ارزیابی تانیک اسید به‌عنوان منعقد کننده در کاهش کدورت آب در تصفیه مقدماتی

هستی هاشمی نژاد*، امیر تائبی و پویا پایداری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۹)

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی تانیک اسید به‌عنوان منعقد کننده در حذف کدورت آب است. آزمایش‌ها مطابق با روش آماری تاگوچی طراحی شد و برروی نمونه‌های آب با کدورت مصنوعی کائولین و آب با کدورت طبیعی انجام شد. به‌منظور بهینه‌سازی فرایند انعقاد توسط تانیک اسید و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر آن، هفت پارامتر pH، دز منعقد کننده، سرعت اختلاط سریع، سرعت اختلاط کند، زمان اختلاط کند، زمان ته‌نشینی و کدورت اولیه، به‌کمک آزمایش جار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج کلی به‌دست آمده از آزمایش‌ها نشان داد که در شرایط بهینه، تانیک اسید قادر است تا ۷۱ درصد کدورت مصنوعی و تا ۶۶ درصد کدورت طبیعی را حذف کند. به‌علاوه، تانیک اسید در آب‌های با کدورت پایین‌تر راندمان بالاتری از خود نشان می‌دهد. با انجام آنالیز واریانس (ANOVA) مشخص شد که دو پارامتر کدورت اولیه و زمان اختلاط کند، بیشترین تأثیر را بر قدرت منعقدکنندگی تانیک اسید دارند. در مجموع می‌توان بیان کرد که تانیک اسید از قابلیت منعقدکنندگی برخوردار است و بنابراین می‌تواند به جای منعقد کننده‌های متداول، در تصفیه مقدماتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، فلزات سنگین، جذب زیستی، آلودگی آب و خاک

۱. گروه آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hhasheminejad@cc.iut.ac.ir

مقدمه

کاهش کدورت همواره یکی از اهداف اصلی و پرهزینه در طراحی تصفیه‌خانه‌ها و بهره‌برداری از آنها بوده است. معمولاً به‌دلیل ریزی و باردار بودن ذرات کلوئیدی، مولّد کدورت و رنگ را نمی‌توان به‌راحتی به روش‌های ته‌نشینی ثقلی و یا فیلتر کردن با صافی‌های متداول از آب حذف کرد. حذف ذرات معلق و کلوئیدی نه تنها از نظر حذف کدورت آب و تولید آب زلال دارای اهمیت است، بلکه با حذف میکروارگانیسم‌های متصل و پیوسته به این ذرات باعث گندزدایی آب نیز می‌شود. در صنایع تصفیه آب و فاضلاب، سری فرایندهای انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی پرکاربردترین روش برای حذف ذرات معلق و کلوئیدی‌اند و تاکنون منعقد کننده‌های مختلفی برای این منظور تولید شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به منعقد کننده‌های معدنی نظیرکلروفریک ($FeCl_3$) و سولفات آلومینیوم ($Al_2(SO_4)_3$) و منعقد کننده‌های معدنی پلیمری مانند پلی‌آلومینیوم کلراید ($(Al_n(OH)_mCl_{3n-m})x$) اشاره کرد (۱). با توجه به هزینه بالای واردات این مواد و آشکار شدن مشکلات بالقوه ناشی از استفاده آنها برروی سلامتی انسان، تلاش‌های بسیاری به‌منظور جایگزینی این مواد با مواد طبیعی انجام گرفته است. از این مواد طبیعی می‌توان به گیاه مورینگااولیفرا (۲)، کیتوسان (۳)، انواع کاکتوس (۴)، بامیه (۵) و غیره اشاره کرد. این نوع منعقد کننده‌ها علاوه بر کاهش هزینه، به‌دلیل خوراکی بودن، قسمت عمده‌ای از نگرانی‌های بهداشتی مربوط به منعقد کننده‌های معدنی و مصنوعی را نیز برطرف می‌کنند.

