت های گیاهان و حیوانات از قبیل لیگنین به وجود می آیند (۸). از روش های حذف اسید هیومیک می توان به اکسیداسیون پیشرفته، جذب و روش های نوین مانند فناوری غشاها اشاره نمود عیب اصلی این روش ها نیاز به نیروی متخصص و هزینه بالای تهیه و راهبری آن می باشد (۸). در مطالعه ای دیوید فیرینگ و همکاران در انگلستان، برای حذف اسید هیومیک آب به صورت تلفیقی از رزین، اشعه UV و انعقاد استفاده نمودند، راندمان حذف را ۷۵ تا ۹۰ درصد به دست آوردند که کارایی خوبی داشته ولی فرایند نسبتاً پیچیده ای به نظر می رسد (۹). چنگ فنگ لین و همکاران در تحقیقی مشترک بین دانشگاه مری لند و دانشگاه ملی تایوان برای حذف مواد هیومیکی آب از به صورت مقایسه ای از دو روش فناوری غشای UF و ترکیبی از UF و PAC استفاده کردند و نتایج نشان داد که غشای UF راندمان کمی داشته و ترکیب UF و PAC برای حذف این ترکیبات با وزن مولکولی کمتر از ۳۰۰ دالتون و بیشتر از ۱۷۰۰ دالتون مؤثر نیست (۱۰). ارون و همکاران از دانشگاه کلرادو برای کاهش تولید THMs از اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از H₂O₂/UV بعد از کلرزنی استفاده کردند این روش کارایی مناسبی در حذف اسید هیومیک داشت ولی هزینه نسبتاً بالایی دارد (۱۱)... نمک های آهن و آلومینیوم معمولاً برای حذف کدورت منابع آب بکار می رود ولی برای حذف رنگ و برخی آلاینده های آب نیز توصیه شده است مکانیسم های حذف این نمک ها و دوز مصرفی آن ها بستگی به مقادیر پتانسیل زتا دارد لذا برای تعیین نمک منعقد کننده مناسب جهت حذف برخی آلاینده های آب سنجش پتانسیل زتا می تواند حائز اهمیت باشد (۸، ۱۲).

4. Thrihalomethane formation potencial

2. Thrihalomethane

3. Natural Organic Matter

هیومیک توسط کلروفریک، الوم و PACI در دوزهای مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است بر اساس نتایج مندرج در این نمودار کلروفریک (درصد ۸۹) و PACI (درصد ۸۸) کارایی مناسب‌تری داشته است در شکل (۲) شاخص SUVA قبل و بعد از فرایند انعقاد- لخته سازی نشان داده شده است ولی مقادیر این شاخص فقط برای کلروفریک کم‌تر از محدوده مجاز USEPA (کم‌تر از ۲ L/mg m) به دست آمده است (۱۴) لذا کاربرد نمک‌های آلومینیوم در منابع آب حاوی اسید هیومیک در حدود ۱۰ mg/l می‌تواند پتانسیل تولید محصولات ثانوی کلرزی آب را افزایش دهد. شناخت مکانیسم انعقاد لخته سازی مستلزم سنجش پتانسیل زتا در دوزهای مختلف نمک منعقد کننده می‌باشد شکل (۳) مقادیر پتانسیل زتا را نشان می‌دهد بر اساس نتایج نمودار کلروفریک از نقطه ایزوالکتریک (پتانسیل زتا برابر صفر) فاصله زیادی داشته ولی الوم و مخصوصاً PACI نزدیک به نقطه ایزوالکتریک هستند در این نقطه مکانیسم خنثی‌سازی بار می‌تواند غالب باشد لذا مکانیسم انعقاد در این نمک‌ها مختلف بوده است. همچنین طبق شکل (۴) در pH=۷ کلروفریک و PACI بالاترین کارایی حذف اسید هیومیک را داشته‌اند و الوم در pH حدود ۹ کارایی بالایی داشته است در جدول شماره (۲) پتانسیل تشکیل تری‌هالومتان قبل و بعد از به دست آوردن مناسب‌ترین نمک منعقد کننده و شرایط بهینه حذف اسید هیومیک (۱۰ mg/l) نشان می‌دهد مقادیر تری‌هالومتان و شاخص SUVA بعد از حذف اسید هیومیک توسط کلروفریک در محدوده مجاز بوده است (۱۴).

