Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 4, PP. 15-22, Winter 2022
DOI: 10.22112/JWWSE.2021.270193.1259

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۴، صفحات ۱۵-۲۲، زمستان ۱۴۰۰

Research Paper

Investigating the Efficiency of Natural Coagulant Aid (Tragacanth) with PAC in Removal of Turbidity and Coliform Bacteria from Karoon River Water

Omid Esteresh[1]*, Abdolkazem Neisi[2], Afshin Takdastan[3] and Mahsa Valipour[4]

1- M.Sc. in Environmental Engineering, Ilam Province Water and Wastewater Company, Ilam, Iran,
2- Associate Professor of Environmental Health Engineering, Environmental Technologies Research Centre, Ahwaz Jondishapour University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran.
3- Associate Professor of Environmental Health Eng., Environmental Technologies Research Centre Ahwaz Jondishapour University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
4- PhD of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ilam University, Ilam, Iran.
*Corresponding Author, Email: Omid.Esteresh@yahoo.com

Received: 19/02/2021
Revised: 11/06/2021
Accepted: 28/06/2021
© IWWA

Abstract

Conventional water treatment processes include screening, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection. Many coagulants are widely used in conventional water treatment processes. These materials can be classified into inorganic and organic coagulants. Many researches on natural coagulants were carried out in recent years. This study evaluates Tragacanth as natural coagulants aids with poly aluminum chloride (PAC) for the removal of turbidity and coliform bacteria from water Karoon River. Tragacanth is a gum that extracted from astragalus. According to results of this study, adding tragacanth as a coagulant aid improved performance of the process and experimental observations showed that by applying tragacanth as coagulant aid in optimal conditions, larger flocks are formed compared to PAC applications and the sedimentation rate was higher. In total, this study showed that dose of 0.06 mg/l of tragacanth as a coagulants aid with 15 mg/l of PAC coagulant in high turbidity (480-500 NTU) has the best performance in reducing turbidity and total coliform.

Keywords: Coagulation, Poly Aluminum Chloride, Tragacanth, Turbidity, Coliform

مقاله پژوهشی

بررسی کارآیی کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا به‌همراه پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت و باکتری‌های کلیفرم ازآب رودخانه کارون

امید استرش*[1]، عبد الکاظم نیسی[2]، افشین تکدستان[3] و مهسا ولی پور[4]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست-آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان ایلام، ایلام، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران.
۴- دکتری شیمی تجزیه، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: Omid.Esteresh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

فرآیندهای متداول تصفیه آب شامل آشغال‌گیری، انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صاف‌سازی و گندزدایی است. بسیاری از منعقدکننده‌ها به‌طور گسترده‌ای در فرآیندهای تصفیه آب متداول استفاده می‌شوند. این مواد را می‌توان به منعقدکننده‌های غیرآلی و آلی طبقه‌بندی کرد. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد منعقدکننده‌های طبیعی انجام شده است. در این مطالعه کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده طبیعی به‌همراه پلی آلومینیم کلراید (PAC) برای حذف کدورت و باکتری‌های کلیفرم از آب رودخانه کارون مورد ارزیابی قرارگرفت. کتیرا صمغی است که از گون استخراج می‌شود. طبق نتایج این مطالعه، افزودن کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده روند عملکرد را بهبود بخشید و مشاهدات نشان داد که استفاده از کتیرا به‌همراه PAC موجب تشکیل ذرات بزرگتر و افزایش نرخ ته‌نشینی می‌شود. در مجموع این مطالعه نشان داد که دوز ۰/۰۶ میلی‌گرم در لیتر کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده به‌همراه ۱۵ میلی‌گرم در لیتر ماده منعقدکننده PAC در کدورت بالا (NTU ۴۸۰-۵۰۰) بهترین عملکرد را در کاهش کدورت و کلیفرم کل دارد.

کلمات کلیدی: انعقاد و لخته‌سازی، پلی آلومینیوم کلراید، کتیرا، کدورت، کلیفرم، رودخانه کارون

۱- مقدمه

منابع آبی که به‌صورت طبیعی یا توسط انسان آلوده شده است برای دستیابی به استانداردهای آب شرب باید فرآیندهای لازم تصفیه را طی نماید. آب با قابلیت شرب آبی است که عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و رادیولوژیکی آن در حدی باشد که آشامیدن آن در کوتاه‌مدت یا درازمدت عارضه سوئی در انسان ایجاد نکند. فرآیندهای متداول تصفیه آب شامل آشغال‌گیری، انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صافی‌سازی و گندزدایی است. انعقاد فرآیندی است که طی آن ذرات ریز با سرعت ته‌نشینی خیلی کم که اصطلاحاً کلوئید نامیده می‌شوند و عامل مهمی در بروز کدورت هستند با یکدیگر جمع شده و ذرات درشت‌تر با سرعت ته‌نشینی بیشتر را تشکیل می‌دهند (ذهب صنیعی، ۱۳۷۰).

لخته‌سازی فرآیندی است که در آن فلوک‌ها به یکدیگر چسبیده و فلوک‌های درشت‌تری ایجاد می‌کنند که در مراحل بعدی تصفیه به‌راحتی از آب جدا می‌شوند (Environmental Protection Agency, 1999). اگر اجازه داده شود که ذرات به‌طور طبیعی ته‌نشین شوند ممکن است که چندین ماه و حتی یک سال ته‌نشینی به‌طول انجامد، به‌طور مثال اگر اندازه ذرات ۰/۰۰۰۱ میلی‌متر باشد (ذرات کلوییدی) ۷۵۵ روز برای ته‌نشینی فرصت لازم است و باید توجه داشت که ازنظر مهندسی زمان بیش از چند ساعت برای جداسازی قابل‌قبول نیست (چالکش امیری، ۱۳۹۵). لذا فرآیند تصفیه (زلال‌سازی) آب بدون استفاده از موادی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلوئیدی را افزایش دهند غیرممکن به‌نظر می‌رسد (ذهب صنیعی، ۱۳۷۰).