تانیک اسید یک پلیمر طبیعی، غیرسمی، زیست تجزیه‌پذیر و فراوان در طبیعت است، تانن قابل هیدرولیز بوده و ساختار شیمیایی آن عمدتاً با فرمول شیمیایی $C_{76}H_{52}O_{46}$ بیان می‌شود. این ماده به‌دلیل دارا بودن گروه‌های فنلی در ساختار شیمیایی، خاصیت اسیدی ضعیفی (pKa=۶) از خود نشان می‌دهد (۶). تانیک اسید به مقدار فراوان در چوب، پوست و دانه درختانی نظیر بلوط و گردو وجود دارد و به نظر می‌رسد نوعی وسیله دفاعی گیاه در مقابل محرک‌های خارجی مانند هجوم بعضی از انواع حشرات است . از جمله مواد استخراجی چوب، تانن است. همه تانن‌ها یک سری ویژگی‌های مشترک دارند و آن این است که توانایی انعقاد آلبومین‌ها، فلزات سنگین و آلکالوئیدها را دارند. این مواد در آب حل می‌شوند و ویژگی قابض بودن از خود نشان می‌دهند. به‌طورکلی، تانن‌ها به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالای هیدروکسیل‌های فنلی، قادرند کمپلکس‌های قوی با پروتئین و دیگر ماکرومولکول‌ها مانند نشاسته، سلولز و بسیاری از مواد معدنی تشکیل دهند (۷). این خاصیت تانن‌ها نه تنها باعث استفاده گسترده از آنها در صنایع دباغی و نساجی به‌عنوان تثبیت‌کننده شده است بلکه باعث شده تا کارایی آنها در تصفیه آب و فاضلاب به‌عنوان منعقد کننده و کمک منعقد کننده نیز مورد بررسی قرار گیرد. در سال ۲۰۰۲ اُزاکار و سنگیل به بررسی کارایی جوهر میوه بلوط ترکی (حاوی حداقل ۵۳ درصد تانن‌های قابل هیدرولیز) به‌عنوان کمک منعقد کننده به‌همراه سولفات آلومینیم در حذف کدورت آب پرداختند و مشاهده کردند که دز یک میلی‌گرم در لیتر از این عصاره می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای از دُز منعقد کننده سولفات آلومینیم کاسته و فرایند انعقاد را بهبود ببخشد و مستقل از کدورت اولیه، کدورت نهایی را تا راندمان ۹۹/۵ درصد کاهش دهد (۸). در سال ۱۳۸۶ عظیمی‌نژاد و همکاران. به بررسی کارایی عصاره تانن‌دار (جوهر میوه بلوط) در حذف کروم از پساب صنایع نساجی به‌کمک عمل انعقاد پرداخته و دریافتند که افزودن عصاره تانن‌دار میوه بلوط به‌میزان ۷۰ میلی‌گرم در لیتر به محلول استاندارد حاوی کروم، موجب کاهش غلظت کروم به‌میزان ۲۰ درصد می‌شود (۹). در سال ۲۰۰۸، ژو و همکاران به بررسی کارایی تانیک اسید به‌عنوان کمک منعقد کننده به‌همراه کلروفریک در تصفیه انواع فاضلاب پرداختند و دریافتند که استفاده از این ماده می‌تواند باعث تشکیل لخته‌های بزرگ‌تر و در نهایت تسریع فرایند ته‌نشینی شود (۱۰). در سال ۲۰۰۸، اسکیبان و همکاران به بررسی کارایی عصاره استخراج شده از گونه‌های شاه‌بلوط هندی و بلوط قرمز، در حذف کدورت مصنوعی آب پرداختند

جدول ۱. برخی ازخصوصیات فیزیکی وشیمیایی آب رودخانه زاینده‌رود

مرحله	pH	هدایت الکتریکی (µS/cm)	شوری $(ppt)^2$	کل ذرات محلول (mg/L)	کل ذرات معلق (mg/L)	سختی کل (mg/L)	قلیائیت کل (mg/L)	کدورت (NTU)
اول	۸٫۱	۵۵۲	۰٫۳	۲۶۷٫۲	۳۳۵	۲۱۰	۱۰٫۰۱	۸٫۱
دوم	۸٫۱	۵۱۰	۰٫۳	۲۹۰٫۱	۳۴۰	۲۴۰	۱۱٫۲	۴٫۲

و دریافتند که این دو ماده به‌ترتیب کارایی برابر ۸۰ و ۷۰ درصد در حذف ذرات کلوئیدی از خود نشان می‌دهند (۱۱). هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی تانیک اسید به‌عنوان منعقد کننده در حذف کدورت آب است.