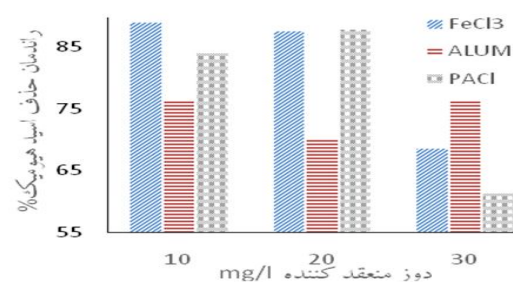


شکل (۲): مقادیر شاخص SUVA باقیمانده در نمونه آب خام و در نمونه‌های حاوی دوزهای مختلف کلروفریکبا کارایی بالا، الوم و PACI

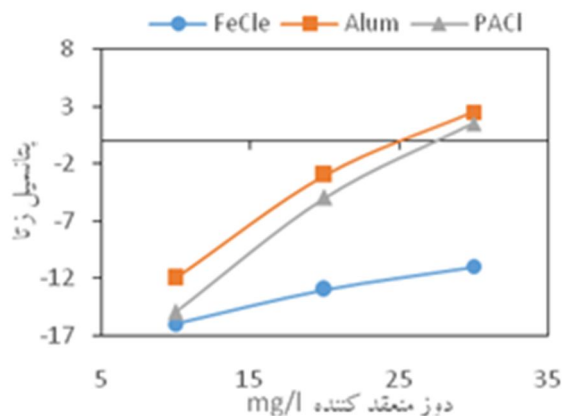
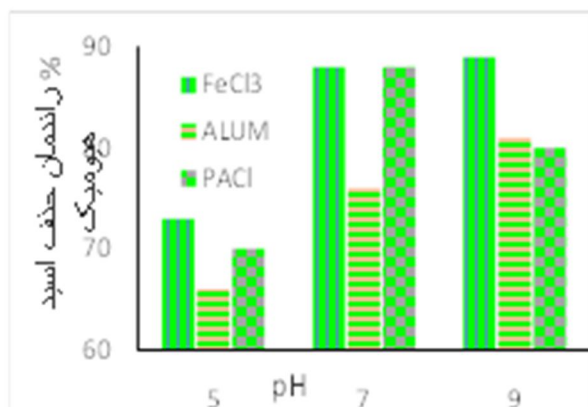
همچنین بعد از به دست آوردن مناسب‌ترین نمک منعقد کننده و شرایط بهینه حذف اسید هیومیک ۱۰ mg/l به نمونه آب خام رودخانه شهرچای ارومیه مطابق دستورالعمل B ۵۷۱۰ مرجع استاندارد متد (۱۳) کلرزی با دوز ۱۰ mg/l انجام شد و بعد از ۷ روز با داشتن مقادیر کلر باقیمانده بالای ۳ mg/l مقادیر تری‌هالومتان متشکله مورد آنالیز قرار گرفت. سنجش کلر باقیمانده آزاد و تری‌هالومتان، طبق رهنمودهای کتاب استاندارد متد و دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده امریکا (USEPA (1995) Method 524.2 اندازه‌گیری شدند. به منظور آنالیز تری‌هالومتان از دستگاه طیف‌سنج جرمی (GC-MS) مدل TN 100 ساخت شرکت Agilent استفاده شد. دتکتور مورد استفاده از نوع MS با مشخصات تزریق: فن تزریق 1: Split 2 و درجه حرارت تزریق °C ۱۶۰، حجم تزریق ۱۵۰۰ μl AS 10cc SAMPLE، گاز حامل هلیوم و نرخ جریان ۱ ml/min بود. همچنین ستون مورد استفاده از نوع کاپیلاری، طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر بود. غلظت کلر باقیمانده هم توسط دستگاه پرتابل مدل ۵۸۷۰۰-۱۲ ساخت شرکت HACH اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها

در این مطالعه قبل از راه‌اندازی سیستم ناپیوسته برای حذف اسید هیومیک، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب خام مورد آنالیز قرار گرفت که در جدول (۱) ارائه شده است. راندمان حذف اسید



شکل (۱): راندمان حذف اسید هیومیک با غلظت ۱۰ mg/l در دوزهای مختلف کلروفریک، الوم و PACI