در فرآیند انعقاد از مواد منعقدکننده وکمک منعقدکننده استفاده می‌شود. مواد منعقدکننده شامل موادی هستند که برای ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آن‌ها به یکدیگر استفاده می‌شوند، در حالی‌که استفاده از مواد کمک منعقدکننده موجب افزایش دانسیته و به‌هم چسبیدن ذرات و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر است (علی‌پور و بذرافشان، ۱۳۸۳). نمک‌های آلومینیم و آهن متداول‌ترین منعقدکننده‌هایی هستند که تاکنون برای تصفیه آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Okuda et al. 1999; Shi et al. 2007). مشکلاتی در اثر کاربرد نمک‌های معدنی به‌دلیل باقیماندن در آب، تولید حجم زیاد لجن و نحوه دفع در محیط زیست به‌وجود آمده است (Ndabigengesere and Narasiah, 1998). به‌همین منظور برای رفع مشکلات مربوط به منعقدکننده‌های شیمیایی، تحقیقات زیادی در خصوص منعقدکننده‌های طبیعی در سال‌های اخیر صورت گرفته است (Ravikumar and Sheeja, 2012). در این رابطه از کاربرد کیتوزان می‌توان نام برد (عروجی و همکاران، ۱۳۹۱).

در این پژوهش از کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده طبیعی استفاده شده است. کتیرا نوعی ماده صمغی است که در تجارت به نام‌های Tragacanth یا Tragacanth Gum مشهور است. این ماده از ساقهٔ گون گرفته می‌شود (زرگران و همکاران، ۱۳۸۷). از نظر نوع محصول دو نوع کتیرا قابل تشخیص است که به نام‌های مفتولی و خرمنی معروفند. گونه‌های نوع مفتولی از گونه‌های پایه کوتاه بوده و مقدار محصول آن نیز فوق‌العاده کم ولی جنس آن مرغوبیت زیادی دارد و کتیرای خرمنی از گونه‌هایی که رشد بیشتری دارند یا بلند است به‌دست‌می‌آید. در مغز ساقه این گیاهان مواد صمغی فراهم شده که خود به‌خود یا در اثر شکاف به خارج ترشح می‌شود که به کتیرا معروف است (Trease, 1971). این مواد پس از سه تا چهار روز خشک شده و قابل جمع‌آوری است و هر چه هوا گرم و خشک باشد کتیرا سفیدتر شده و زودتر سخت می‌شود. البته در هوای مرطوب و سرد دیرتر سخت شده و محصول تیره‌تر است. مناطق کتیرا خیز ایران شامل استان‌های اصفهان، کردستان، همدان، کرمانشاه، فارس، بوشهر و هرمزگان است. هم‌چنین در عراق، ارمنستان، سوریه و روسیه و نواحی مختلف آسیای صغیر یافت می‌شود (صمصام شریعت و معطر، ۱۳۸۳).

نوع مرغوب کتیرای ایران ۲/۵ سانتی‌متر طول و ۱/۲ سانتی‌متر عرض دارد. رنگ آن سفید متمایل به زرد و کمی شفاف و شاخی شکل بوده و بدون بو و دارای مزه بسیار جزئی است. از موارد استفاده از کتیرا می‌توان به صنعت داروسازی، تولید مواد آرایشی، پارچه بافی، کارخانجات شامپوسازی و تهیه رنگ مو اشاره کرد. اگر مخلوط کتیرا با داروهای مناسب خورده شود برای تقویت روده، تسکین درد کلیه، مثانه و زخم مثانه مفید است. در محصولات غذایی به‌عنوان یک ماده مطمئن و پرکننده قرص‌ها و امولسیون‌ها در سطح صنعتی استفاده می‌شود. مقدار خوراک آن به‌صورت تنها و یا با داروهای مختلف به‌میزان ۵-۲۵ گرم بوده و تاکنون گزارشی از عوارض جانبی کتیرا اعلام نشده است (صالحی‌سورمقی، ۱۳۸۵).

کتیرا توسط قلیا تجزیه و توسط الکل غلیظ‌تر از ۳۵ درصد ته‌نشین می‌شود و غلظت و نیز ویسکوزیته آن با تغییر pH به حالت‌های اسیدی و قلیائی کم می‌شود. هم‌چنین توسط محلول نیترات بیسموت ته‌نشین می‌شود (زرگران و همکاران، ۱۳۸۷).

پژوهش حاضر با هدف بررسی کارآیی کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده به‌همراه منعقدکننده پلی آلومینیم کلراید درحذف

کدورت و باکتری‌های کلیفرم آب رودخانه کارون مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه آب با کدورت مصنوعی

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست شش خانه‌ای بر روی نمونه‌های آب مصنوعی در تصفیه‌خانه آب اهواز انجام پذیرفت. از آن‌جایی که میانگین کدورت آب برداشتی در طول دوره آزمایشات در محدوده کدورت پایین (۴۰-۵۰ NTU) بود، لذا برای بررسی کارآیی مواد منعقدکننده مورد استفاده در سطوح کدورت بالاتر، اقدام به کدورت‌سازی به‌صورت مصنوعی شد. سه سطح کدورت مورد آزمایش شامل کدورت پایین (۴۰-۵۰ NTU)، کدورت متوسط (۱۰۰-۱۱۵ NTU) و کدورت بالا (۴۸۰-۵۰۰ NTU) بود، در تهیه آب با کدورت مصنوعی از ترکیب خاک ساحل رودخانه کارون با آب خام رودخانه استفاده شد. پس از برداشت نمونه خاک فرصت داده شد تا خاک کاملا خشک شود. سپس آن را از الک آزمایشگاهی با مش ۳۰ گذرانده و پودر نرم با درجه یکنواختی بیشتر حاصل شد.