مواد و روش‌ها

تهیه محلول تانیک اسید

در این مطالعه از تانیک اسید تولیدی شرکت مرک با درجه خلوص بالای ۹۸ درصد استفاده شد. برای تهیه محلول تانیک اسید، ابتدا ۰/۵ گرم از پودر تانیک اسید به ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و سپس حجم آب به ۵۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از آن، مخلوط حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه توسط همزن مغناطیسی مخلوط شد، سپس از محلول رویی به‌عنوان محلول تانیک اسید در آزمایش‌ها استفاده می‌شد.

تهیه نمونه‌های آب

در این مطالعه، از نمونه آب با کدورت مصنوعی به‌منظور بررسی کارایی تانیک اسید به‌عنوان منعقد کننده و ایجاد امکان مقایسه با منعقد کننده‌های دیگر و از نمونه آب رودخانه زاینده‌رود با کدورت طبیعی به‌منظور پتانسیل‌سنجی استفاده از تانیک اسید در تصفیه آب شهری استفاده شد.

به‌منظور ایجاد سوسپانسیون استوک کائولین، ۱۰ گرم کائولین در یک لیتر آب مقطر ریخته و مخلوط حاصل با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه و به‌مدت یک ساعت به‌هم زده شد. پس از ۲۴ ساعت مایع رویی به‌عنوان استوک مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب که سوسپانسیون استوک حاصل، برای افزایش کدورت به حجم مورد نظر از نمونه آب مقطر، به‌صورت مرحله‌ای اضافه شد تا کدورت‌های مورد نظر در نمونه‌ها به‌دست آید.

آب با کدورت طبیعی از رودخانه زاینده‌رود و در دو مرحله برداشت شد. گستره خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب برداشت‌شده در جدول (۱) آمده است. در نمونه‌های آب طبیعی رودخانه، به‌منظور افزایش دامنه تغییرات کدورت نمونه‌های آب، از گل و لای بستر رودخانه استفاده شد. به این منظور، گل و لای برداشت شده از بستر رودخانه در آب رودخانه به‌مدت یک ساعت مخلوط و سپس به‌منظور ته‌نشینی ذرات درشت‌تر آب گل‌آلود، نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه به حالت سکون رها می‌شدند. در هر آزمایش، آب رویی مخلوط حاصل، جهت افزایش و رساندن کدورت نمونه به کدورت مورد نظر به‌صورت مرحله‌ای به نمونه آب طبیعی اضافه شد.

طراحی و انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها به‌کمک دستگاه جار تست انجام شد. از روش آماری تاگوچی برای تعیین شرایط بهینه همچنین تعیین میزان حداکثر راندمان حذف، در طرح آزمایش‌ها استفاده شد. در روش تاگوچی، طرح آماری آزمایش‌ها به‌صورت مجموعه‌ای از آرایه‌های متعامد است. استفاده از آرایه‌های متعامد در طراحی آزمایش‌ها، تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای بررسی را به‌میزان چشمگیری کاهش می‌دهد. این آرایه‌ها به‌صورت جداولی از پیش طراحی شده‌اند که با توجه به تعداد پارامترهای مورد بررسی و تعداد سطوح هریک از آنها انتخاب می‌شوند و آرایش آزمایش‌ها را مشخص می‌کنند (۱۲). در این مطالعه هفت پارامتر pH، دز منعقد کننده، سرعت اختلاط سریع،

جدول ۲. پارامترها و سطوح آنها در این مطالعه

سطح	pH	دز منعقد کننده (mg/L)	سرعت اختلاط سریع (rpm)	سرعت اختلاط کند (rpm)	زمان اختلاط کند (min)	زمان ته‌نشینی (min)	کدورت اولیه (NTU)
سطح ۱	۴	۵	۱۰۰	۳۰	۱۰	۵	<۲۵ کدورت
سطح ۲	۶	۱۰	۱۵۰	۵۰	۲۰	۱۵	۹۰±۱۰
سطح ۳	۸	۱۵	۲۰۰	۷۰	۳۰	۳۰	۳۰۰±۳۰
سطح ۴	۱۰	۲۰	۲۵۰	۹۰	۴۰	۴۵	۷۵۰±۵۰

سرعت اختلاط کند، زمان اختلاط کند، زمان ته‌نشینی و کدورت اولیه مورد بررسی قرار گرفته و برای هر یک چهار سطح انتخاب شد. پارامترها و سطوح در نظر گرفته شده در طراحی آزمایش‌ها در جدول (۲) نمایش داده شده‌اند. محدوده سطوح براساس آزمایش‌های اولیه متعدد و نیز بررسی محدوده‌های در نظر گرفته شده در منابع مختلف، انتخاب شدند (۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). لازم به ذکر است که زمان اختلاط سریع به‌عنوان یک پارامتر مستقل در نظر گرفته نشد و در تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر یک دقیقه فرض شد.

