

## ارزیابی تانیک اسید به عنوان منعقد کننده در کاهش کدورت آب در تصفیه مقدماتی

هستی هاشمی نژاد\*، امیر تائبی و پویا پایداری<sup>۱</sup>

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

### چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی تانیک اسید به عنوان منعقد کننده در حذف کدورت آب است. آزمایش‌ها مطابق با روش آماری تاگوچی طراحی شد و بر روی نمونه‌های آب با کدورت مصنوعی کاتولین و آب با کدورت طبیعی انجام شد. به منظور 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، به کمک آزمایش جار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج کلی به دست 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. به علاوه، 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: بیوجار، 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 به دلیل ریزی و باردار بودن ذرات کلوئیدی، موکد کدورت و رنگ را نمی‌توان به راحتی 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 میکروارگانسیم‌های 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 نظیر کلروفریک ( $FeCl_3$ ) و سولفات آلومینیوم ( $Al_2(SO_4)_3$ ) و منعقد کننده‌های معدنی پلیمری مانند پلی آلومینیوم 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 بر روی سلامتی انسان، تلاش‌های بسیاری به منظور جایگزینی این مواد با مواد طبیعی انجام گرفته است. از این مواد طبیعی می‌توان به گیاه مورینگا اولیفرا (۲)، کیتوسان (۳)، انواع کاکتوس (۴)، بامیه (۵) و غیره اشاره کرد. این نوع منعقد کننده‌ها علاوه بر کاهش هزینه، به دلیل 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 به دلیل دارا بودن گروه‌های فنلی در ساختار شیمیایی، خاصیت اسیدی ضعیفی ( $pKa=6$ ) 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 آلومین‌ها، فلزات سنگین و آلکالوئیدها را دارند. این مواد در آب حل می‌شوند و ویژگی قابض بودن از خود نشان می‌دهند. به‌طور کلی، تانن‌ها به دلیل 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 ازاکار و سنگیل به بررسی کارایی جوهر میوه بلوط ترکی (حاوی حداقل ۵۳ درصد تانن‌های قابل هیدرولیز) به‌عنوان کمک منعقد کننده به‌همراه سولفات آلومینیوم در حذف کدورت آب پرداختند و مشاهده کردند که دز یک میلی‌گرم در لیتر از این عصاره می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای از دز منعقد کننده سولفات آلومینیوم 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 از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه زاینده رود

مرحله	pH	هدایت الکتریکی ( $\mu\text{S/cm}$ )	شوری (ppt) <sup>2</sup>	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	۱۰۰٫۱	۸٫۱
دوم	۸٫۱	۵۱۰	۰٫۳	۲۹۰٫۱	۳۴۰	۲۴۰	۱۱٫۲	۴٫۲

افزایش کدورت به حجم مورد نظر از نمونه آب مقطر، به صورت مرحله‌ای اضافه شد تا کدورت‌های مورد نظر در نمونه‌ها به دست آید.

آب با کدورت طبیعی از رودخانه زاینده رود و در دو مرحله برداشت شد. گستره خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب برداشت شده در جدول (۱) آمده است. در نمونه‌های آب طبیعی رودخانه، به منظور 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 به مدت یک ساعت مخلوط و سپس به منظور ته نشینی ذرات درشت تر آب گل آلود، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه به حالت سکون رها می شدند. در هر آزمایش، آب رویی مخلوط حاصل، جهت افزایش و رساندن کدورت نمونه به کدورت مورد نظر به صورت مرحله‌ای به نمونه آب طبیعی اضافه شد.

#### طراحی و انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها به کمک 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 به صورت مجموعه‌ای از آرایه‌های متعامد است. استفاده از آرایه‌های متعامد در طراحی آزمایش‌ها، تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای بررسی را به میزان چشمگیری کاهش می‌دهد. این آرایه‌ها به صورت 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،

و دریافتند که این دو ماده به ترتیب کارایی برابر ۸۰ و ۷۰ درصد در حذف ذرات کلوئیدی از خود نشان می‌دهند (۱۱). هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی تانیک اسید به عنوان 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 میلی لیتر آب مقطر اضافه و سپس حجم آب به ۵۰۰ میلی لیتر رسانده شد. پس از آن، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه توسط همزن مغناطیسی مخلوط شد، سپس از محلول رویی به عنوان محلول تانیک اسید در آزمایش‌ها استفاده می‌شد.