شکل (۳): پتانسیل زتا در دوزهای مختلف نمک‌های

منعقد کننده Fe و Al

شکل (۴): راندمان حذف اسید هیومیک با غلظت ۱۰ mg/l در pH

جدول (۱): مشخصات کیفی آب خام مورد استفاده

نام پارامتر	مقدار
اسید هیومیک (mg/l)	۰/۲
سختی (mg/L CaCO ₃)	۱۳۰
قلیائیت (mg/L CaCO ₃)	۲۸۰
(mg/l)TOC	۱±۰/۵
pH	۷±۰/۵
(μS/cm)EC	۲۷۰
درجه حرارت (°C)	۱۵±۳
کدورت (NTU)	۵

جدول (۲): مقادیر تری‌هالومتان و شاخص SUVA قبل و بعد از حذف اسید هیومیک

توسط کلروفوریک (منعقد کننده منتخب) در شرایط بهینه

نمونه آب	اسید هیومیک (mg/l)	SUVA (L/mg- m)	تری‌هالومتان تولید شده (ppb) بعد از ۷ روز
قبل از حذف اسید هیومیک	۱۰	۵	>۱۰۰
بعد از حذف اسید هیومیک توسط کلروفوریک	۲/۷	۱/۵	<۵۰
مقدار مجاز SUVA بر اساس قوانین USEPA	> ۲ (L/mg- m)		
مقدار مجاز تری‌هالومتان بر اساس قوانین USEPA (۱۴)	> ۸۰ (ppb)		

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه در شکل (۱) دوز بهینه نمک‌های منعقد کننده کلروفوریک، الوم و PACI برای حذف اسید هیومیک با

غلظت اولیه ۱۰ mg/l، به ترتیب ۱۰، ۳۰ و ۲۰ mg/l به دست آمد و کلروفوریک با راندمان حذف ۸۹ درصد بالاترین کارایی را در حذف اسید هیومیک داشته است و PACI با ۸۸ درصد و الوم با ۸۱ درصد

بالای ۱۶ mg/l و pH حدود ۵/۵ کارایی خوبی در حذف اسید هیومیک و کاهش SUVA داشته است ولی در نمونه‌های حاوی NOM و دارای اجزای درشت غیرهیومیکی قابلیت مناسبی در کاهش SUVA نداشته است و در این شرایط کاربرد کلروفوریک اثر مؤثری در حذف پیش سازهای محصولات ثانوی کلرزی نداشت (۱۸).

باید توجه داشت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تأثیر زیادی بر کارایی نمک منعقد کننده دارد و نتایج حاضر با توجه به شرایط کیفی آب رودخانه شهرچای ارومیه (جدول ۱) حاصل شده است. به عنوان مثال ارنست بلاچلی از دانشگاه پورجو امریکا نشان داد که حضور مس در آب، تشکیل تری‌هالومتان از اسیدسیتریک و کلر را کاتالیز می‌کند و اسیدسیتریک که نوعی از هیومیک‌ها به شمار می‌رود مهم‌ترین پیش ساز کلروفرم می‌باشد لذا در حذف اسید هیومیک بایستی به نقش عوامل مداخله کننده توجه داشت (۱۹). در حذف اسید هیومیک بایستی به نقش عوامل مداخله کننده توجه داشت وجود کدورت‌ها و دماهای مختلف، فلزات سنگین از جمله این عوامل مداخله‌گر هستند که در این مطالعه بررسی نشدند.

تغییرات پتانسیل زتا در دوزهای مختلف نمک‌های منعقد کننده می‌تواند برای تعیین مکانیسم انعقاد مورد استفاده قرار گیرد بر اساس نتایج نمودار شکل (۳) با افزایش دوز ژل کلروفوریک شیب تغییرات پتانسیل زتا ملایم بوده و افزایش چندانی پیدا نمی‌کند و در دوز ژل بهینه پتانسیل زتا ۱۵ mV- می‌باشد که از نقطه ایزوالکتریک (پتانسیل زتا برابر صفر) فاصله زیادی دارد لذا مکانیسم غالب انعقاد نمی‌تواند خنثی‌سازی بار باشد از طرفی طبق شکل (۴) کلروفوریک در pH بالای ۷ کارایی مناسبی داشته است در این محدوده pH جذب سطحی تأثیر زیادی در فرایند انعقاد دارد نتایج مطالعات Cheng و همکاران نشان داد در حذف اجزای اسید هیومیک به روش انعقاد در pH حدود ۷ تا ۹ مکانیسم غالب جذب سطحی بوده و خنثی‌سازی بار تأثیر کم‌تری داشته است (۲۰) که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. همچنین طبق شکل (۳) دوزهای مختلف الوم و PACl منجر به تغییرات بیشتری در مقادیر پتانسیل زتا شده و با افزایش دوز منعقد کننده شیب تغییرات پتانسیل زتا تندتر شده است و در مقادیر بهینه دوز مصرفی پتانسیل زتا برای الوم و PACl به ترتیب ۲ mV+ و ۲ mV- به دست آمد که نزدیک به نقطه ایزوالکتریک بوده و بنابراین مکانیسم غالب انعقاد برای حذف اسید هیومیک توسط این دو نمک از نوع خنثی‌سازی بار می‌تواند باشد Yu Gao و همکاران خنثی‌سازی بار و پل‌سازی را برای حذف رنگ‌های الی و اسید هیومیک توسط نمک‌های آلومینیوم پیشنهاد کردند (۲۱) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشته است. در این