به‌منظور طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج، از نرم‌افزار Qualitek-۴ که بسته‌ای نرم‌افزاری برای طراحی و تحلیل آزمایش‌ها منطبق بر روش تاگوچی است، استفاده شد. حاصل طراحی آزمایش‌ها به‌کمک روش تاگوچی آرایه L_{32} بود که در جدول (۳) نشان داده شده است. مطابق این آرایه، ۳۲ آزمایش برای هر یک از دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی انجام شد. اعداد نوشته شده در زیر هر یک از پارامترها، شماره سطح آن پارامتر را در هر یک از آزمایش‌ها مشخص می‌کنند. به‌منظور حداقل کردن اثر منابع خطا، ترتیب انجام آزمایش‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شد.

برای انجام آزمایش‌ها، از دستگاه جار شش پدالی با پدال مستطیلی استفاده شد. به‌منظور کم‌کردن خطا، هر آزمایش دو بار تکرار و در هر بار، یک نمونه بدون اضافه کردن تانیک اسید به‌عنوان شاهد نیز آزمایش شد. در آزمایش‌ها از بشرهای یک لیتری، حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر نمونه استفاده شد. جهت تنظیم pH نمونه‌ها از اسیدکلریدریک (HCl) و هیدروکسیدآمونیم ($NH_4(OH)$) با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۱ مولار و دستگاه pHمتر استفاده شد. برای برداشت نمونه از هر آزمایش، از عمق صفر تا دو سانتی‌متری سطح محلول آزمایش‌ها، پس از طی مراحل اختلاط تند، کند و ته‌نشینی، مقدار ۱۲۰ میلی‌لیتر نمونه برداشته شد و میزان کدورت آن توسط دستگاه کدورت‌سنج قرائت شد. راندمان حذف کدورت در این مرحله با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد.

$$R = \frac{T_B - T_s}{T_B} \times 100 \qquad [۱]$$

TB و Ts به‌ترتیب کدورت باقیمانده در شاهد و در نمونه و R راندمان یا کارایی است. هرچه R بزرگ‌تر باشد مطلوب‌تر است، چراکه نشان‌دهنده راندمان بالاتر حذف کدورت است.

شرایط بهینه و حداکثر راندمان حذف کدورت برای هر نمونه آب، توسط نرم‌افزار Qualitek-۴ پیش‌بینی شد. آزمایش‌های تأیید کننده در شرایط بهینه پیش‌بینی شده انجام شد و راندمان آنها با راندمان پیش‌بینی‌شده توسط نرم‌افزار مقایسه شد. همچنین به‌منظور مشاهده معناداری (P) پارامترها از لحاظ آماری و میزان تأثیر هر یک در فرایند بررسی شد، آنالیز واریانس (ANOVA) برروی نتایج حاصل به‌کمک این نرم‌افزار انجام شد.

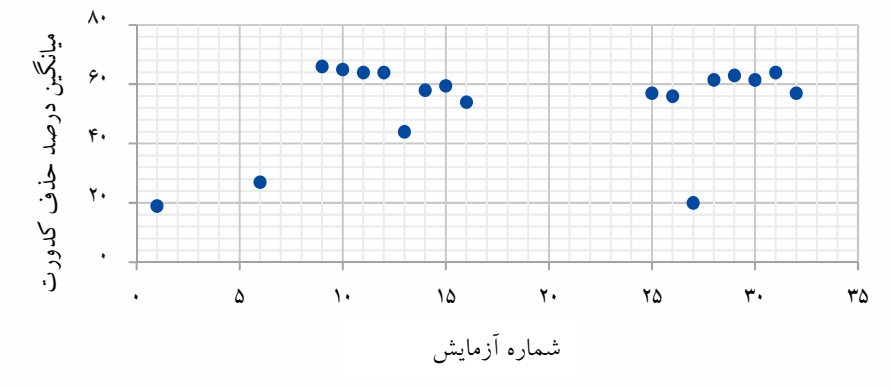
نتایج و بحث

آزمایش‌ها مطابق جدول ۳ برای دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی انجام شد. شکل‌های (۱ و ۲) به‌ترتیب میانگین درصد حذف کدورت در آزمایش‌های انجام شده برای نمونه آب با کدورت مصنوعی و نمونه آب با کدورت طبیعی را نشان می‌دهند. برخی از آزمایش‌ها راندمان منفی داشتند که در این مطالعه راندمان آنها صفر در نظر گرفته شد.