##### تهیه نمونه‌های آب

در این مطالعه، از نمونه آب با کدورت مصنوعی به منظور بررسی کارایی تانیک اسید به عنوان منعقد کننده و ایجاد امکان مقایسه با منعقد کننده‌های دیگر و از نمونه آب رودخانه زاینده رود با کدورت طبیعی به منظور پتانسیل سنجی استفاده از تانیک اسید در تصفیه آب شهری استفاده شد.

به منظور ایجاد سوسپانسیون استوک کائولین، ۱۰ گرم کائولین در یک لیتر آب مقطر ریخته و مخلوط حاصل با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه و به مدت یک ساعت به هم زده شد. پس از ۲۴ ساعت مایع رویی به عنوان استوک مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب که سوسپانسیون استوک حاصل، برای

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

pH متر 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.

$$R = \frac{T_B - T_s}{T_B} \times 100 \quad [1]$$

Ts و TB به ترتیب 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 پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار مقایسه شد. همچنین به منظور مشاهده معناداری (P) پارامترها از لحاظ آماری و میزان تأثیر هر یک در فرایند بررسی شد، آنالیز واریانس (ANOVA) بر روی نتایج حاصل به کمک 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) به ترتیب 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.

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 به کمک روش تاگوچی آرایه L32 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.

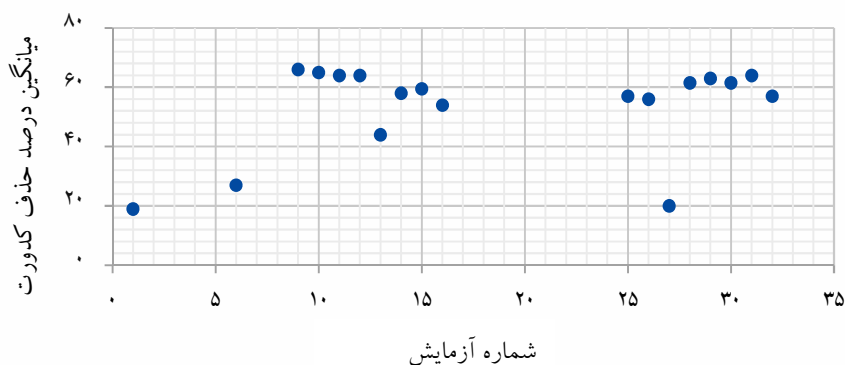
برای انجام آزمایش‌ها، از دستگاه جار شش پدالی با پدال مستطیلی استفاده شد. به‌منظور کم کردن خطا، هر آزمایش دو بار تکرار و در هر بار، یک نمونه بدون اضافه کردن تانیک اسید به‌عنوان شاهد نیز آزمایش شد. در آزمایش‌ها از بشرهای یک لیتری، حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر نمونه استفاده شد. جهت تنظیم pH نمونه‌ها از اسیدکلریدریک (HCl) و هیدروکسید آمونیم (NH<sub>4</sub>(OH)) با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۱ مولار و دستگاه

جدول ۳. آرایه متعامد L<sub>32</sub> تاگوچی

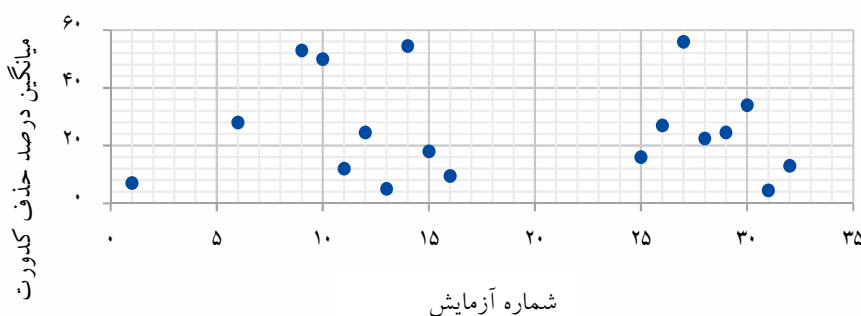
آزمایش	pH	دز منعقد کننده	کدورت اولیه	زمان ته نشینی	زمان اختلاط کند	سرعت اختلاط کند	سرعت اختلاط تند
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴
۵	۲	۱	۱	۲	۲	۳	۳
۶	۲	۲	۲	۱	۱	۴	۴
۷	۲	۳	۳	۴	۴	۱	۱
۸	۲	۴	۴	۳	۳	۲	۲
۹	۳	۱	۲	۳	۴	۱	۲
۱۰	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱
۱۱	۳	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۱۲	۳	۴	۳	۲	۱	۴	۳
۱۳	۴	۱	۲	۴	۳	۱	۴
۱۴	۴	۲	۱	۳	۴	۲	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