در مرحله بعد به‌مقدار چند گرم از خاک حاصله در ظروف ۲۰ لیتری ذخیره آب خام اضافه و به‌مدت چند دقیقه هم‌زده شد. سیکل هم‌زدن چندبار و با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه صورت‌گرفت. سپس مخلوط حاصل به‌مدت ۱ ساعت در حالت سکون قرارگرفت تا ذرات درشت ته‌نشین شوند. آن‌گاه از مایع رویی چند لیتر (حدود ۳-۴ لیتر) برداشت و به‌عنوان سوسپانسیون مادر نگهداری شد. از این سوسپانسیون برای تهیه آب مصنوعی با کدورت‌های مختلف در مطالعات آزمایشگاهی استفاده شده است. دراین تحقیق، دستگاه کدورت‌سنج مدل ۲۱۰۰ N (HACH)، pH متر مدل ۳۳۰ (WTW) و دستگاه جارتست مدل JLT6 (VELP) مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش آزمایشگاهی

در ابتدا نمونه‌های آب خام تهیه شده از نظر میزان کدورت، pH، دما وکلیفرم کل، مورد آزمایش قرار گرفتند و برای انجام جارتست در هر مورد آزمایش از بشرهای ۱ لیتری استاندارد حاوی ۱۰۰۰ mL نمونه آب موردنظر استفاده شد. مقادیر pH مورد آزمایش در این تحقیق در شش سطح شامل، pHهای ۸، ۷/۵، ۷، ۶، ۵ و ۹ بود. به‌منظور تنظیم pH از اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم با غلظت ۰/۰۲ نرمال استفاده شد.

به‌منظور تعیین pH بهینه ماده منعقدکننده PAC، آزمایش‌های جار با نمونه‌های آب با pHهای مختلف صورت‌گرفت. پس از تعیین pH بهینه برای هریک از سطوح کدورت مورد آزمایش، به‌منظور تعیین غلظت بهینه ماده منعقدکننده PAC، در هر مرتبه غلظت‌های مختلفی از PAC اضافه شد. بعد از تعیین شرایط بهینه PAC در سطوح کدورت مورد آزمایش، غلظت‌های مختلف کمک منعقدکننده کتیرا به‌همراه غلظت بهینه PAC به مرحله اختلاط سریع دستگاه جار اضافه شد.

نحوه آزمون جارتست به این‌صورت بود که مرحله اختلاط سریع به‌مدت یک دقیقه و با سرعت ۱۲۰ rpm، پس از آن مرحله لخته‌ساز در دور کند و با سرعت ۴۰ rpm به‌مدت ۲۰ دقیقه و مدت زمان ته‌نشینی طبق توصیه مراجع معتبر به‌ویژه EPA، ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از پایان یافتن آزمایشات نمونه‌برداری برای تعیین کدورت باقی‌مانده وکلی‌فرم کل، از ۵ سانتی‌متری زیر سطح آب توسط پی‌پت انجام گرفت.

به طور کلی آزمایشات جارتست با هدف مقایسه و کاربرد پلی آلومینیوم کلراید به تنهایی و به‌همراه کاربرد کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا انجام گرفته است. کلیه آزمایش‌ها براساس روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت. به‌علاوه به‌منظور اثبات تکرارپذیری روش آنالیز، آزمایش‌ها سه مرتبه تکرار و در پایان نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel تهیه و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS آنالیز شده‌اند.

۲-۳- آماده سازی محلول پلی آلومینیوم کلراید (PAC)

در این تحقیق از PAC جامد با درجه خلوص ۲۸ درصد استفاده شد. برای تهیه محلول، در ابتدا به‌مقدار یک گرم از PAC در کمی آب مقطر حل و توسط آب مقطر حجم آن به یک لیتر افزایش داده شده و محلول یک در هزار PAC تهیه شد.

۲-۴- آماده سازی محلول کتیرا

در این آزمایش از کتیرای جامد استفاده شده است. روش تهیه محلول به این‌صورت بود که در ابتدا فلس‌های کتیرا توسط هاون چینی به‌صورت پودر نرم درآورده شد. سپس برای جدا نمودن ذرات درشت، الک آزمایشگاهی مورداستفاده قرارگرفت. در مرحله بعد به‌مقدار یک گرم از پودر تهیه شده کتیرا در مقدار کمی آب مقطر حل و توسط آب مقطر حجم آن به یک لیتر افزایش داده می‌شد. برای ایجاد سوسپانسیون یکنواخت، مخلوط حاصل روی یک همزن مغناطیسی به‌مدت ۱۵ دقیقه قرارگرفته و هم‌زده

