

## تحقیقی

### کارآیی آلوم توام با کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرآ در حذف ذرات کلوییدی و باکتری‌ها از آب‌های کدر

مهندس محمدهادی مهدی نژاد\*<sup>۱</sup>، دکتریژن بینا<sup>۲</sup>، دکتر مهناز نیک آئین<sup>۳</sup>، دکتر حسین موحدیان عطاری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، عضو هیأت علمی گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی گرگان.  
۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان. ۳- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان. ۴- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

#### چکیده

**زمینه و هدف:** کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرآ از منعقدکننده‌های طبیعی هستند که امروزه به منظور رفع مشکلات مربوط به منعقدکننده‌های شیمیایی، کاربرد فراوانی پیدا کرده‌اند. این مطالعه به منظور تعیین کارآیی این ترکیبات طبیعی به عنوان کمک‌منعقدکننده به همراه آلوم، برای حذف ذرات کلوییدی، باکتری‌های اشرشیاکلی و استرپتوکوکوس فیکالیس در شرایط بهینه انجام شد.

**روش بررسی:** در این مطالعه مداخله‌ای شبه‌تجربی، نمونه‌های آب ساختگی با کدورت‌های کم ( $10-20 NTU$ )، کدورت متوسط ( $120-100 NTU$ ) و کدورت زیاد ( $220-200 NTU$ ) تهیه شد. غلظت بهینه آلوم توام با کمک‌منعقدکننده‌ها و  $PH$  بهینه از طریق آزمایش جار تعیین گردید. سنجش کدورت از طریق دستگاه کدورت‌سنج  $HACH$  مدل  $2100P$  و براساس اصل پراکندگی نور صورت گرفت. نمونه‌برداری از عمق ۱۰ سانتی متری زیر سطح آب برای تعیین کدورت و حذف باکتری‌ها انجام گرفت. آزمون تی زوج با ضریب اطمینان ۹۵ درصد در این مطالعه استفاده شد.

**یافته‌ها:** غلظت بهینه آلوم برای کدورت‌های کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۴۰، ۲۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و  $PH$  بهینه ۷/۵-۷ به دست آمد. کاربرد پروتئین انعقادی مورینگا بین ۱۲/۵ تا ۶۲/۵ درصد و کایتوزان بین ۵۰ تا ۸۷/۵ درصد غلظت منعقدکننده آلوم را در کدورت‌های مختلف کاهش داد و آلومینیوم باقی‌مانده را تا زیر  $0/2 mg/l$  رساند. میزان حذف باکتری‌ها بین ۹۰ تا ۹۹/۹۹۹ درصد بود و بعد از ۲۴ ساعت هیچ‌گونه رشد مجددی از باکتری‌ها در نمونه‌های آب تصفیه شده مشاهده نگردید.

**نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد که کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرآ به عنوان کمک‌منعقدکننده، بدون فیلتراسیون، کدورت آب را تا زیر  $5 NTU$  کاهش می‌دهند.

**کلید واژه‌ها:** کیتوزان، پروتئین انعقادی، مورینگا اولیفرآ، کدورت آب

\* نویسنده مسؤول: مهندس محمدهادی مهدی نژاد، پست الکترونیکی: [hmnejad@yahoo.com](mailto:hmnejad@yahoo.com)

نشانی: اصفهان، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط، تلفن: ۷۹۲۲۶۷۷ (۰۳۱۱)، نامبر: ۶۶۸۲۵۰۹

وصول مقاله: ۸۷/۱۱/۵، اصلاح نهایی: ۸۸/۴/۱۰، پذیرش مقاله: ۸۸/۴/۲۱

است. ارتباط آلومینیوم با بیماری آلزایمر نیز از موضوعات مهمی است که بایستی به آن توجه نمود (۷و۶).

به منظور رفع مشکلات مربوط به منعقدکننده‌های شیمیایی، تحقیقات زیادی در خصوص منعقدکننده‌های طبیعی در سال‌های اخیر صورت گرفته است که در این رابطه از کاربرد مورینگا اولیفر (Chitosan) می‌توان نام برد. گیاه مورینگا اولیفر (Moringa Oleifera) متعلق به خانواده مورینگاسه (Moringaceae) می‌باشد. این گیاه، غیرسمی و پلیمر آلی طبیعی است و گونه اولیفر، بومی شمال هند و معروف‌ترین گونه در بین همه گونه‌ها می‌باشد. از عصاره خام آن در مصارف خانگی برای زلال‌سازی آب در بسیاری از نواحی جهان استفاده می‌شود (۸). اگرچه کاربرد عصاره خام این ماده در کدورت‌های بالا مناسب‌تر است، ولی برای آب‌هایی با کدورت کم به‌عنوان کمک منعقدکننده، کارایی بیشتری دارد. با توجه به ورود مواد آلی و مغذی ناشی از کاربرد عصاره خام مورینگا به داخل آب‌های تصفیه شده، امروزه تلاش زیادی برای کاربرد اجزاء انعقادی مورینگا اولیفر از جمله پروتئین آن صورت گرفته است. این پروتئین از عصاره خام آن توسط کروماتوگرافی تبادل یونی جداسازی می‌شود و به طور کامل در آب محلول و پایدار است. پروتئین استخراجی، حاوی پپتید کاتیونی محلول با نقطه ایزوالکتریک (PI) بالاتر از ۱۰ و جرم ملکولی ۶/۵ کیلو دالتون می‌باشد (۹). پروتئین انعقادی مورینگا اولیفر هیچگونه افزایشی در مواد آلی، فسفات و نیترات آب ایجاد نمی‌کند و کربن آلی را نیز افزایش نمی‌دهد و در کدورت‌های پایین نیز موثر است (۸). Ghebremichael گزارش نمود که پروتئین انعقادی مورینگا اولیفر توانایی حذف ۴-۱/۱ لگاریتم از تراکم باکتری را دارد (۸).

