

بررسی عملکرد کربن فعال پودری (PAC) در حذف ترکیبات آلی طبیعی (NOM) از آب آشامیدنی

محمد مهدی امین^۱، بهزاد جابریان^۲، محسن سعدانی^۲، رضا هادیان^۴، غلامرضا بنیادی نژاد^۳، عباس خدابخشی^۲

نویسنده مسئول: خوی، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، دانشکده بهداشت و پرستاری خوی b_jaberian@yahoo.com

دریافت: ۸۸/۱۰/۱۶ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: کربن فعال پودری PAC به عنوان جاذب مناسبی برای مواد آلی شناخته شده است. هدف از این تحقیق بررسی میزان کارایی استفاده از کربن فعال پودری در حذف کربن آلی محلول DOC در تصفیه خانه آب اصفهان است. **روش بررسی:** افزایش PAC در سه مسیر تصفیه خانه شامل: ۱. آبگیر تا ورودی تصفیه خانه ۲. آبگیر تا خروجی تصفیه خانه ۳. حوضچه اختلاط تا خروجی، توسط دستگاه جار شبیه سازی گردید و پارامترهای DOC، میزان جذب در طول موج ۲۵۴ نانومتر اندازه گیری و پارامتر SUVA و ایزوترم جذب کربن فعال برای نمونه ها محاسبه گردید.

یافته ها: تزریق کربن فعال در دزهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰، ۲۰ میلی گرم در لیتر باعث پایین آمدن مقدار DOC و هم چنین کاهش میزان جذب نمونه های برداشت شده از تمام مسیرها در طول موج ۲۵۴ نانومتر شد. میانگین این کاهش از آبگیر تا خروجی تصفیه خانه (مسیر دوم) بیش ترین مقدار بوده (۳۷/۹ ± ۶۹/۸ درصد) و فرایند متداول تصفیه خانه قابلیت حذف ۳۵٪ از DOC را دارا بود. مسیر سوم دارای راندمان حذف (۷/۵ ± ۵۵٪) بود. نتایج جذب کربن فعال از ایزوترم جذب فروندلیچ تبعیت می نمود.

نتیجه گیری: شبیه سازی افزودن کربن فعال در حوضچه اختلاط سریع همراه با منعقدکننده (مسیر سوم) دارای راندمان حذف کم تری از میزان مورد انتظار بود که دلیل این امر را می توان به کاهش تخلخل کربن فعال به علت اثر منعقدکننده روی آن نسبت داد. هم چنین بر اساس راندمان های مسیرهای مختلف، افزودن کربن فعال در محل آبگیر مناسب تر می باشد.

واژگان کلیدی: تصفیه آب، کربن آلی محلول، کربن فعال پودری، تری هالومتان ها

۱- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۳- دانشجوی دکترای بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

مقدمه

آب در طبیعت تنها به حالت بخار به صورت تقریباً خالص است و در سایر اشکال آن ناخالصی های مختلفی را همراه خود دارد. این ناخالصی ها می تواند توسط عوامل طبیعی یا فعالیت های انسان وارد آب های سطحی و زیرزمینی شود. امروزه با ارتقای استانداردهای کیفی آب آشامیدنی و ابداع روش های اندازه گیری دقیق تر، نیاز به استفاده از روش های تکمیلی تصفیه بیش از پیش ضروری می نماید (۱).