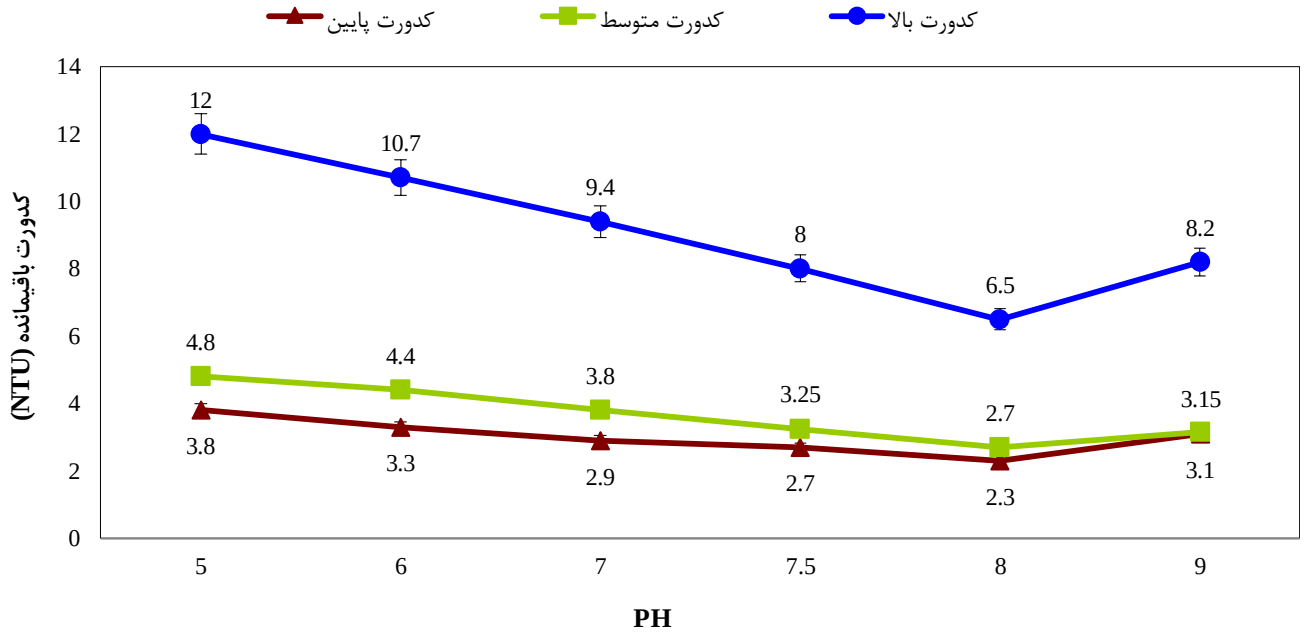
می‌شد. در مرحله پایانی برای جدانمودن مواد معلق در سوسپانسیون موجود، از صافی با قطر ۰/۴۵ میکرومتر استفاده شده است. از این محلول صاف شده به‌عنوان کمک منعقدکننده در آزمایش‌ها استفاده شد. لازم به ذکر است که به‌علت احتمال کاهش اثر منعقدکنندگی، استوک منعقدکننده‌ها به‌صورت روزانه، هنگام آزمایش تهیه می‌شد.

۳- نتایج و داده‌ها

۳-۱- تعیین pH بهینه PAC در کدورت‌های مورد آزمایش

pH عامل بسیار مؤثری در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی است. هر ماده منعقدکننده داری pH بهینه‌ای است، به‌طوری‌که در pH بهینه، بیشترین کارآیی را در انعقاد دارد (Sanghi et al. 2006). مطالعات انجام شده توسط محققان نشان می‌دهد که غلظت‌های بالای آلومینیوم باقی‌مانده در آب تصفیه‌شده ناشی از عدم ایجاد شرایط بهینه pH است. بهترین روش برای کاهش آلومینیوم باقی‌مانده در آب تعیین pH بهینه است (Letterman and Driscoll, 1988).

در شکل ۱، تأثیر pH بر میزان حذف کدورت توسط PAC نشان داده شده است. تعیین pH بهینه با دوز ثابت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برای PAC صورت‌گرفت. همان‌طور که از نمودار استنباط می‌شود در pH برابر با ۸ بالاترین راندمان حذف کدورت درکدورت‌های مختلف به‌دست‌آمده‌است. میزان حذف کدورت دراین pH بدون فیلتراسیون، درکدورت‌های پایین، متوسط و بالا به‌ترتیب با فاصله اطمینان ۹۵٪ برابر با ۹۴/۹، ۹۷/۵ و ۹۸/۷ درصد بوده و کدورت‌های باقی‌مانده به‌ترتیب به ۲/۳ NTU، ۲/۷NTU و ۶/۵ NTU رسیده است. به‌عبارت دیگر در این محدوده از pH، رسوب تشکیل شده در طی فرآیند و یا همان محصولات هیدرولیز PAC، دارای کمترین حلالیت هستند. هم‌چنین نتایج آنالیز واریانس با ($P < ۰/۰۵$) تفاوت معناداری را بین pH و درصد حذف کدورت نشان داده است.