کیتوزان نیز یکی دیگر از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی طبیعی می‌باشد. این ماده از کیتین مشتق شده و بعد از سلولز فراوان‌ترین پلیمر طبیعی محسوب می‌شود. این ماده در پوسته سخت‌پوستان، حشرات و دیواره سلولی قارچ‌ها یافت می‌شود. کیتوزان در واقع یک هتروپلی ساکارید خطی با وزن ملکولی بالا (حدود ۴ تا ۱۰+۶ دالتون) می‌باشد. امروزه در ژاپن از کیتوزان به‌عنوان کمک منعقدکننده استفاده می‌شود.

## مقدمه

حذف ذرات معلق و کلونیدی یکی از مهم‌ترین مراحل تصفیه محسوب می‌شود که در فرآیندهای انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی صورت می‌گیرد. این مرحله نقش مهمی در تصفیه آب‌های سطحی ایفا می‌کند. به طوری که توسط آن کدورت، رنگ، جلبک، ترکیبات آلی و حتی باکتری‌ها حذف می‌شود. این فرآیند با کاهش کدورت، باعث افزایش کارایی فرآیندهای بعدی در تصفیه آب، از جمله فیلتراسیون و گندزدایی می‌شود (۱۰و۲). بررسی کیفیت میکربی آب‌های تصفیه شده، از متغیرهای مهم در تصفیه آب می‌باشد. باکتری‌هایی از قبیل کلیفرم‌ها، اشرشیا کلی و استریتوکوکوس فیکالیس از جمله باکتری‌های مهمی می‌باشند که در تصفیه آب به‌عنوان بیواندیکاتور شناخته می‌شوند. شناخت میکربی آب‌های تصفیه شده، از نظر سلامتی مصرف‌کنندگان بسیار مهم است. بیماری‌های زیادی از جمله وبا و اسهال خونی توسط آب‌های آلوده به انسان منتقل می‌شود. باکتری‌های گروه کلیفرم اندیکاتور آلودگی آب آشامیدنی بوده و وجود آن در آب تصفیه شده دلیل احتمال آلودگی مدفوعی آب می‌تواند باشد و از نظر استانداردهای کیفی آب آشامیدنی، این آب برای مصرف‌کنندگان قابل شرب نیست. وجود استریتوکوکوس فیکالیس در منابع آب نشانگر آلودگی قدیمی آب به مدفوع بوده و از این نظر بایستی پیگیری‌های مستمر در جهت تشخیص نحوه آلودگی مدفوعی منابع آبی در محیط زیست صورت گیرد (۳). یکی از منعقدکننده‌های پر مصرف در فرآیند انعقاد، نمک‌های آلومینیوم می‌باشد. متداول‌ترین نمک آلومینیوم مصرفی در عمل انعقاد سولفات آلومینیوم یا آلوم  $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$  می‌باشد (۴).

زیان‌های جدی در اثر کاربرد نمک‌های آلومینیوم به دلیل باقیماندن در آب، تولید حجم زیاد لجن و نحوه دفع در محیط زیست به وجود آمده است (۵). جذب مقادیر زیاد آلومینیوم اثرات خطرناکی در انسان ایجاد می‌نماید که آنمی میکروسیتیک، پوکی استخوان و نارسایی کلیه در بیماران دیالیزی را می‌توان نام برد. امروزه شواهد زیادی در مورد ارتباط بین اختلالات استخوانی و غلظت آلومینیوم در آب وجود دارد. این بیماری در اروپا به نیوکاسل استخوانی معروف

کیتوزان، یک ماده غیرسمی و قابل تجزیه بوده و از طریق خنثی‌سازی بار، جذب و پیل‌زنی بین ذرات، عمل انعقاد و لخته‌سازی را انجام می‌دهد. Pillai و Divakaran طی فرآیند انعقاد، برای کدورت‌های اولیه بین ۱۶۰۱۰ تا ۸۰ NTU تا ۹۵ درصد حذف را به دست آوردند و نیز باکتری اشرشیا کلی (E.coli) را تا ۹۸ درصد حذف نمودند (۱۰).