در رتبه بعدی قرار داشتند. Zhao و همکاران در نمونه آب سینتتیک دوز مناسب برای حذف اسید هیومیک با غلظت اولیه ۱۰ mg/l را توسط کلروفوریک، الوم و PACl به ترتیب ۲۳، ۱۳ و ۱۰ mg/l گزارش نمودند که بیشترین راندمان حذف مربوط به کلروفوریک بود (۱۵) دیگر محققین نیز کارایی بالای نمک‌های آهن را در مقایسه با نمک‌های آلومینیوم در حذف مواد الی آب تأیید کرده‌اند همچنین، محدوده تغییرات pH را بعد از کاربرد نمک‌های آهن و آلومینیوم ناچیز به دست آورده‌اند (۱۶). امکان آلومینیوم باقیمانده نیز با افزایش دوز مصرفی نمک‌های Al افزایش می‌یابد با توجه به اینکه در مطالعه ما غلظت اسید هیومیک ۱۰ mg/L و دوز بهینه مصرفی PACl در حدود ۲۰ mg/L به دست آمد مقادیر آلومینیوم باقیمانده بالا خواهد بود که مطالعه قبلی این موضوع را تأیید کرده است لذا در آب‌های با مقادیر اسید هیومیک پایین و کاربرد دوز مصرفی PACl کم‌تر از ۱۲ mg/L مشکل بهداشتی ناشی از آلومینیوم نخواهد داشت ولی در مقادیر بالا مشکل‌ساز می‌تواند باشد از نکات منفی استفاده از نمک‌های آلومینیوم امکان ایجاد باقیمانده امکان آلومینیوم باقیمانده در آب بعد از فرایند انعقاد لخته سازی می‌باشد که مشکوک به ایجاد بیماری‌های آلزایمر، انمی، استئوپوروز و انورکسیا بعد از تجمع آلومینیوم در بدن انسان می‌باشد درحالی‌که آهن از عناصر ضروری برای بدن می‌باشد و نقش مهمی در تشکیل هموگلوبین دارد دوز آهن مورد نیاز روزانه برای انسان بالغ ۱۰ mg می‌باشد (۱۷).

SUVA با واحد (L/mg m)، شاخصی از مقدار مواد هیومیکی آب می‌باشد که از طریق محاسبه طبق رابطه $SUVA = [UV254/DOC]$ به دست می‌آید. این شاخص برای تعیین پتانسیل تشکیل محصولات ثانوی کلرینه آب اهمیت زیادی دارد که با سنجش مقادیر دو پارامتر ذکر شده حاصل می‌شود. بالا بودن این شاخص نشانگر غلظت بالای مواد الی آب مانند ترکیبات هیدروفروبیک، اروماتیک و ترکیبات الی طبیعی با وزن مولکولی بالا نظیر هیومین‌ها می‌باشد (۱۲، ۱۴). مطابق شکل (۲) کلروفوریک با دوز بهینه ۱۰ mg/l مقدار نهایی شاخص SUVA را به کم‌تر از (L/mg m) ۲ رسانده است که در محدوده مجاز USEPA (کم‌تر از ۲ L/mg m) می‌باشد ولی نمک‌های آلومینیوم کارایی مناسبی در کاهش شاخص SUVA نداشته‌اند و کاربرد آن‌ها در آب‌های حاوی مواد الی بالا می‌تواند پتانسیل تولید محصولات ثانوی کلرزی را افزایش دهد. مقدار SUVA آب خام هم در محدوده (L/mg m) ۵ بوده است بنابراین در صورت عدم کاهش مناسب مقدار آن می‌تواند منجر به محصولات ثانویه کلرزی مخصوصاً تری‌هالومتان و هالواسیتیک اسیدها گردد (۱۲). مطالعه‌ای که Amy و همکاران بر روی آب رودخانه کلرادو انجام دادند نشان داد کلروفریک در دوز