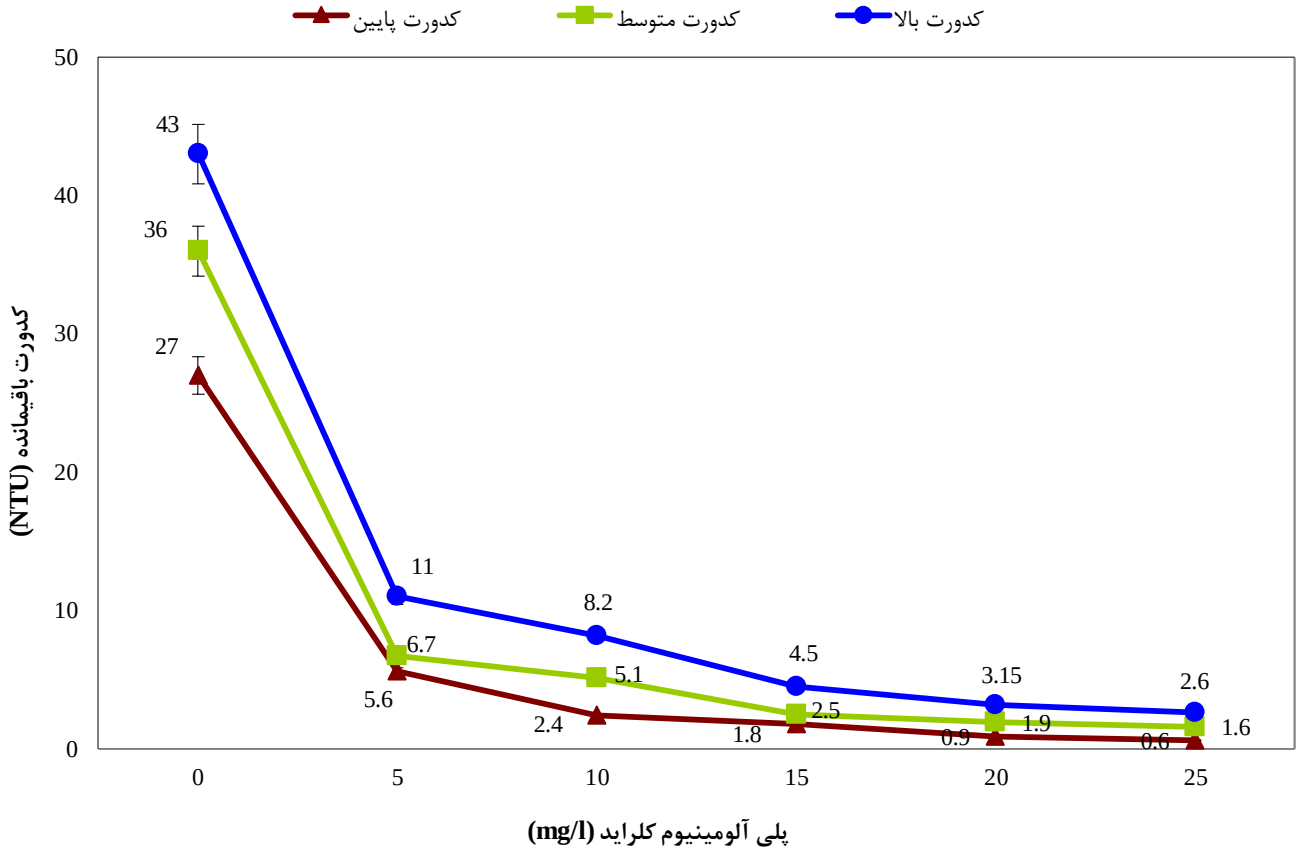
شکل ۱- روند تغییرات کدورت باقیمانده نسبت به تغییرات pH برای منعقدکننده PAC

۳-۲- تعیین غلظت بهینه PAC در کدورت‌های مورد آزمایش

در شکل ۲، تأثیر غلظت ماده منعقدکننده PAC در سطوح کدورت مورد آزمایش بر میزان حذف کدورت در pH بهینه نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که به‌طور کلی با افزایش غلظت PAC، میزان حذف کدورت نیز افزایش یافته است. مطابق نمودار در کدورت پایین با مقدار۱۰ میلی‌گرم در لیترPAC، کدورت باقی‌مانده معادل ۲/۴ NTU بوده و با توجه به این‌که ماده منعقدکننده PAC دراین غلظت قادر به کاهش کدورت تا میزان استاندارد مجاز کدورت درآب‌های تصفیه شده (۵ NTU >) است به‌عنوان غلظت بهینه در این سطح کدورت انتخاب می‌شود. به‌همین دلیل، با توجه به نمودار یاد شده، غلظت بهینه PAC برای حذف کدورت، ۱۰ ppm به‌دست‌آمده‌است.

هم‌چنین باتوجه به استدلال فوق‌الذکر در کدورت‌های متوسط

و بالا، غلظت بهینه ۱۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست‌آمد. در نهایت راندمان حذف کدورت در کدورت‌های پایین، متوسط و بالا به‌ترتیب برابر با ۹۴/۶، ۹۷/۶ و ۹۹/۱ درصد وکدورت‌های باقی‌مانده به‌ترتیب به ۲ NTU، ۲/۵ NTU و۴/۵ NTU رسیده است. آنالیز واریانس با ($P<۰/۰۵$) در کدورت‌های مورد آزمایش نشان داد تأثیرعامل PAC روی درصد حذف کدورت معنی‌دار بوده و ضریب تعیین مدل (R^2) برای کدورت‌های پایین، متوسط و بالا به‌ترتیب برابر با ۰/۹۴۲، ۰/۹۹۵، ۰/۹۵۸ حاصل شد. هم‌چنین نتایج آزمون ANOVA با سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معناداری بین میزان PAC تزریقی و درصد حذف کدورت در کدورت‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد. در این شرایط مکانیسم‌های غالب برای حذف کدورت از نوع جذبی یا جاروبی و یا ترکیبی از دو مکانیسم ذکرشده است.