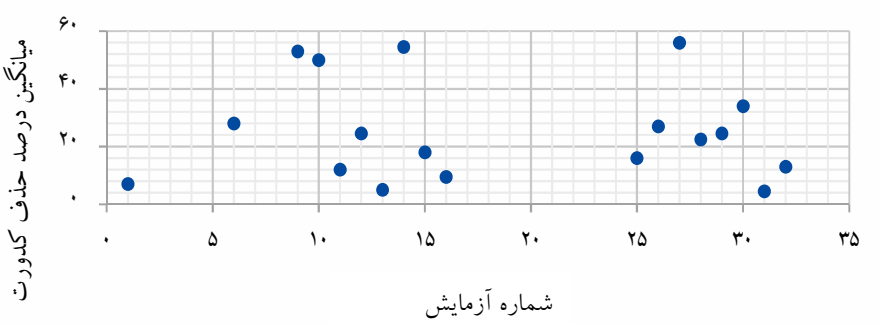
جدول ۳. آرایه متعامد L_{32} تاگوچی

آزمایش	pH	دز منعقد کننده	کدورت اولیه	زمان ته‌نشینی	زمان اختلاط کند	سرعت اختلاط کند	سرعت اختلاط تند
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴
۵	۲	۱	۱	۲	۲	۳	۳
۶	۲	۲	۲	۱	۱	۴	۴
۷	۲	۳	۳	۴	۴	۱	۱
۸	۲	۴	۴	۳	۳	۲	۲
۹	۳	۱	۲	۳	۴	۱	۲
۱۰	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱
۱۱	۳	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۱۲	۳	۴	۳	۲	۱	۴	۳
۱۳	۴	۱	۲	۴	۳	۳	۴
۱۴	۴	۲	۱	۳	۴	۴	۳
۱۵	۴	۳	۴	۲	۱	۱	۲
۱۶	۴	۴	۳	۱	۲	۲	۱
۱۷	۱	۱	۴	۱	۴	۲	۳
۱۸	۱	۲	۳	۲	۳	۱	۴
۱۹	۱	۳	۲	۳	۲	۴	۲
۲۰	۱	۴	۱	۴	۱	۳	۲
۲۱	۲	۱	۴	۲	۳	۴	۱
۲۲	۲	۲	۳	۱	۴	۳	۲
۲۳	۲	۳	۲	۴	۱	۲	۳
۲۴	۲	۴	۱	۳	۲	۱	۴
۲۵	۳	۱	۳	۳	۱	۲	۴
۲۶	۳	۲	۴	۴	۲	۱	۳
۲۷	۳	۳	۱	۱	۳	۴	۲
۲۸	۳	۴	۲	۲	۴	۳	۱
۲۹	۴	۱	۳	۴	۲	۴	۲
۳۰	۴	۲	۴	۳	۱	۳	۱
۳۱	۴	۳	۱	۲	۴	۲	۴
۳۲	۴	۴	۲	۱	۳	۱	۳

در جدول (۴)، خلاصه آماری نتایج ارائه شده در شکل‌های ۱ و ۲ برای دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی ارائه شده است. توسط نرم‌افزار Qualitek-۴، آنالیز واریانس برروی نتایج به‌دست آمده انجام شد، که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.



شکل ۱. میانگین درصد حذف کدورت در آب مصنوعی در طرح آزمایش تاگوچی



شکل ۲. میانگین درصد حذف کدورت در نمونه آب طبیعی در طرح آزمایش تاگوچی

جدول ۴. خلاصه آماری نتایج به‌دست آمده

شاخص آماری	آب با کدورت مصنوعی	آب با کدورت طبیعی
میانگین	۳۰٫۰۱	۱۴٫۲۶
میانه	۲۳٫۳۵	۶٫۰۵
ماکزیمم درصد حذف	۶۵٫۹۶	۵۵٫۹۵
انحراف معیار	۲۹٫۲۴	۱۸٫۱۳

آنالیز واریانس مشخص کرد که عامل دز منعقد کننده برای هر دو نمونه معنادار نیست، لذا این عامل طی فرایند ادغام حذف شد.