شده است. توسط نرم افزار ۴-Qualitek، آنالیز واریانس بر روی نتایج به دست آمده انجام شد، که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

در جدول (۴)، خلاصه آماری نتایج ارائه شده در شکل های ۱ و ۲ برای دو نمونه آب با کدورت مصنوعی و آب با کدورت طبیعی ارائه



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 به دست 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

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 به کمک 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

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 به ترتیب با ۳۷/۳ درصد و ۲۶/۸ درصد بیشترین تأثیر را در حذف کدورت مصنوعی و به ترتیب ۳۸/۲ درصد و ۲۵/۴ درصد بیشترین تأثیر را در حذف کدورت طبیعی توسط تانیک اسید در جدول ۵ نشان داده شده

جدول ۵. نتایج آنالیز واریانس

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

جدول ۶. سطوح بهینه پارامترها

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

طبیعی می توان دست یافت. این نتایج منطبق بر نتایج حاصل از مطالعات اسکینان و همکاران است (۱۱).

با دقت در جدول (۶) موارد زیر را می توان 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 می توان این گونه توجیه کرد که در نمونه های آب رودخانه، در pH قلیایی، احتمالاً برخی از واکنش های رسوب زرا در آب ایجاد شده و باعث حذف بیشتر کدورت از طریق مکانیسم لخته جاروب کننده (Sweeping flock) در نمونه شاهد

شده، توسط نرم افزار ۴-Qualitek مقایسه شد. نتایج پیش بینی شده و نتایج حاصله از اجرای آزمایش ها در شرایط بهینه در جدول (۷) نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می شود، مقادیر راندمان حذف کدورت از آزمایش های تأیید کننده، با سطح اطمینان فرض شده، به خوبی با مقدار راندمان پیش بینی شده توسط روش تاگوچی مطابقت دارد. نتایج نشان می دهد که با افزودن تانیک اسید به عنوان 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

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

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

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

پارامتر دز منعقد کننده در 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 به گونه‌ای است که مستقل از معناداری یک عامل، سطحی را به عنوان 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 به هم انتخاب شده‌اند و لذا در این بازه اختلاف معناداری از خود نشان نداده‌اند.

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

### نتیجه‌گیری

پارامتر دز منعقد کننده در 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 به گونه‌ای است که مستقل از معناداری یک عامل، سطحی را به عنوان 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 به هم انتخاب شده‌اند و لذا در این بازه اختلاف معناداری از خود نشان نداده‌اند.

پارامتر دز منعقد کننده در 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 به گونه‌ای است که مستقل از معناداری یک عامل، سطحی را به عنوان 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 به هم انتخاب شده‌اند و لذا در این بازه اختلاف معناداری از خود نشان نداده‌اند.

پارامتر دز منعقد کننده در 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 به گونه‌ای است که مستقل از معناداری یک عامل، سطحی را به عنوان 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 به هم انتخاب شده‌اند و لذا در این بازه اختلاف معناداری از خود نشان نداده‌اند.

پارامتر دز منعقد کننده در 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 به گونه‌ای است که مستقل از معناداری یک عامل، سطحی را به عنوان 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 به هم انتخاب شده‌اند و لذا در این بازه اختلاف معناداری از خود نشان نداده‌اند.



لخته‌های تشکیل شده نسبتاً سنگین بوده و سریعاً ته‌نشین می‌شوند. 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 کدورت کم ( $<25$  NTU) 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. Díaz, 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.

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

H. Hashemi nejad\*, A. Taebi and P. Paydari<sup>1</sup>

(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 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

<sup>1</sup>. Department of Water and Environment, College of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: hhasheminejad@cc.iut.ac.ir