شکل ۲- روند تغییرات کدورت باقی‌مانده نسبت به تغییرات دوز منعقدکننده PAC

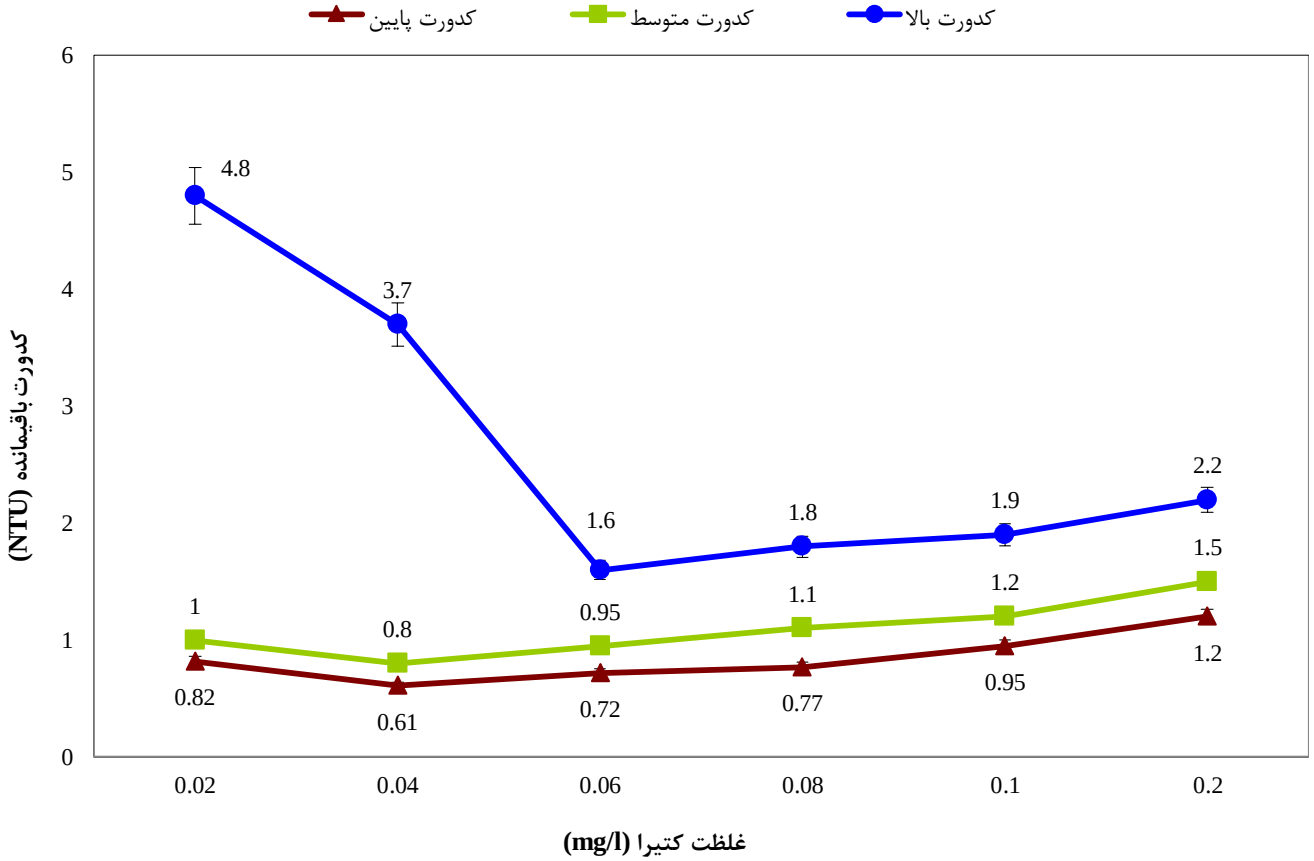
۳-۳- تعیین غلظت بهینه کمک منعقدکننده کتیرا در کدورت‌های مورد آزمایش

تحت شرایط بهینه حاصل از مراحل قبل، آزمایش‌های با دوزهای مختلفی از کتیرا به‌همراه دوز بهینه PAC در سطوح کدورت مورد آزمایش صورت‌گرفت. در آزمایش‌های اولیه با افزایش دوز مصرفی کتیرا، کدورت افزایش پیدا نمود و پایداری مجدد کلوئیدها صورت‌گرفت. زیرا با افزودن بیش از حد کمک منعقدکننده، سطح کلوئیدها اشباع و در مکانیسم پل‌سازی بین ذرات اختلال به‌وجود می‌آید، که منجر به پایداری مجدد کلوئیدها شده است. در نتیجه در ادامه آزمایش‌ها با کاهش دوز مصرفی کتیرا، مقادیر بهینه کتیرا برای هر سطح کدورت به‌دست‌آمد.

مطابق شکل ۳، غلظت بهینه کتیرا در کدورت‌های پایین و متوسط برابر با ۰/۰۴ و در کدورت بالا برابر با ۰/۰۶ میلی‌گرم در لیتر به‌دست‌آمد که در آن کدورت‌های باقی‌مانده به‌ترتیب برابر با ۰/۶۱ NTU، ۰/۸ NTU و۱/۶ NTU و راندمان حذف کدورت به‌ترتیب برابر با ۹۸/۶، ۹۹/۳ و ۹۹/۷ درصد هستند. هم‌چنین نتایج آزمون آنالیز واریانس با ($P<۰/۰۵$) در کدورت‌های مورد آزمایش نشان داد که عامل PAC به‌همراه کتیرا روی درصد حذف کدورت معنی‌دار است و ضریب تعیین مدل (R^2) برای کدورت‌های پایین، متوسط و بالا به‌ترتیب برابر با ۰/۹۹۴، ۰/۹۸۸ و ۰/۹۹۴ به‌دست‌آمده است.

برای تعیین دوز بهینه کتیرا مطابق استانداردهای داخلی،

کاهش کدورت به مقدار کمتر از NTU ۱ (حد مطلوب آب شرب) عمل شد (سازمان استاندارد ایران، ۱۳۸۹). نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان‌دهنده کارآیی بالای کتیرا به‌عنوان یک کمک منعقدکننده مناسب و طبیعی در کاهش کدورت آب بود، به‌طوری‌که با غلظت‌های بسیارکم از کتیرا، کدورت باقیمانده در کدورت‌های پایین و متوسط به کمتر از NTU ۱ (حد مطلوب آب شرب) قبل از فیلتراسیون رسیده است. هم‌چنین با افزایش کدورت اولیه راندمان حذف کدورت بالاتر است.