کدورت اولیه و زمان اختلاط کند به‌ترتیب با ۳۷/۳ درصد و ۲۶/۸ درصد بیشترین تأثیر را در حذف کدورت مصنوعی و به‌ترتیب ۳۸/۲ درصد و ۲۵/۴ درصد بیشترین تأثیر را در حذف کدورت طبیعی توسط تانیک اسید در جدول ۵ نشان داده شده است.

پارامترهای مؤثر و سطوح بهینه پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار در جدول (۶) نشان داده شده‌است. شرایط بهینه و حداکثر راندمان حذف توسط تانیک اسید به‌کمک نرم‌افزار Qualitek-۴ پیش‌بینی شده است.

در شرایط بهینه توسط نرم‌افزار، آزمایش‌های تأیید کننده برای هر نمونه اجرا و راندمان آن با راندمان حذف پیش‌بینی

جدول ۵. نتایج آنالیز واریانس

پارامتر	نمونه آب با کدورت مصنوعی			نمونه آب با کدورت طبیعی		
	واریانس (V)	نسبت F	درصد (P)	واریانس (V)	نسبت F	درصد (P)
pH	۱۱۵/۷۱	۵/۳۷	۷/۹۳	۱۳۳/۳۷	۵/۲۱	۷/۵۱
دز منعقد کننده	Pooled			Pooled		
کدورت اولیه	۴۶۳/۸۳	۲۱/۵۴	۳۷/۲۶	۵۷۳/۸۱	۲۲/۴۵	۳۸/۱۷
زمان ته‌نشینی	۹۱/۰۵	۴/۲۲	۵/۸۵	۱۰۴/۷۱	۴/۰۹	۵/۵۱
زمان کند	۳۳۹/۱۷	۱۵/۷۵	۲۶/۷۶	۳۹۰/۰۴	۱۵/۲۶	۲۵/۳۸
سرعت کند	۵۸/۳۸	۲/۷۱	۳/۱۰	۶۷/۱۶	۲/۶۲	۲/۸۹
سرعت تند	۵۲/۷۷	۲/۴۵	۲/۶۳	۵۶/۳۸	۲/۲۱	۲/۱۴
دیگر/ خطا	۲۱/۵۳	–	۱۶/۴۳	۲۵/۵۵	–	۱۸/۳۸
کل	–	–	۱۰۰	–	–	۱۰۰

جدول ۶. سطوح بهینه پارامترها

پارامتر	نمونه آب با کدورت مصنوعی		نمونه آب با کدورت طبیعی	
	سطح	مقدار سطح	سطح	مقدار سطح
pH	۴	۱۰	۳	۸
دز منعقد کننده (mg/L)	۲	۱۰	۲	۱۰
کدورت اولیه (NTU)	۱	۲۵	۱	۲۵
زمان ته‌نشینی (min)	۱	۵	۱	۵
زمان کند (min)	۱	۱۰	۱	۱۰
سرعت کند (rpm)	۳	۷۰	۴	۹۰
سرعت تند (rpm)	۲	۱۵۰	۱	۱۰۰

شده، توسط نرم‌افزار Qualitek-۴ مقایسه شد. نتایج پیش‌بینی شده و نتایج حاصله از اجرای آزمایش‌ها در شرایط بهینه در جدول (۷) نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر راندمان حذف کدورت از آزمایش‌های تأیید کننده، با سطح اطمینان فرض شده، به‌خوبی با مقدار راندمان پیش‌بینی شده توسط روش تاگوچی مطابقت دارد. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن تانیک اسید به‌عنوان منعقد کننده و با اعمال شرایط بهینه روش تاگوچی، به مقادیر حذف کدورت تا ۷۱ درصد برای نمونه آب با کدورت مصنوعی و ۶۶ درصد برای نمونه آب با کدورت طبیعی می‌توان دست یافت. این نتایج منطبق بر نتایج حاصل از مطالعات اسکیبان و همکاران است (۱۱).