کاربرد منعقدکننده‌های طبیعی در کشورهای در حال توسعه به طور موثری هزینه‌ها را می‌تواند بکاهد. ولی امروزه از دو ماده کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا به عنوان کمک‌منعقدکننده کمتر استفاده می‌شود و تحقیقات مشخصی در ایران و کشورهای مختلف تاکنون صورت نگرفته است. با توجه به صرف هزینه‌های زیاد برای خرید مواد شیمیایی در فرآیندهای تصفیه آب، استفاده از این نوع مواد طبیعی به عنوان کمک‌منعقدکننده باعث صرفه‌جویی در خرید مواد شیمیایی از جمله منعقدکننده آلوم می‌گردد. لذا در این مطالعه اثر منعقدکننده آلوم در ترکیب با کمک‌منعقدکننده‌های طبیعی کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا (MOCP) بر روی حذف کدورت‌های مختلف آب، باکتری‌های اشرشیا کلی و استرپتوکوکوس فیکالینس طی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی مورد بررسی قرار گرفت.

### روش بررسی

این مطالعه مداخله‌ای-شبه‌تجربی در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان طی سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ بر روی نمونه‌های آب آماده شده و مشابه با رودخانه زاینده رود انجام گردید.

### تهیه نمونه آب ساختگی مورد نیاز

۱۰ گرم از پودر کائولین (Kaoline) را در یک لیتر آب مقطر حل کرده و به مدت یک ساعت برای یکنواخت شدن سوسپانسیون به آرامی هم زدیم. این سوسپانسیون برای مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد تا هیدراسیون کامل ذرات کائولین صورت گیرد. از این محلول استوک برای تهیه آب‌های کدر با کدورت‌های کم (۲۰-۱۰ NTU)، کدورت متوسط (۲۲۰-۲۰ NTU) و کدورت زیاد (۲۲۰-۲۰ NTU) استفاده گردید. طبقه‌بندی این کدورت مبنای خاصی نداشت و فقط براساس مشاهده نتایج کدورت آب ورودی به بعضی از

تصفیه‌خانه‌های آب شهرها صورت گرفت. به منظور شبیه‌سازی این آب با کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود، قلیائیت (معادل  $100 \text{ mg/l as CaCO}_3$ )، سختی کلسیم (معادل  $50 \text{ mg/l as CaCO}_3$ ) و سختی منیزیم (معادل  $50 \text{ mg/l as CaCO}_3$ ) به ترتیب با افزودن بیکربنات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات منیزیم به نمونه‌های آب انجام گرفت. دمای آب در کلیه آزمایش‌ها براساس دمای اتاق و بین ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد بود. PH نمونه‌های آب توسط سود ۰/۱ نرمال و اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال تنظیم گردید (۱۱ و ۱۲).

### تهیه محلول سولفات آلومینیوم یا آلوم

محلول ۱۰ درصد آلوم به وسیله حل کردن ۱۰ گرم سولفات آلومینیوم ۱۸ آبه ( $\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) در یک لیتر آب مقطر تهیه شد. هر ۱ ml از این محلول حاوی ۱۰ mg آلوم بود.

### تهیه محلول کیتوزان

پودر کیتوزان با ۸۵ درصد حذف گروه‌های استیل (Deacetylation) از شرکت شیمیایی Sigma خریداری گردید. این پودر به رنگ قهوه‌ای روشن بوده و قابلیت حل شدن در اسید کلریدریک و اسیداستیک را دارد. برای تهیه محلول کیتوزان، ۱۰۰ mg از پودر کیتوزان را به دقت وزن کرده و آن را در ۱۰ ml اسید کلریدریک ۰/۱ مولار حل کردیم. پروسه حل شدن به آرامی صورت می‌گیرد. به همین دلیل به مدت یک ساعت نگه داشته شد تا کیتوزان به خوبی در اسید حل گردد. سپس محلول به دست آمده را در مقداری آب مقطر حل کرده و حجم را به ۱۰۰ ml رساندیم. هر ۱ ml از این محلول حاوی ۱ mg کیتوزان بود (۱۰). با توجه به این که خواص کیتوزان در محیط اسیدی بعد از مدتی تغییر پیدا می‌کند، لذا ضروری است این محلول به صورت تازه و قبل از انجام آزمایش تهیه شود. مزیت انتخاب اسید کلریدریک به عنوان محیط اسیدی نسبت به اسیداستیک، جلوگیری از ورود مواد آلی توسط اسیداستیک بود (۱۳).