از جمله ترکیبات زیان آوری که در آب های سطحی می توانند یافت شوند، ترکیبات آلی هستند که ممکن است منشأ طبیعی و یا مصنوعی داشته باشند این ترکیبات علاوه بر ایجاد طعم و بو، ممکن است اثرات تجمعی در بافت های انسانی داشته باشند و برای سلامتی مضر باشند. از جمله این ترکیبات می توان به انواع آفت کش و ترکیبات هیدروکربنی اشاره نمود (۲). یکی دیگر از نگرانی های وجود ترکیبات آلی (مصنوعی و طبیعی) واکنش این ترکیبات با کلر مرحله گندزدایی در فرایند تصفیه آب است که باعث تبدیل ترکیبات مرسوم به ترکیبات جانبی گندزدایی (Disinfectant by product) DBPs می شوند. از مهم ترین این ترکیبات می توان به تری هالومتان ها (THMs) اشاره نمود که مشکوک به سرطان زایی هستند (۳). یکی از روش هایی که برای کنترل ترکیبات آلی، در نتیجه کنترل تشکیل محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) به کار می رود، استفاده از جاذب های مختلف برای جذب این مواد است. از دیگر روش های به کار رفته می توان به استفاده از اکسیدکننده های مختلف برای حذف ترکیبات آلی اشاره نمود (۴).

غلظت مواد آلی عامل ایجاد تری هالومتان ها در آب به ویژه آب های سطحی به میزان قابل توجهی بالاست از این رو وجود ترکیبات جانبی گندزدایی در آب خروجی کلیه تصفیه خانه هایی که کلر را به عنوان گندزدا استفاده می کنند، قابل پیش بینی است. بنا به گزارش سازمان بهداشت جهانی میزان تری هالومتان ها در آب آشامیدنی کشورهای مختلف از

۲۵ تا ۲۵۰ میکرو گرم در لیتر متغیر است (۴).

حد ماکزیمم آلاینده ها برای مجموع تری هالومتان ها (THM_3) در آب خروجی از شیر شبکه با توجه تاثیرات زیان بار بهداشتی این ترکیبات براساس استاندارد EPA، ۸۰ میکروگرم در لیتر (۰/۰۸ میلی گرم در لیتر) است (۵).

روش های کنترل تری هالومتان ها در آب عبارتند از: ۱. کنترل منابع آب از نظر آلودگی به مواد آلی، ۲. عدم استفاده از منابع آلوده، ۳. اصلاح منابع موجود، ۴. جداسازی پیش سازهای از آب خام، ۵. استفاده از گندزداها غیر از کلر آزاد، ۶. تغییر محل تزریق کلر در طول فرایند تصفیه آب (۶).

کربن فعال پودری جاذب بسیار مناسبی برای ترکیبات آلی است در بیش تر تصفیه خانه های مناطق مختلف دنیا به صورت مقطعی و فصلی برای کنترل طعم و بو و مواد آلی از آن استفاده می گردد (۲ و ۶).

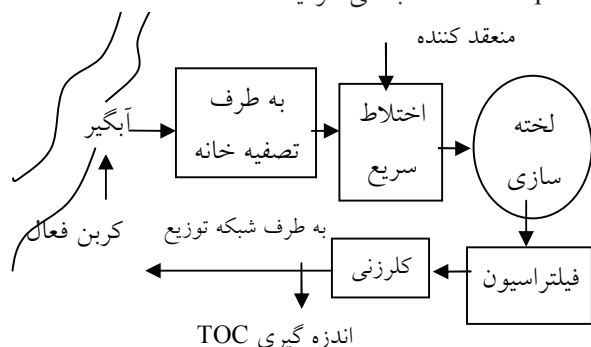
از طرفی کربن فعال گرانولی (Granular Activated Carbon) نیاز به تاسیسات احیا داشته و هم چنین نیاز به طراحی واحدی جداگانه برای عبور آب از بستر آن دارد و استفاده از آن مستلزم طراحی در حین ساخت تصفیه خانه و یا تغییر سیستم تصفیه دارد (۲).

هدف این تحقیق تعیین راندمان حذف کل کربن آلی محلول (Dissolved Organic Carbon) DOC با استفاده از کربن فعال پودری (Powder Activated Carbon) PAC در آب تصفیه خانه اصفهان بود. هدف کاربردی این مطالعه ارزیابی میزان تاثیر کربن فعال بر کاهش مواد آلی محلول در آب در مقطعی است که میزان این مواد در آب بنا به دلایل طبیعی و یا نشأت مواد آلاینده مثل نفت و.. بالا می رود.