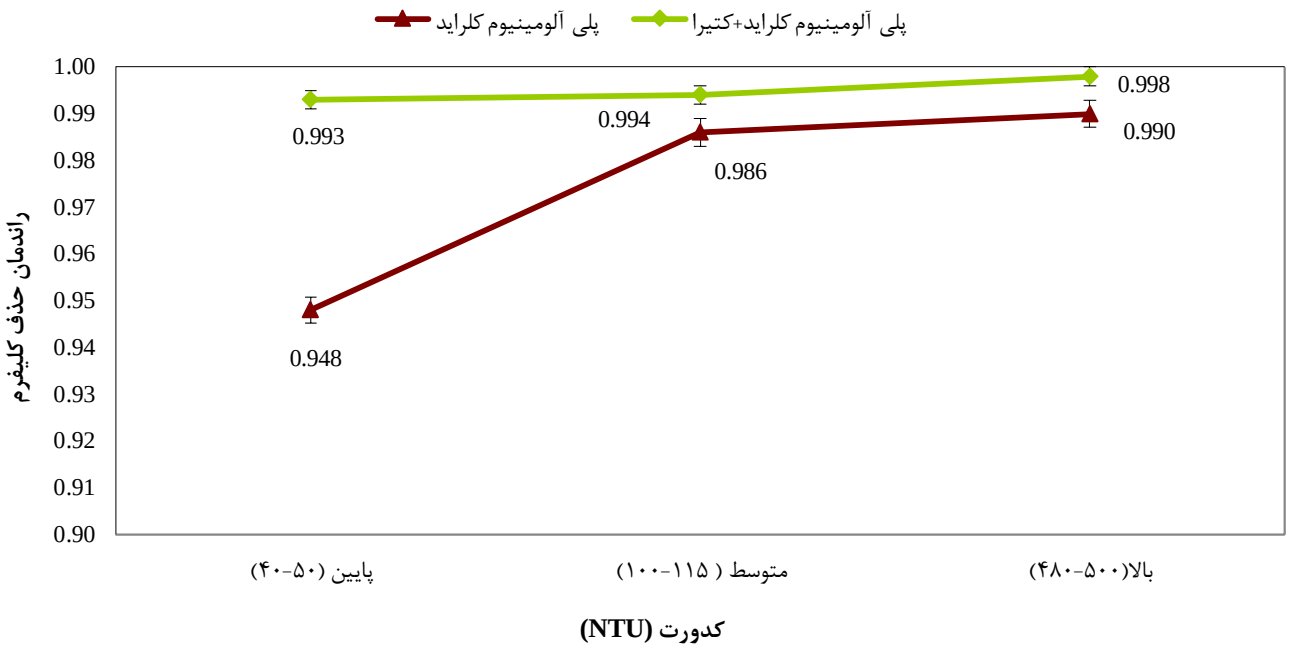
شکل ۳- روند تغییرات کدورت باقی‌مانده نسبت به تغییرات دوز کمک منعقدکننده کتیرا

۳-۴- میزان حذف کلیفرم کل در کدورت‌های مورد آزمایش

حضور باکتری‌های کلیفرم در آب شاخص مفیدی برای مشخص کردن آلودگی‌های مدفوعی است که به تازگی درآب ایجاد شده‌اند و منبع اصلی بسیاری از بیماری‌های روده‌ای قابل انتقال از طریق آب نیز هستند. غلظت باکتری‌های شاخص معیاری از درجه آلودگی و بنابراین کیفیت بهداشتی بوده و با واحد MPN نشان داده می‌شود. در آب شرب MPN باید برابر با صفر باشد (Environmental Protection Agency, 1999). میانگین کلیفرم آب خام در طول دوره آزمایش‌ها درکدورت‌های پایین، متوسط و بالا به‌ترتیب برابر با ۲۱۰۰۰، ۱۵۰۰۰ و ۴۶۰۰۰ (MPN/100 ml) بود.

نتایج حاصل از آزمایش‌های میکروبی در شکل ۴ آمده است، مطابق نمودار با افزایش کدورت اولیه راندمان حذف کلیفرم کل در غلظت بهینه مواد منعقدکننده افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که راندمان حذف کلیفرم به‌ترتیب در کدورت‌های پایین، متوسط و بالا با کاربرد PAC به تنهایی برابر با ۹۴/۸، ۹۸/۶ و ۹۹ درصد، در کاربرد PAC به‌همراه کتیرا به‌ترتیب برابر با ۹۹/۳، ۹۹/۴ و ۹۹/۸ درصد حاصل شده است. هم‌چنین بعد از ۲۴ ساعت هیچ‌گونه رشد مجددی از باکتری‌ها در نمونه‌های آب تصفیه شده مشاهده نشد.

آزمون آنالیز واریانس با ($P < ۰/۰۵$) نشان داد مواد منعقدکننده روی درصد حذف کلیفرم معنی‌دار بوده و ضریب تعیین مدل (R^2) برای PAC برابر با ۰/۹۹۲ و کاربرد PAC با کتیرا برابر با ۰/۹۷۴ است، هم‌چنین مطابق نتایج آزمون ANOVA با سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معناداری بین مقادیر مواد منعقدکننده بهینه و درصد حذف کلیفرم کل وجود دارد.



شکل ۴- روند تغییرات درصد حذف کلیفرم کل نسبت به تغییرات دوز مواد منعقدکننده در کدورت‌های مورد آزمایش

۴- بحث

در این تحقیق pH عامل بسیار مؤثری بر میزان حذف کدورت بود و تنظیم آن برای استفاده بهینه از ماده منعقدکننده ضروری است. pH بهینه برای حذف کدورت توسط PAC برابر با ۸ بود و با افزایش غلظت PAC میزان حذف کدورت نیز افزایش یافت. براساس این مطالعه، غلظت بهینه PAC برای حذف کدورت در کدورت پایین (۵۰-۴۰ NTU)، برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و در کدورت‌های متوسط (۱۱۵-۱۰۰ NTU) و بالا (۵۰۰-۴۸۰ NTU) برابر با ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد و افزودن کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده، بازدهی فرآیند را افزایش داد.