### تهیه محلول پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا (MOCP)

دانه‌های گیاه مورینگا اولیفرا از کشور سنگال و استان بوشهر (شماره هرباریوم ۵۳۰۵۴) تهیه شد و در حرارت اتاق نگهداری گردید. برای تهیه MOCP، پوسته دانه‌ها کنده شدند

### تکثیر و شمارش باکتری‌ها

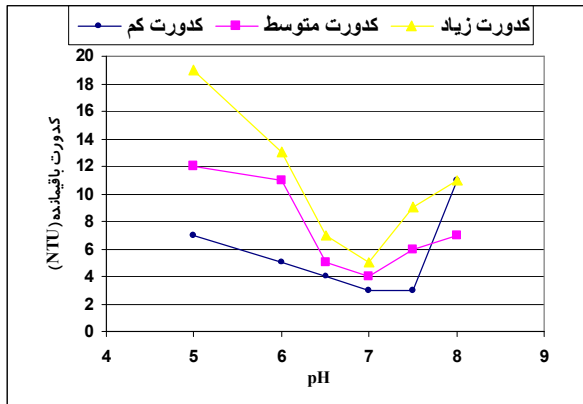
باکتری‌های انتخاب شده برای تحقیق، شامل باکتری‌های اشرشیاکلی (ATCC1339) و استرپتوکوکوس فیکالیس (PTCC1237) بودند که از انستیتو پاستور ایران تهیه شدند. سوش‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه بر روی پلیت‌های حاوی آگار غذایی در داخل انکوباتور طی ۴۸-۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد کشت داده شدند. برای تأیید سوش‌ها از محیط کشت اختصاصی ائوزین متیلین بلو (EMB) برای شناسایی اشرشیاکلی و از محیط کشت انتخابی اتروکوکوس آگار (PSE)(Pfizer selective Enterococcus agar) برای شناسایی استرپتوکوکوس فیکالیس استفاده شد. وجود کلنی‌های تپیک با جلای سبز متالیک نشان‌دهنده باکتری اشرشیاکلی و وجود کلنی‌های قهوه‌ای متمایل به سیاه با هاله قهوه‌ای، نشان‌دهنده باکتری استرپتوکوکوس فیکالیس بود. پس از تأیید سوش‌ها، پلیت‌های حاوی باکتری در داخل یخچال نگهداری شدند تا در مراحل بعدی آزمایش به کار روند. برای انجام آزمایش، ابتدا چند کلنی از کشت تازه باکتری‌ها در ۵۰۰ ml آب مقطر استریل مخلوط گردید و به مدت یک دقیقه هم زده شد. سپس از طریق رقت‌های متوالی جمعیت باکتری‌ها در هر ۱۰۰ ml تعیین شد. بدین منظور ۱ ml از سوسپانسیون باکتری در لوله‌های حاوی ۹ ml آب مقطر استریل، ریخته شد و پس از ورتکس نمودن آن به مدت یک دقیقه، ۱ ml از رقت ۱۰-۱ به ۹ ml آب مقطر استریل دیگر اضافه گردید تا رقت ۱۰-۲ تهیه گردد و این عمل تا تهیه رقت ۱۰-۸ ادامه یافت. با افزودن ۱ ml از هر رقت تهیه شده به لوله‌های حاوی لاکتوز برات یک غلظت استریل (روش ۳ لوله‌ای) و قرار دادن آنها در داخل انکوباتور، جمعیت باکتری‌ها با توجه به مثبت بودن لوله آزمایش، از طریق روش محتمل‌ترین تعداد باکتری‌ها (Most Probable Number) محاسبه گردید. در کلیه آزمایش‌ها از یک نمونه شاهد مثبت استفاده گردید (۳).

### آزمایش جار (Jar Test)

در آزمایش جار از ۶ ظرف مربعی شکل از جنس پلاکسی گلاس به حجم ۲ لیتر استفاده گردید (۱۶). در هر ظرف یک لیتر از آب نمونه با کدورت معین ریخته شد و پس