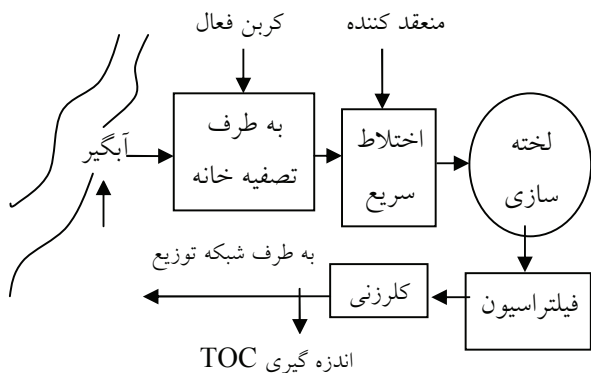
مواد و روش ها

در مرحله اول ابتدا از آب خام آبگیر سد چم آسمان قبل تصفیه خانه نمونه برداری صورت پذیرفت و با فرض این که تزریق کربن فعال پودری در محل آبگیر سد چم آسمان بود، مقادیر ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی گرم از کربن فعال به

در نهایت نمونه های به دست آمده از ظروف آزمایش جار، توسط پمپ خلا و کاغذ صافی فیلتر می گردید و میزان جذب نمونه ها در طول موج ۲۵۴ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری می شد. پس از آن نمونه ها جهت انجام آزمایش DOC به آزمایشگاه انتقال داده می شد. از تقسیم مقدار جذب اشعه طول موج ۲۵۴ نانومتر هر کدام از نمونه ها بر میزان DOC آنها، پارامتر $SUVA: Specific\ Ultraviolet\ Absorption$ محاسبه می گردید.



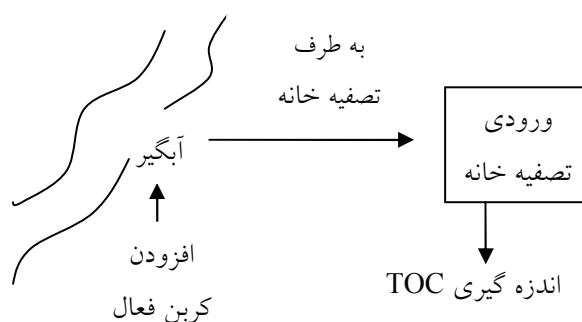
شکل ۲: نمای فرضی از محل افزودن کربن فعال مرحله دوم آزمایش



شکل ۳: نمای فرضی از محل افزودن کربن فعال مرحله دوم آزمایش

به طور کلی در هر مرحله از مراحل مذکور ۶ نمونه، شامل ۵ غلظت مختلف کربن فعال (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی گرم) و یک نمونه شاهد آب خام تهیه گردید و برای اطمینان از تکرار پذیری آزمایش، نمونه برداری هر مرحله ۳ مرتبه تکرار گردید.

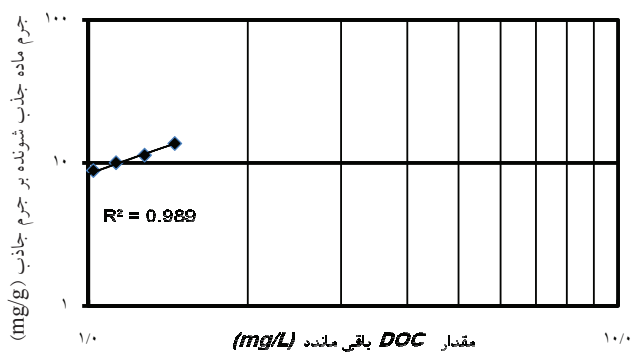
صورت پودر جامد به ظروف دستگاه جار افزوده شد. طول مسیر آبگیر سد چم آسمان تا ورودی تصفیه خانه ۸ کیلومتر بود و با در نظر گرفتن متوسط سرعت آب ۱/۵ متر در ثانیه زمان رسیدن آب از آبگیر چم آسمان تا تصفیه خانه که حدود ۲ ساعت محاسبه گردید. در ظروف استاندارد دستگاه جارتست زمان ماندی برابر ۲ ساعت در نظر گرفته شد و وبعد از ظروف جار نمونه گیری انجام گرفت (شکل ۱).