با دقت در جدول (۶) موارد زیر را می‌توان مطرح کرد:

حداکثر درصد حذف برای نمونه آب با کدورت مصنوعی در pH قلیایی و برابر ۱۰ و برای نمونه آب با کدورت طبیعی در pH برابر ۸ اتفاق افتاد. این اختلاف را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در نمونه‌های آب رودخانه، در pH قلیایی، احتمالاً برخی از واکنش‌های رسوب‌زا در آب ایجاد شده و باعث حذف بیشتر کدورت از طریق مکانیسم لخته جاروب‌کننده (Sweeping flock) در نمونه شاهد

جدول ۷. نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار و نتایج حاصل از اجرای آزمایش‌ها در شرایط بهینه

نمونه آب با کدورت مصنوعی				نمونه آب با کدورت طبیعی			
نتایج آزمایش‌های تاییدکننده (میانگین درصد حذف)	نتایج پیش‌بینی‌شده در شرایط بهینه			نتایج آزمایش‌های تاییدکننده (میانگین درصد حذف)	نتایج پیش‌بینی‌شده در شرایط بهینه		
	میانگین درصد حذف	سطح اطمینان	بازه اطمینان		میانگین درصد حذف	سطح اطمینان	بازه اطمینان
۶۳/۴۱	۶۶/۱۶	۹۰ درصد	± ۵/۴۵	۵۶/۲۶	۵۹/۲۱	۹۰ درصد	± ۷/۲۵

مشاهده شده است. لذا، عدد راندمان حاصله برای نمونه آب با کدورت طبیعی در pH قلیایی از رابطه (۱) کوچک‌تر می‌شود.

حداکثر راندمان حذف برای هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی در دز ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اتفاق افتاده است. از طرف دیگر در جدول (۵) مشاهده شد که پارامتر دز منعقد کننده در هر دو نمونه آب معنادار نبوده است و حذف شده است. معرفی سطح بهینه با توجه به معنادار نبودن پارامتر، می‌توان با توجه به نحوه طراحی نرم‌افزار، آن را پاسخ داد. طراحی نرم‌افزار Qualitek-4 به‌گونه‌ای است که مستقل از معناداری یک عامل، سطحی را به‌عنوان سطح بهینه آن عامل معرفی می‌کند. اما معنادار نبودن پارامتر دز منعقد کننده می‌تواند مربوط به انتخاب نامناسب سطوح اولیه دز باشد. به عبارت دیگر احتمالاً دزهای منعقد کننده برای نمونه تانیک اسید بسیار نزدیک به‌هم انتخاب شده‌اند و لذا در این بازه اختلاف معناداری از خود نشان نداده‌اند.

حداکثر راندمان حذف در هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی در سطح اول پارامتر کدورت اتفاق افتاده است. این مسئله با توجه به اینکه سطح کدورت آب رودخانه‌ها عموماً و در بیشتر اوقات پایین است، نوعی مزیت محسوب می‌شود.

حداکثر راندمان حذف در هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی در سطح اول پارامتر زمان ته‌نشینی اتفاق افتاده است. به‌عبارت دیگر، با افزایش زمان ته‌نشینی، از راندمان حذف کدورت کاسته شده است. این مسئله نشان می‌دهد که احتمالاً لخته‌های تشکیل شده نسبتاً سنگین بوده و سریعاً ته‌نشین می‌شوند. این نتیجه کاملاً منطبق با مطالعات ژو و همکاران است (۱۰).

حداکثر راندمان حذف در هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی در سطح اول پارامتر زمان اختلاط کند اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد لخته‌های تانیک اسید سست بوده و با ادامه اختلاط، لخته‌های ایجاد شده از بین رفته و ذرات کلوئیدی مجدداً در محیط پراکنده می‌شوند.

سرعت اختلاط کند و تند بهینه برای نمونه آب با کدورت مصنوعی به‌ترتیب ۷۰ و ۱۵۰ دور در دقیقه و برای نمونه آب با کدورت طبیعی، ۹۰ و ۱۰۰ دور در دقیقه به‌دست آمده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی تانیک اسید در حذف کدورت از نمونه‌های آب با کدورت مصنوعی و طبیعی مورد مطالعه قرار گرفته است و موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

در شرایط بهینه، تانیک اسید قادر است راندمان حذف کدورت مصنوعی و طبیعی را به‌ترتیب ۷۱ درصد و ۶۶ درصد افزایش دهد.

آنالیز واریانس نشان داد برای هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی، به‌جز پارامتر دز منعقدکننده، تمام پارامترهای مورد مطالعه اثر معنادار بر راندمان حذف ذرات کلوئیدی دارند.