و هسته توسط یک مخلوط‌کن به پودر تبدیل گردید. برای حذف روغن این ماده، آن را در اتانول ۹۵ درصد برای مدت ۳۰ دقیقه حل کردیم و سپس از طریق سانتریفوژ، جامدات باقی‌مانده جدا گردیدند. جامدات در حرارت اتاق خشک شدند و پس از حل کردن در آب مقطر، محلول NaCl و بافر استات آمونیوم، محلول ۵ درصد وزنی تهیه شد. این محلول برای ۳۰ دقیقه هم زده شد و توسط یک کاغذ صافی فایبرگلاس با قطر روزهایی معادل ۷ میکرون، صاف گردید. محلول فیلتر شده تحت عنوان عصاره خام استخراج شده (Crude extracts) نامیده شد. پروتئین انعقادی مورینگا اولیفا از عصاره خام به وسیله ستون کروماتوگرافی تبادل یونی و روش جذب به دست آمد. روش تبادل یونی در یک ستون کاتیونی از جنس کربوکسی متیل سفاروز با اندازه بستر ۱۶۵-۴۵ میکرومتر انجام گرفت. ستون توسط بافر استات آمونیوم (۰.۱ M، pH=۶.۷) کالیبره شد. قدرت یونی بهینه محلول کلرید سدیم برای شستشو ۰/۶ مولار بود. به منظور حذف پروتئین‌های جذب شده غیرانعقادی، مراحل چندگانه شستشو انجام گرفت. طی مراحل شستشو، این نوع پروتئین‌ها توسط محلول کلرید سدیم ۰/۳ مولار و به دنبال آن محلول ۰/۶ مولار حذف شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که شستشو، تنها به وسیله محلول ۰/۶ مولار کلرید سدیم نیز می‌تواند انجام شود. سپس پروتئین‌های کاتیونی جذب شده بر روی ستون، توسط محلول ۰/۶ مولار کلرید سدیم شستشو و از سیستم خارج شدند و نمک‌های آن توسط فیلتر پلی‌استری با روزه‌های ۵ میکرومتری جداسازی گردیدند. در انتها محلول به دست آمده لیوفیلیزه (انجماد تا منهای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، سپس تحت فشار خلاء و افزودن گرما برای تبدیل بخار به مایع) گردید و بدین ترتیب یک فرآورده سفید رنگ پروتئینی پایدار به دست آمد. ثابت‌های تعادل از طریق مدل تعادل لانگمیر تعیین گردید و حداکثر ظرفیت جذب و ثابت تجزیه سیستم به ترتیب ۶۸ mg/gr و ۰/۰۴۹ ml/gr تعیین شد (۱۴۸). از آنجایی که فرآیند جذب ذرات در یک سطح مایع هموژن و حاوی یک نوع محل اتصال جذب بود، لذا از ایزوترم جذب لانگمیر استفاده گردید. ایزوترم جذب فروندلیچ یک مدل تجربی است و برای سطوح جاذب جامد به کار می‌رود (۱۵).

کدورت به ترتیب برابر با ۷۱/۶ درصد، ۹۷/۲۴ درصد و ۹۸/۳۸ درصد حاصل گردید.



نمودار ۱: تعیین PH بهینه در کدورت‌های مختلف

برای تعیین غلظت بهینه آلوم در ترکیب با کمک منعقدکننده‌های طبیعی کیتوزان و MOCP ابتدا سرعت و زمان اختلاط بهینه در فرآیندهای انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی به دست آمد. بر این اساس زمان و شدت اختلاط تند یک دقیقه و ۱۰۰ rpm و برای فرآیند اختلاط کند یا لخته‌سازی شامل دو مرحله زمانی ۷/۵ دقیقه و ۴۰ rpm و ۷/۵ دقیقه و ۲۰ rpm به دست آمد. زمان ته‌نشینی نیز ۲۰ دقیقه تعیین شد. در آب‌های با کدورت کم غلظت بهینه آلوم در ترکیب با کیتوزان به ترتیب ۱۰ و ۱ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر حذف کدورت ۷۴/۳ درصد و برای غلظت بهینه آلوم توام با MOCP، ۱۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر حذف کدورت ۸۰/۱۸ درصد به دست آمد. برای کدورت متوسط غلظت بهینه آلوم در ترکیب با کیتوزان به ترتیب ۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر حذف کدورت ۹۶ درصد و برای غلظت بهینه آلوم توام با MOCP، ۱۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر حذف کدورت ۹۶/۴ درصد به دست آمد. در کدورت زیاد غلظت بهینه آلوم در ترکیب با کیتوزان به ترتیب ۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر حذف کدورت ۹۸/۲ درصد و برای غلظت بهینه آلوم توام با MOCP، ۱۷/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر حذف کدورت ۹۹ درصد به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد که ترکیب آلوم توام با کیتوزان و ترکیب آلوم توام با پروتئین انعقادی مورینگا توانایی حذف کدورت تا زیر حد استاندارد