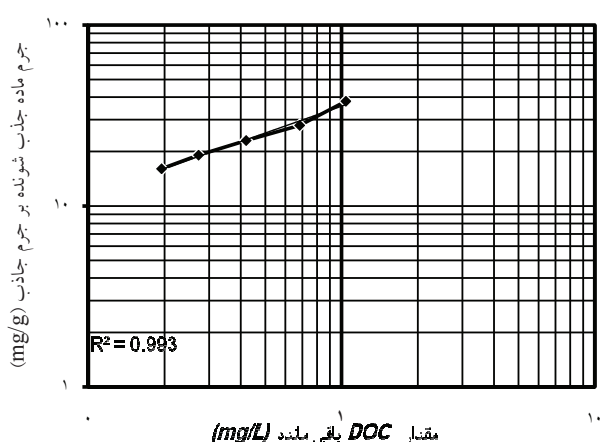
شکل ۱: نمای فرضی از محل افزودن کربن فعال در مرحله اول آزمایش

در مرحله دوم، هدف تعیین مقدار حذف DOC توسط کربن فعال پودری در خروجی تصفیه خانه آب بود در صورتی که اضافه کردن کربن فعال در آب خام آبگیر سد چم آسمان صورت می پذیرفت. در این مرحله نیز نمونه برداری آب خام از آبگیر سد چم آسمان انجام گرفت زمان های ماند و سرعت چرخش پره های میکسر در واحدهای مختلف تصفیه خانه در ظروف دستگاه جار شبیه سازی شد. واحد اختلاط سریع با ۱۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ ثانیه و واحد لخته سازی ۲۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه راهبری می شد. مدت زمان ماند در واحد ته نشینی ۳۰ دقیقه بود. زمان های ماند و سرعت های مذکور در ظروف جار شبیه سازی شدند (شکل ۲).

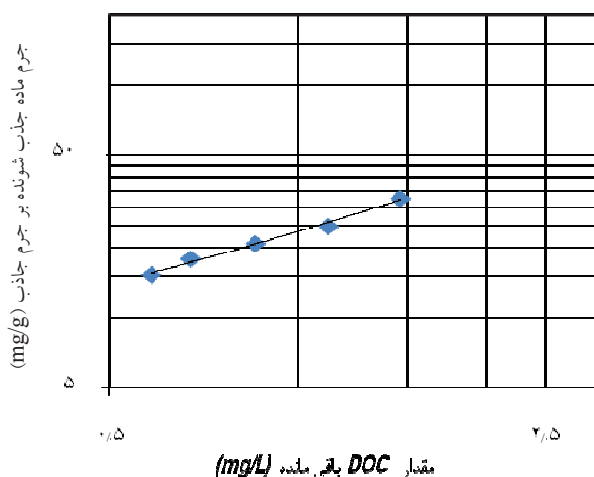
در مرحله سوم هدف بررسی حذف DOC در صورت اضافه شدن کربن فعال در واحد اختلاط سریع بود در این مرحله نمونه جهت آزمایش از ورودی تصفیه خانه تهیه شد، مراحل شبیه سازی فرایندهای تصفیه خانه مانند مرحله قبلی بود (شکل ۳).



شکل ۴: ایزوترم فروندلیچ برای جذب کربن آلی محلول در مرحله اول طرح



شکل ۵: ایزوترم فروندلیچ برای جذب کربن آلی محلول در مرحله دوم طرح



شکل ۶: ایزوترم فروندلیچ برای جذب کربن آلی محلول در مرحله سوم طرح

آماده سازی بطری های نمونه برداری طبق کتاب روش های استاندارد و در دانشکده بهداشت انجام می گرفت. بدین طریق که ابتدا بطری ها با اسید شست و شو داده شده، سپس آنها را در فویل آلومینیوم پیچیده و به مدت حداقل یک ساعت در کوره با درجه حرارت ۴۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داده می شد (۸).