حداکثر راندمان حذف در هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی در سطح اول پارامتر زمان ته‌نشینی اتفاق می‌افتد؛ این مسئله نشان می‌دهد که احتمالاً

لخته‌های تشکیل شده نسبتاً سنگین بوده و سریعاً ته‌نشین می‌شوند.

حداکثر راندمان حذف در هر دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی در کدورت کم (NTU 25>) اتفاق می‌افتد که این مسئله با توجه به اینکه سطح کدورت آب رودخانه‌ها عموماً و در بیشتر اوقات پایین است، نوعی مزیت محسوب می‌شود.

به‌طور کلی این تحقیق نشان داد تانیک اسید قادر به کاهش کدورت بوده و می‌تواند به‌جای منعقد کننده‌های متداول در تصفیه مقدماتی آب استفاده شود.

منابع مورد استفاده

1. Dasgupta, J., J. Sikder, S. Chakraborty, S. Curcio and E. Drioli. 2015. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review. *Journal of Environmental Management* 147(1): 55-72.
2. Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., Muñoz-Serrano, A. and Peres, J.A. 2012. Towards overcoming TOC increase in wastewater treated with Moringa oleifera seed extract. *Chemical Engineering Journal* 188(15): 40-46.
3. Rushing, J., Huang, C., Chen, D., and Chung, Y.C. 1999. Evaluation of a modified chitosan biopolymer for coagulation of colloidal particles. *Journal of Environmental Sciences* 147(6): 339-364.
4. Diaz, A., N. Rincon, A. Escorihuela, N. Fernandez, E. Chacin and C. F. Forster. 1999. A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants to Venezuela. *Process Biochemistry* 35(8): 391-395.
5. Al-Samawi, A. A. and E. M. Shokralla. 2006. An investigation into an indigenous natural coagulant. *Journal of Environmental Science and Health* 31(8): 1881-1897.
6. Motevaselian, M. 1980. Measurement of oak seed as medicine and nutrient. PhD. Thesis, University of Tehran, Tehran.
7. Torkaman, J., A. Mirshokrayi and H. Resalati. 2002 Bark extractives analysis of five Iranian hard wood species. *Iranian Journal of Natural Resources* 55(3): 397-405.
8. Ozacar, M. and A. Sengil. 2002. The use of tannins from Turkish Acorns in water treatment as a coagulant and coagulant aid. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 15(26):255-263.
9. Azimi, A., B. Valizadeh, M. R. Masoodinejad and A. Safarzadeh. 2007 Evaluation of Oak seed extracts in Chrome removal from leathering industry wastewater. *International Journal of Environmental Studies* 41(6): 5-10.
10. Zhou, Y., X. H. Xing, Z. H. Liu and C. Liwen. 2008. Enhanced coagulation of ferric chloride aided by tannic acid for phosphorous removal from wastewater. *Chemosphere* 72(2): 290-298.
11. Sciban, M., M. Klasnja, M. Antov and B. Skrbic. 2008. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology* 100(7): 6639-6643.
12. Roy, R. K. 2010. Design of Experiments Using the Taguchi Approach, John Wiley and Sons, NY.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 2, Summer 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Tannic Acid as Coagulant for Water Turbidity Reduction in Preliminary Water Treatment

H. Hashemi nejad*, A. Taebi and P. Paydari[1]

(Received: September 30-2014 ; Accepted: January 9-2018)

Abstract

The goal of this study was to evaluate tannic acid as a coagulant in turbidity removal. Tests were designed using Taguchi method and carried out on the synthetic and natural turbid samples. In order to optimize turbidity removal by tannic acid, seven factors including pH, coagulant dosage, rapid mixing rate, slow mixing rate, slow mixing time, sedimentation time and initial turbidity were investigated. The results revealed that in optimum conditions, tannic acid could n remove up to 71 percent of synthetic turbidity and 66 percent of natural turbidity; also, tannic acid showed more coagulation activity in the lower initial turbidities. ANOVA analysis showed that initial turbidity and slow mixing time were the most important parameters in the turbidity removal by tannic acid. In general, this study showed that tannic acid was capable of removing turbidity and could be used instead of common coagulants in the preliminary treatment.

Keywords: Coagulation, Tannic acid, Jar test, Taguchi

1. Department of Water and Environment, College of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: hhasheminejad@cc.iut.ac.ir