از افزودن قليانیت و سختی، تنظیم PH محلول توسط سود ۰/۱ نرمال و اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال انجام گرفت. برای هر یک از کدورت‌های کم، متوسط و زیاد آزمایش جار انجام گرفت. به منظور تعیین PH بهینه، آزمایش‌های جار با نمونه‌های آب با PH مختلف ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵، ۸ و ۸/۵ صورت گرفت. پس از تعیین PH بهینه، به منظور تعیین غلظت بهینه آلوم، دوزهای مختلفی از منعقدکننده آلوم بین صفر تا ۵۰ mg/l به هر یک از جارها اضافه شد و غلظت بهینه آلوم برای کدورت‌های مختلف به دست آمد. سپس برای هر یک از کدورت‌ها به منظور تعیین غلظت بهینه آلوم توام با کمک منعقدکننده‌های طبیعی، با افزودن دوزهای مختلفی از آلوم بین صفر تا ۲۰ mg/l به نمونه‌های آب، فرآیند اختلاط سریع با سرعت اختلاط ۱۰۰ دور در دقیقه، طی زمان یک دقیقه انجام گردید. در انتهای فرآیند اختلاط سریع، کمک منعقدکننده‌های کیتوزان و MOCP به طور جداگانه در غلظت‌های بین ۰/۵ تا ۵ mg/l به نمونه‌های آب افزوده شد. سپس طی مرحله اختلاط کند یا لخته‌سازی، سرعت اختلاط به ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۷/۵ دقیقه و ۲۰ دور در دقیقه به مدت ۷/۵ دقیقه کاهش یافت. بعد از این مدت، جارها از زیر دستگاه خارج شدند تا لخته‌های تشکیل شده در زمان ۲۰ دقیقه ته‌نشین شوند. لازم به توضیح است که ترکیب آلوم با هر یک از کمک‌منعقدکننده‌ها به طور جداگانه در آزمایش جار انجام گرفتند. پس از پایان یافتن آزمایش، نمونه‌برداری برای تعیین کدورت باقیمانده و میزان حذف باکتری‌ها، از ۱۰ سانتی‌متر زیر سطح آب توسط پی‌پت انجام گرفت (۱۶ و ۱۷). آزمون تی زوج با ضریب اطمینان ۹۵ درصد در این مطالعه استفاده شد.

### یافته‌ها

PH بهینه برای کاربرد آلوم در کدورت‌های مختلف بین ۷ تا ۷/۵ بود و میزان کدورت باقیمانده در این شرایط بین ۳ تا ۵ به دست آمد (نمودار ۱). تحت شرایط PH بهینه، غلظت‌های مختلفی از آلوم برای تعیین حداکثر حذف کدورت به کار رفت و غلظت بهینه آلوم برای کدورت‌های کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۲۰، ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل گردید. در غلظت‌های بهینه آلوم، میزان کدورت باقیمانده برای کدورت‌های مختلف، بین ۳-۴ NTU و راندمان حذف

جدول ۱: اثر منعقدکننده آلوم در ترکیب با کمک منعقدکننده‌های طبیعی روی اشرفیاء کلی (تعداد اولیه باکتری =  $10^6 \times 15$ )

کدورت کم ( $10-20 NTU$ )		کدورت متوسط ( $100-120 NTU$ )		کدورت زیاد ( $220-240 NTU$ )		منعقد کننده توام با کمک منعقد کننده طبیعی
تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	
بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	شاهد (بدون منعقد کننده)
$15 \times 10^{+5}$	$43 \times 10^{+2}$	$4 \times 10^{+2}$	$15 \times 10^{+5}$	۴	۴	
(۹۰)	(۹۰)	(۹۹/۹۹)	(۹۰)	(۹۹/۹۹۹)	(۹۰)	
۰	$43 \times 10^{+2}$	۴	$43 \times 10^{+2}$	$11 \times 10^{+2}$	۴	آلوم توام با کیتوزان
(۱۰۰)	(۹۹/۷)	(۹۹/۹۹۹)	(۹۹/۹۷)	(۹۹/۲۶)	(۹۹/۹۹۹)	
بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	آلوم توام با MOCP
$12 \times 10^{+2}$	$15 \times 10^{+2}$	$36 \times 10^{+2}$	$15 \times 10^{+2}$	$4 \times 10^{+2}$	۴	
(۹۹/۲)	(۹۹/۹)	(۹۹/۹۷)	(۹۹/۹۹)	(۹۹/۷۳)	(۹۹/۹۹۹۹)	

MOCP: پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا

جدول ۲: اثر منعقدکننده آلوم در ترکیب با کمک منعقدکننده‌های طبیعی روی استریتوکوکوس فیکالیس (تعداد اولیه باکتری =  $24 \times 10^6$ )

کدورت کم ( $10-20 NTU$ )		کدورت متوسط ( $100-120 NTU$ )		کدورت زیاد ( $220-240 NTU$ )		منعقد کننده توام با کمک منعقد کننده طبیعی
تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	تعداد باکتری‌ها ( $MPN/100ml$ ) درصد	
بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	شاهد (بدون منعقد کننده)
$43 \times 10^{+2}$	$46 \times 10^{+2}$	$24 \times 10^{+5}$	$24 \times 10^{+5}$	$24 \times 10^{+2}$	$24 \times 10^{+2}$	
(۹۸/۲)	(۹۹/۸)	(۹۰)	(۹۹/۳۷)	(۹۹)	(۹۰)	
بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	آلوم توام با کیتوزان
$4 \times 10^{+2}$	$23 \times 10^{+2}$	$46 \times 10^{+2}$	$24 \times 10^{+2}$	$75 \times 10^{+2}$	$24 \times 10^{+2}$	
(۹۹/۹۸)	(۹۹/۹۹)	(۹۹/۸)	(۹۹)	(۹۹/۶۸)	(۹۹)	
بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	بعد از یک ساعت	بعد از ۲۴ ساعت	آلوم توام با MOCP
$20 \times 10^{+2}$	$46 \times 10^{+2}$	$15 \times 10^{+2}$	$43 \times 10^{+2}$	$23 \times 10^{+2}$	$15 \times 10^{+2}$	
(۹۹/۹۱)	(۹۹/۹۸)	(۹۹/۴)	(۹۹/۹۸)	(۹۹/۹)	(۹۹/۴)	