در هر مرحله پس از اتمام عملیات جار تست، نمونه ها به بطری های شیشه ای ۱۰۰ میلی لیتری که از قبل آماده شده ریخته شده و توسط اسید فسفریک pH آنها را به کم تر از ۲ رسانیده می شد و در ظروف مخصوص در دمای ۴ درجه سانتی گراد به آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان انتقال داده و DOC نمونه ها اندازه گیری می گردد. دستگاه جار استفاده شده ساخت شرکت Schneider آلمان بود که دارای سرعت های چرخش قابل تنظیم از ۲۵ تا ۲۲۰ دور بر دقیقه بود. دستگاه TOC متر به کار رفته مدل TOC-UCSH ساخت شرکت Shimatzu ژاپن بود. روش مورد استفاده Combustion-infrared بوده که TOC را با استفاده از سیستم تشخیص مادون قرمز مورد آنالیز قرار می داد. میزان جذب در طول موج ۲۵۴ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل DR ۵۰۰۰ ساخت شرکت Hatch امریکا تعیین گردید.

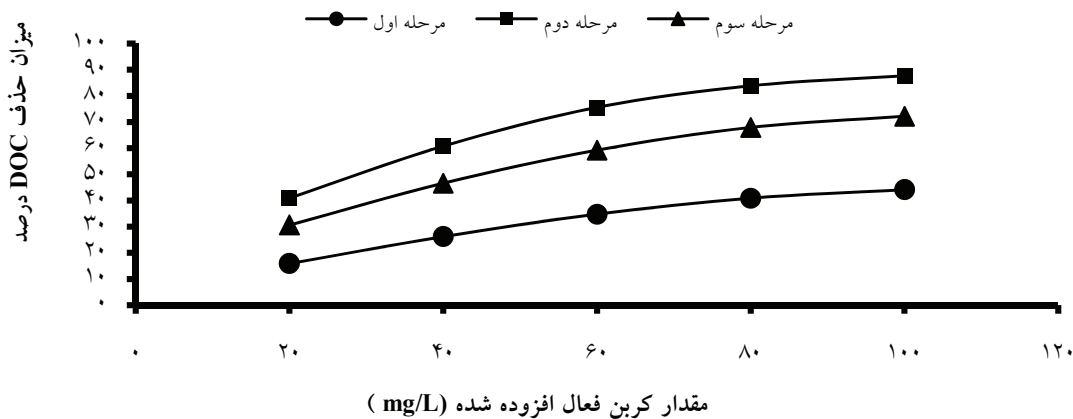
کاغذ صافی به کار رفته دارای اندازه منافذ 0.45μ بوده و ساخت شرکت واتمن انگلستان بود. از کربن فعال پودری ساخت شرکت مرک آلمان استفاده گردید.