آب‌های حاوی اسید هیومیک به‌عنوان پیش‌ساز اصلی‌تری‌هالومتان مورد استفاده قرار گیرد و شاخص SUVA را به محدوده مجاز USEPA (کم‌تر از ۲ L/mg m) کاهش دهد ولی نمک‌های آلومینیوم کارایی مناسبی در کاهش شاخص SUVA نداشته‌اند و کاربرد آن‌ها در آب‌های حاوی مواد آلی بالا می‌تواند پتانسیل تولید محصولات ثانوی کلرزی را افزایش دهد. همچنین مکانیسم غالب حذف اسید هیومیک توسط کلروفریک با توجه به مقادیر پتانسیل زتا (-15mV) جذب سطحی تعیین گردید. کلرزی آب تصفیه‌شده با کلروفریک کاهش مقادیر تری‌هالومتان به محدوده مجاز USEPA ($80 > \text{ppb}$) را تأیید نمود.

تشکر و قدردانی

این طرح با کد ۱۳۹۳-۰۴-۳۴-۱۳۲۳ مصوب کمیته تحقیقات دانشجویی در دانشگاه علوم پزشکی ارومیه در تابستان ۱۳۹۳ بوده است. نویسندگان مقاله از همه همکارانی که در انجام پروژه ما را یاری نموده‌اند قدردانی می‌نمایند.

References:

1. Nikolaou AD, Lekkas TD. The Role of Natural Organic Matter during Formation of Chlorination By-products: A Review. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 2001;29(2-3): 63-77.
2. Jung C-W, Son H-J. The relationship between disinfection by-products formation and characteristics of natural organic matter in raw water. *Korean J Chem Eng* 2008;25(4): 714-20.
3. Richardson SD, Thruston AD, Rav-Acha C, Groisman L, Popilevsky I, Juraev O, et al. Tribromopyrrole, brominated acids, and other disinfection byproducts produced by disinfection of drinking water rich in bromide. *Environ Sci Tech* 2003;37(17): 3782-93.
4. Folkes LK, Candeias LP, Wardman P. Kinetics and mechanisms of hypochlorous acid reactions. *Arch Biochem Biophys* 1995;323(1):120-6.
5. Bina B, Mohammadi A, Ebrahimi A. Survey of Chloroform Concentration in the Water Distribution System of Isfahan, Iran, and Zoning by GIS. *Health Sys Res* 2012;8(2): 204-13. (persian)
6. WHO. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. WHO. 2011 [cited 2016 Jun 14]. Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/.
7. Mohammadi A, Miri M, Ebrahimi A, Khorsandi H, Nemati S. Monitoring of THMs Concentration in Isfahan Water Distribution System and Zoning by GIS, a Case Study in the Center of Iran. *Iran J Health saf Environ* 2016;3(1): 421-7.
8. Qin J-J, Oo MH, Kekre KA, Knops F, Miller P. Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. *Sep Purif Tech* 2006;49(3): 295-8.
9. Shen J, Schäfer AI. Factors affecting fluoride and natural organic matter (NOM) removal from natural waters in Tanzania by nanofiltration/reverse osmosis. *Sci Total Environ* 2015;527: 520-9.
10. Lin C-F, Huang Y-J, Hao OJ. Ultrafiltration processes for removing humic substances: effect of molecular weight fractions and PAC treatment. *Water Res* 1999;33(5): 1252-64.
11. Dotson AD, Metz D, Linden KG. UV/H₂O₂ treatment of drinking water increases post-