زیاد به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۵۷ و ۰/۷۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد.

نتایج به دست آمده نشان داد که حداکثر حذف باکتری اشرفیاء کلی در آب با کدورت کم، متوسط و زیاد پس از یک ساعت (در انتهای عملیات جار) توسط آلوم توام با کیتوزان به ترتیب ۹۹/۹۸ درصد، ۹۹/۸ درصد و ۹۹ درصد حاصل گردید. با ذخیره‌سازی نمونه‌های آب در طی ۲۴ ساعت، هیچ‌گونه رشد مجددی از اشرفیاء کلی مشاهده نگردید و راندمان حذف این باکتری بین ۹۹/۷ درصد تا ۹۹/۹۹۹ درصد رسید. در مورد کمک منعقد کننده MOCP بایستی عنوان نمود که میزان حذف باکتری اشرفیاء کلی توسط آلوم توام با MOCP، در کدورت‌های کم، متوسط و زیاد ۹۹/۹ درصد، ۹۹/۴ درصد و ۹۹/۴ درصد بود و هیچ‌گونه رشد مجددی از این باکتری در طی ۲۴ ساعت ذخیره‌سازی، در نمونه‌های آب تصفیه شده مشاهده نگردید. در نمونه‌های شاهد (عاری از مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده) درصد حذف باکتری اشرفیاء کلی ۹۰ درصد بود و نتایج ذخیره‌سازی در طی ۲۴

(۵NTU) را دارند. نتایج آزمون تی زوج با سطح اطمینان ۹۵ درصد، ارتباط معنی‌داری را بین کدورت اولیه و حذف کدورت نشان داد ( $P < 0/05$ ). آزمون تی زوج نشان داد که بین کاربرد آلوم توام با کیتوزان در حذف کدورت با کاربرد آلوم توام با MOCP اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. آزمایش‌ها نشان داد که وقتی آلوم به تنهایی برای حذف کدورت به کار رفت؛ میزان آلومینیوم باقی‌مانده در آب‌های تصفیه شده بین ۱/۶-۱ میلی گرم در لیتر بود. در حالی که با استفاده از کیتوزان و MOCP به عنوان کمک منعقد کننده در ترکیب با آلوم، میزان آلومینیوم باقیمانده ( $Al^{+3}$ ) در آب‌های تصفیه شده ۰/۲-۰/۵ میلی گرم در لیتر به دست آمد.

نتایج کاربرد پروتئین انعقادی مورینگا در فرآیند انعقاد نشان می‌دهد که در کدورت‌های کم، متوسط و زیاد میزان TOC (Total Organic Carbon) رها شده از این ماده طبیعی به ترتیب برابر با ۰/۵۵، ۰/۵ و ۰/۶۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد. زمانی که کیتوزان به عنوان کمک منعقد کننده استفاده گردید؛ میزان TOC آزاد شده توسط آن در کدورت کم، متوسط و

ساعت نشان داد که این باکتری می‌تواند؛ در کدورت زیاد تا ۹۹/۹۹ درصد در آب بدون افزودن مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده حذف شود (جدول ۱).

در مورد باکتری استرپتوکوکوس فیکالیس، میزان حذف این باکتری در کدورت‌های کم، متوسط و زیاد توسط آلوم توام با کیتوزان به ترتیب ۹۹/۸ درصد، ۹۹/۹ درصد و ۹۹/۲ درصد حاصل شد و طی ۲۴ ساعت ذخیره‌سازی نمونه‌های آب، هیچ‌گونه رشد مجددی از باکتری مشاهده نشد. نتایج به دست آمده در مورد آلوم توام با MOCAP تقریباً مشابه با کیتوزان بود. در نمونه‌های شاهد، میزان حذف باکتری تا ۹۹/۸ درصد رسید (جدول ۲). آزمون تی زوج نشان داد که بین عملکرد کیتوزان در ترکیب با آلوم در حذف باکتری‌ها با عملکرد پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا در ترکیب با آلوم ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. هنگام آزمایش بر روی باکتری‌ها، درجه حرارت هوای محیط بین ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد ثابت بود.