یافته ها

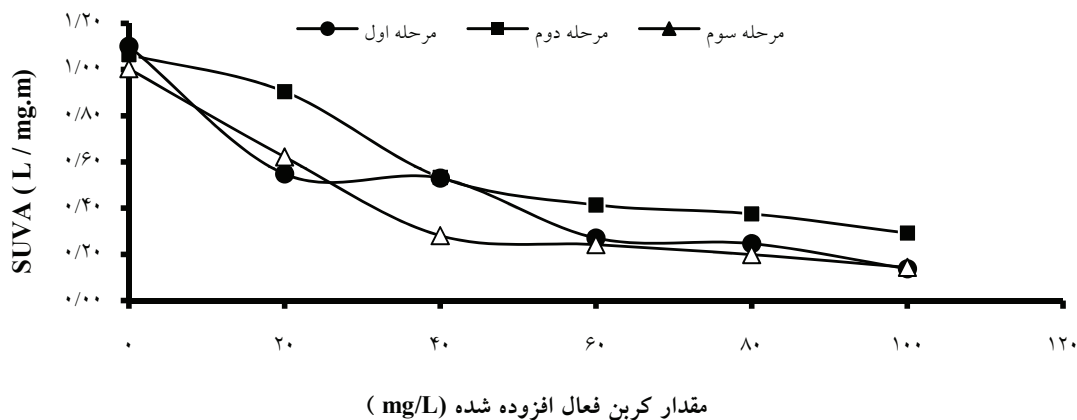
نتایج ارزیابی عملکرد کربن فعال در مطالعات صورت گرفته نشان داد که فرایند جذب در هر ۳ مرحله از ایزوترم فروندلیچ پیروی کرده و ثابت های تجربی ایزوترم ها با توجه به اشکال ۴-۶ برای مراحل ۳ گانه به صورت زیر است. در مرحله اول 0.086 و $K_f = 8/33$ ، $n = 0.04$ و در مرحله دوم $K_f = 36/6$ ، $n = 0.04$ و برای مرحله سوم $K_f = 23$ ، $n = 0.05$ می باشد.

DOC بدون افزودن کربن فعال پودری در شبیه سازی فرایند تصفیه خانه به طور میانگین ۳۳ درصد بود و میانگین کاهش DOC در صورت استفاده از صرف از کربن فعال پودری در آب خام بدون طی کردن فرایند تصفیه (مرحله اول) نیز حدوداً ۳۵ درصد بود. در حالی که شبیه سازی تلفیق این دو فرایند در مرحله سوم، استفاده از کربن فعال پودری در ورودی تصفیه خانه به همراه مواد منعقدکننده دارای میانگین ۵۵ درصد بود. میزان DOC در آب خام ورودی به تصفیه خانه به طور میانگین برابر $1/87 \text{ mg/L}$ بود و میانگین DOC آب تصفیه شده خروجی از تصفیه خانه $1/2 \text{ mg/L}$ بود.

شکل ۷ بیانگر ارتباط بین مقدار کربن فعال اضافه شده با میانگین میزان حذف DOC در مراحل ۳ گانه می باشد و شکل ۸ نشان دهنده ارتباط بین مقدار کربن و شاخص SUVA در ۳ مرحله آزمایش می باشد. با تزریق کربن فعال پودری در هر یک از مراحل انجام آزمایش کل کربن آلی محلول (DOC) و هم چنین میزان جذب در طول موج ۲۵۴ نانومتر و در نتیجه مقدار SUVA کاهش پیدا کرد. روند این کاهش متفاوت بوده و بیشترین مقدار کاهش در مرحله دوم آزمایش (شبیه سازی افزودن کربن فعال در محل سد چم آسمان و نمونه برداری در خروجی تصفیه خانه) اتفاق افتاد (تا ۸۷/۵ درصد). مقدار کاهش