- chlorination DBP formation. *Water Res* 2010;44(12): 3703-13.
12. Mohammadi A, Bina B, Ebrahimi A, Hajizadeh Y, Amin MM, Pourzamani H. Effectiveness of nanozeolite modified by cationic surfactant in the removal of disinfection by-product precursors from water solution. *Int J Env Health Eng* 2012;1(1): 3.
13. Federation WE, Association APH. Standard methods for the examination of water and wastewater [Internet]. 2005 [cited 2016 Jun 14]. Available from: <https://www.standardmethods.org/>
14. Clark RM, Boutin BK. Controlling disinfection by-products and microbial contaminants in drinking water. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency; 2001.
15. Zhao Y, Gao B, ShonH, Cao B, Kim J-H. Coagulation characteristics of titanium (Ti) salt coagulant compared with aluminum (Al) and iron (Fe) salts. *J hazard mater* 2011;185(2): 1536-42.
16. Bell-Ajy K, Abbaszadegan M, Ibrahim E, Verges D, LeChevallier M. Conventional and optimized coagulation for NOM removal. *J AmWater Works Assoc* 2000;92(10): 44.
17. Aghpour Aa, Mohammadi A. Investigating the coagulation efficiency of PACI in removal of water turbidity in Shahrchay river in Orumia and its health effects. *Health Syst Res* 2011;6(4): 762-9. (Persian)
18. Childress AE, Vrijenhoek EM, Elimelech M, Tanaka TS, Beuhler MD. Particulate and THM precursor removal with ferric chloride. *J Environ Eng* 1999;125(11): 1054-61.
19. Blatchley ER, Margetas D, Duggirala R. Copper catalysis in chloroform formation during water chlorination. *Water Res* 2003;37(18): 4385-94.
20. Cheng WP. Comparison of hydrolysis/coagulation behavior of polymeric and monomeric iron coagulants in humic acid solution. *Chemosphere* 2002;47(9): 963-9.
21. Gao B-Y, Chu Y-B, YueQ-Y, Wang B-J, Wang S-G. Characterization and coagulation of a polyaluminum chloride (PAC) coagulant with high Al¹³ content. *J Environ Manag* 2005;76(2): 143-7.

REMOVAL OF HUMIC ACID FROM WATER RESOURCES USING ALUM AND FE SALTS DURING CONVENTIONAL COAGULATION

Ali Ahmad Aghapour¹, Sepideh Nemati², Amir Mohammadi^{3*}, Hamed Jahani⁴, Sima Karimzadeh³

Received: 17 Feb, 2016; Accepted: 22 Apr, 2016

Abstract

Background & Aims: Humic acid is a major agent in trihalomethanes (THMs) formation during chlorination process, which are known as carcinogens. The aim of this study were to investigate the removal of humic acid by three coagulants including PACl, alum and ferric chloride from water sources and their effect on zeta potencial.

Materials & Methods: This study was conducted experimentally in lab scale. Experiments were carried out in a batch reactor using a synthetic solution with humic acid concentration of 10 mg/l, pH 5, 7 and 9, and the coagulant dosages of 10, 20 and 30 mg/l (ferric chloride, alum and PACl, respectively). Also zeta potential and THMs formation reduction were evaluated under optimal condition for humic acid removal.

Results: The results showed that under optimal dosages of the coagulants the highest removal efficiency was related to the ferric chloride with 89 %. Removal efficiency for PACl and alum were 88% and 81%, respectively. However, only the application of ferric chloride decreased the SUVA index down to the USEPA permissible limits (less than 2 L/mg m). Also in optimal condition pH, zeta potential and trihalomethanes values were gained more than 7, -15 mV and less than 50 ppb.

Conclusion: Ferric chloride can be used for treatment of water containing humic acid to decrease SUVA index down to the permission ranges. But the use of aluminum salts as coagulants may lead to THMs formation. Chlorinated water treated with Ferric chloride results in notable reduction in the amount of trihalomethanes (ppb <80). Also, according to the zeta potential values, the adsorption phenomena was suggested as a dominant mechanism for the removal of humic acid using ferric chloride.

Keywords: Ferric chloride, Water, Humic acid, THMs, Coagulation

Address: Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

Tel: +98 141860599

Email: mohammadiurm@gmail.com

SOURCE: URMIA MED J 2016; 27(3): 247 ISSN: 1027-3727

¹ Assistant Professor of Environmental Health, Student Research Committee, Faculty of Public Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

² MSc in Environmental Health, Student Research Committee, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

³ Ph.D Candidate of Environmental Health, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran (Corresponding Author)

⁴ MSc in Environmental Health Engineering, Rural Water and Wastewater Company of West Azarbaijan, Urmia, Iran