در این مطالعه نرخ حذف کدورت در pHهای اسیدی کاهش یافت. بنابراین نمی‌توان گفت که خنثی‌سازی ذرات تنها مکانیسم انعقاد است. در pH بهینه عمده ذرات در رسوبات به دام می‌افتند و فرآیند جاروب لخته‌ای صورت می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد که در pH بهینه بخشی از ذرات در زنجیره انعقادی پلیمر به دام افتاده‌اند و مکانیسم انعقاد جاروبی و به دام افتادن ذرات موثر بوده است. در این فرایند نقش کمک منعقدکننده کتیرا نیز بسیار مهم است، به این دلیل که می‌تواند ذرات را جذب کرده و آن‌ها را از آب خارج کند. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که لخته‌های حاصل از کاربرد کتیرا به‌عنوان کمک منعقدکننده در شرایط بهینه نسبت به زمانی که از PAC به تنهایی استفاده شد، بسیار درشت‌تر و سرعت ته‌نشینی بالاتر بود.

۵- نتیجه گیری

در مجموع بررسی‌ها نشان داد که غلظت ۰/۰۶ میلی‌گرم در لیتر کمک منعقدکننده کتیرا به‌همراه ۱۵ میلی‌گرم در لیتر منعقدکننده PAC در کدورت بالا (۵۰۰-۴۸۰ NTU) بهترین عملکرد را در کاهش کدورت و کلیفرم دارد. به‌طوری‌که در مقادیر بهینه فوق راندمان حذف کدورت برابر با ۹۹/۷ درصد و راندمان حذف کلیفرم کل، برابر با ۹۹/۸ درصد به‌دست‌آمد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که کمک منعقدکننده طبیعی کتیرا قادر است کدورت و کلیفرم آب را به‌طور موثری کاهش دهد.

۶- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری صمیمانه مسئولین شرکت آب و فاضلاب اهواز و به‌ویژه کارکنان آزمایشگاه تصفیه‌خانه شماره ۲ و اساتید بزرگوار آقایان دکتر عبدالکاظم نیسی و دکتر افشین تکدستان سپاسگزاری می‌شود.

۷- مراجع

چالکش امیری، م.، (۱۳۹۵)، *اصول تصفیه آب*، انتشارات ارکان دانش.

ذهب صنیعی، ا.، (۱۳۷۰)، *روش‌های تصفیه آب*، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان. اصفهان، ایران.

زرگران، ع.، محمدی‌فر، م.، و بلاغی، س.، (۱۳۸۷)، "مقایسه برخی ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های رئولوژیک صمغ کتیرای ایرانی تراویده از دو گونه گون A.floccosus و A. rahensis"، *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۴، ۹-۱۷.

سازمان استاندارد ایران (۱۳۸۹)، *خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب شرب*، تهران، ایران.

صالحی‌سورمقی، م.، (۱۳۸۵)، *گیاهان دارویی و گیاه‌درمانی*، انتشارات دنیای تغذیه، تهران، ایران.

صمصام‌شریعت، ه.، و معطر، ف.، (۱۳۸۳)، *گیاهان و داروهای طبیعی*، انتشارات روزبهان، اصفهان، ایران.

عروجی، ن.، تکدستان، ا.، کارگری، ع.، و رئیسی، غ.، (۱۳۹۱)، "کارایی کیتوزان به‌همراه پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب ورودی به تصفیه‌خانه آب اهواز"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۳(۴)، ۷۰-۷۷.

علی‌پور، و بذرافشان، ا.، (۱۳۸۳)، *تصفیه آب: اصول نظری و عملی بهره‌برداری از تاسیسات آب شرب*، انتشارات دانش نما، اصفهان، ایران.

EPA, (1999), *Turbidity through the treatment process*, Guidance Manual Turbidity Provisions, United States Environmental Protection Agency.

Ravikumar, K., and Sheeja, A.K., (2012), "Water clarification using Moringa oleifera seed coagulant", *International Conference on Green Technologies (ICGT)*, Trivandrum, India, pp. 64-70.

Letterman. R.D., and Driscoll, C.T., (1988), "Survey of residual aluminum in filtered water", *Journal of the American Water Works Association*, 80(4).154-158.

Montgomery, J.M., (2012), *Water treatment principals and desing*, 3th Edition, John Wiley, USA.

Ndabigengesere, A., Narasiah. K.S., (1998), "Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds". *Water Research*, 32(3), 781-791.

Nonod, J., and Brault, J.L., (2014), *Water treatment handbook*, 7th Edition, Degremont, USA.

Okuda, T., Baes, A.U., Nishijima, W., and Okada, M, (1999), "Improvement of extraction method of coagulation active components from moringa oleifera seed", *Water Research*, 33(15), 3373-3378.

Sanghi. R., Bhattacharya, B., Dixit, A., and Singh, V., (2006), "Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions", *Journal of Environmental Management*, 81(1), 36-41.

Shi, B., Li., G., Wang, D., Feng, C., and Tang, H., (2007), "Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species", *Journal of Hazardous Materials*, 143(1-2), 567-574.

Trease, G.E., (1971), *Pharmacognosy*, Bailliere Tindal, London, pp. 448-544.

WHO, (2007), *Guidelines for drinking water quality, V.2*, 2th Edition, World Health Organ, Geneva.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.