شکل ۷: تاثیر کربن فعال افزوده شده در میزان حذف DOC در مراحل ۳ گانه



شکل ۸: تاثیر کربن فعال افزوده شده در میزان جذب UV در مراحل ۳ گانه

بحث و نتیجه گیری

کربن فعال پودری توانایی جذب اجزای آلی در آب را داراست و از آن می توان در رفع آلودگی های مقطعی استفاده نمود. در مطالعه انجام شده میزان کاهش DOC در مقادیر ۲۰ تا ۴۰ میلی گرم بر لیتر کربن فعال بسته به محل افزودن از ۱۰ تا ۶۰ درصد بود که بیش ترین مقدار مربوط به مرحله دوم آزمایش بوده و کم ترین مقدار مربوط به مرحله اول آزمایش است که با مطالعه Hugues Humbert و همکاران در فرانسه که بر روی حذف مواد آلی طبیعی توسط ترکیبی از کربن فعال پودری و رزین تعویض یونی بود، هم خوانی داشت. در مطالعه Hugues ابتدا آب از رزین عبور داده شده و سپس کربن فعال در محدوده ۲۰ تا ۴۰ میلی گرم در لیتر افزوده گردید. نتایج آنها حاکی از کاهش ۷۵ درصدی DOC توسط رزین تعویض یونی و ۲۸ درصد کاهش توسط کربن فعال پودری بود (۹). کربن فعال به علت تخلخل بالا، می تواند اجزای آلی در آب را جذب کرده و حذف نماید. با کاهش این اجزا مقدار جذب اشعه در طول موج ۲۵۴ نانومتر نیز کم تر خواهد بود. علت بالا بودن حذف در مرحله دوم آزمایش را می توان به مدت زمان تماس بیش تر بین کربن فعال و آب نسبت داد. هم چنین John Gifford و همکاران در امریکا تاثیر کربن فعال پودری و پرمگنات پتاسیم را بر روی حذف تری هالومتان ها مورد مطالعه قرار دادند، نتایج مطالعه آنها از کاهش ۳۰ درصدی MTP (Maximum total Trihalomethan Potential) در صورت افزودن ۳۰ میلی گرم در لیتر کربن فعال پودری حاکی بود (۱۰).

راندمان کاهش DOC توسط فرایند تصفیه بدون افزایش کربن فعال ۳۵/۵ درصد بود و استفاده صرف از کربن فعال بدون اعمال فرایندهای تصفیه، باعث کاهش ۳۳ درصدی DOC می شد. از آنجا که مرحله سوم آزمایش شامل استفاده از کارایی حذف کنندگی کربن فعال و فرایند متدوال تصفیه بود لذا انتظار میانگین حذف بیش از ۶۸ درصد DOC را داشتیم در حالی که

این رقم در عمل ۵۵ درصد شد که علت آن می تواند تاثیر ماده منعقدکننده و کاهش سطح تخلخل کربن فعال باشد. مطالعه Farooq و همکاران بر روی جذب ترکیبات آلی مشتق شده از نفت نشان داد که کربن فعال پودری توانایی حذف ۳۲ درصد TOC و ۴۰ درصد از COD حاصل از مواد آلی در آب را داراست (۱۱). هم چنین Camper و همکاران نیز در مطالعه شان نشان دادند که میزان کربن فعال پودری ۳۵ درصد از TOC را می تواند حذف نماید و باعث کاهش پیش سازهای تری هالومتان ها می گردد (۱۲).

با توجه به نسبت کربن فعال اضافه شده به میزان حذف DOC، در مقدار ۶۰ میلی گرم در لیتر کربن فعال، بیش ترین راندمان در هر سه مرحله دیده می شود. و روند کاهش DOC با افزایش کربن فعال به صورت خطی نیست. دلیل خطی نبودن میزان کاهش DOC، با افزایش PAC را می توان بدین گونه تفسیر کرد که اصولاً جذب آلاینده ها و مواد آلی در مقادیر کم، راندمان پایین تری نسبت به مقادیر بالای آلودگی دارد. به همین دلیل در مقادیر ۸۰ و ۱۰۰ میلی گرم کربن فعال، نسبت کاهش DOC کم تر از مقادیر مربوط به ۴۰ و ۶۰ میلی گرم کربن فعال است (شکل ۴).

نتیجه آن که با توجه به بحث صرفه جویی در هزینه ها، مقادیر ۴۰ تا ۶۰ میلی گرم در لیتر کربن فعال قابل قبول تر به نظر می رسند. هم چنین هم زمانی افزودن کربن فعال در ورودی تصفیه خانه با منعقدکننده، می تواند باعث کاهش قدرت جذب کربن فعال و پایین آمدن راندمان حذف گردد (نتایج حاصل از مرحله سوم طرح). به همین دلیل کاربرد منعقدکننده و کربن فعال به طور هم زمان صحیح به نظر نمی رسد و بهتر است مدت زمان تماسی بین کربن فعال و آب خام، پیش از افزایش ماده منعقدکننده در نظر گرفته شود، لذا به نظر می رسد آبگیر سد چم آسمان محل مناسب تری برای افزایش کربن فعال است. (نتایج مرحله دوم طرح).

منابع

1. Crittenden J, Watson M. Water Treatment: Principles and Design. 2nd ed. New York: John Wiley & sons Inc; 2005.
2. Young K, Bae B. Design and evaluation of hydraulic baffled-channel PAC contactor for taste and odor removal from drinking water supplies. *Water Research*. 2007;41:2256-64.
3. Lu C, Chung Y, Chang K. Adsorption of trihalomethanes from water with carbon nanotubes. *Water Research*. 2005;39:1183-89.
4. Sincero AP, Sincero GA. Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater. Boca Raton: CRC Press; 2002.
5. U.S. Environmental Protection Agency. EPA Guidance manual alternative disinfectants and oxidants. Final report. Washington DC: Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency; 1999. Report No.: EPA 815-R-99-014.
6. Kawamura S. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. 2nd ed. New York: John Wiley & sons Inc; 2000.
7. DeZuane J. Handbook of Drinking Water Quality Standards and Controls. New York: Van Nostrand Reinhold; 1991.
8. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. Washington DC: APHA; 1992.
9. Humbert H, Gallard H, Suty H, Croue J. Natural organic matter (NOM) and pesticides removal using a combination of ion exchange resin and powdered activated carbon (PAC). *Water Research*. 2007;42:635-43.
10. Gifford J, George D, Adams V. Synergistic effect of potassium permanganate and PAC in direct filtration systems for THM precursor removal. *Water Research*. 1989;23(10):1305-12.
11. Camper AK, Buls J, Goodrum L. Effects of powdered activated carbon on organic materials and humic substances. *Journal of American Water Works Association*. 2002;90:42-52.
12. Farooq S, Misbahuddin M. Activated carbon adsorption and ozone treatment of a petrochemical wastewater. *Environmental Technology*. 1991;12:147-59.

Evaluation of Powdered Activated Carbon Efficiency in Removal of Dissolved Organic Carbon in Water Treatment

Amin M.M., * Jaberian B., Saadani M., Hadian R., Bonyadi nejad G.R., Khodabakhshi A.

Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Received 6 January 2010; Accepted 8 March 2010

ABSTRACT

Backgrounds and Objectives: Powdered Activated- carbon is known as a suitable absorbent for organic materials. The aim of this research is evaluation of Powdered Activated-Carbon (PAC) efficiency in removal of Dissolved Organic Carbon (DOC) in water treatment in Isfahan.

Materials and Methods: The increase of PAC for DOC reduction has done in three paths in the Isfahan water treatment plant (WTP). These paths including: 1) Intake up to entrance of WTP 2) Intake to exit of WTP 3) Between entrance and exit of waterworks. The paths were simulated by the Jar test system. Then DOC and UV_{254} absorption were analyzed and SUVA parameter for samples and activated-carbon adsorption isotherm was calculated.

Results: The injected PAC doses of 20,40,60,80 and 100 mg/l caused decreasing in DOC and UV_{254} absorption in every sample in all paths. The average of this decrease, from intake to WTP's exit (second path) was the greatest $69.8 \pm 3.9\%$ and the common WTP process had capability of removing 35% of DOC. The first path also showed that PAC can reduce $33 \pm 2\%$ DOC of raw water by itself. Activated-carbon adsorption results were adhered from Freundlich adsorption isotherm.

Conclusion: In the third path there was less DOC removal efficiency than expected when Activated-Carbon injected in rapid mixed basin with coagulant. Powdered activated carbon porosity reduction due to effect of coagulant can be the reason for this issue. Also according to different paths, the point of intake is more suitable for powdered activated carbon addition.

Key words: Watertreatment, Dissolved Organic Carbon, Powdered activated carbon, Trihalomethanes

*Corresponding Author: b_jaberian@mui.ac.ir

Tel: +98 9143 113942 Fax: +98 311 7922600