### بحث

دانستن PH بهینه در فرآیند انعقاد بسیار مهم است و کارایی آلوم به شدت تحت تاثیر آن می‌باشد. این مسأله یکی از محدودیت‌های مهم کاربرد آلوم به عنوان منعقدکننده در فرآیند تصفیه آب محسوب می‌شود. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که لخته‌های تشکیل شده توسط آلوم در این محدوده PH، در کمتر از ۱۰ دقیقه ته‌نشین شدند. آزمایش‌های انجام شده در شرایط بهینه نشان دادند که با افزایش کدورت در نمونه‌های آب، راندمان حذف کدورت افزایش یافته است. به طوری که در کدورت زیاد، مقادیر کدورت از ۲۲۰ NTU به ۳/۴ NTU کاهش یافت و میزان حذف کدورت تحت این شرایط به ۹۸/۳۸ درصد رسید. برای ذرات کائولین با ظرفیت تبادل یونی پایین و در این محدوده PH، مکانیسم لخته‌سازی غالب، مکانیسم انعقاد جارویی می‌باشد و نتایج به دست آمده در این تحقیق با مطالعات Okuda و Elbing مطابقت داشت (۱۹ و ۱۸).

زمانی که فقط آلوم به عنوان منعقدکننده به نمونه‌های آب افزوده شد؛ مقدار آلومینیوم باقی‌مانده در نمونه‌های آب پس از عملیات جار، از حد استاندارد ثانویه آب آشامیدنی سازمان

حفاظت محیط زیست آمریکا (US.EPA) بیشتر بود. براساس این استاندارد، حداکثر مقدار  $Al^{+3}$  در آب آشامیدنی بین ۰/۲-۰/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (۲۰). این نتایج نشان داد که کاربرد آلوم برای منابع مختلف آبی با کدورت‌های مختلف می‌تواند؛ غلظت آلومینیوم را افزایش دهد. در بررسی‌های به عمل آمده توسط US.EPA، در ۱۸۶ تصفیه‌خانه آب مشاهده شد که بعد از فرآیند انعقاد با نمک‌های آلومینیوم، غلظت این ماده بین ۲/۳۷-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر در آب‌های تصفیه شده بوده است (۲۰). نتایج مطالعات انجام شده نشان داد که غلظت‌های بالاتر آلومینیوم باقیمانده در آب تصفیه شده ناشی از کنترل نامناسب PH و نداشتن شرایط بهینه می‌باشد و بهترین راه کاهش آلومینیوم باقی‌مانده در آب تصفیه شده با آلوم، به دست آوردن شرایط بهینه در غلظت منعقدکننده و PH است (۲۱). در این تحقیق، برای کاهش دادن غلظت آلومینیوم باقی‌مانده، علاوه بر به دست آوردن شرایط بهینه، از کمک منعقدکننده‌های طبیعی کیتوزان و MOCAP نیز استفاده گردید و ضمن به دست آوردن حذف کدورت بالاتر از ۸۰ درصد در کدورت‌های مختلف، سبب کاهش مصرف آلوم به میزان ۲۵ درصد، ۶۲/۵ درصد و ۱۲/۵ درصد در کدورت‌های کم، متوسط و زیاد گردید. این کاهش مصرف آلوم در فرآیند تصفیه آب، علاوه بر کاهش هزینه‌های خرید این منعقدکننده، سبب کاهش آلومینیوم باقی‌مانده در حد استاندارد (۰/۲ mg/l) در آب تصفیه شده گردید. زمانی که از کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در ترکیب با آلوم استفاده گردید؛ ضمن کاهش کدورت باقی‌مانده تا زیر ۵ NTU، سبب کاهش مصرف آلوم به میزان ۵۰ درصد، ۸۷/۵ درصد و ۷۵ درصد در کدورت‌های کم، متوسط و زیاد گردید. سنجش آلومینیوم باقی‌مانده نیز نشان داد که در شرایط بهینه، کاربرد کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده میزان آلومینیوم باقیمانده را در کدورت‌های مختلف تا پایین‌تر از حد استاندارد EPA می‌تواند نگه دارد. در کلیه آزمایش‌های انجام شده؛ کدورت باقی‌مانده زیر ۵ NTU به دست آمد که از استانداردهای آب آشامیدنی ایران که حداکثر میزان کدورت را ۵ NTU عنوان نموده است؛ پیروی می‌کند (۲۲).

آزمایشگاهی و راندمان حذف کدورت نشان می‌دهد که وجود کربن آلی بر رفتار انعقاد تاثیر چندانی نداشته است. کم‌بودن وجود ترکیبات آلی کربنی در آب تصفیه شده خطرات تشکیل فرآورده‌های جانبی گندزدایی، از جمله تشکیل تری هالومتان‌ها را می‌تواند کاهش دهد و از بروز سرطان در انسان‌ها در درازمدت پیشگیری نماید.

بررسی حاضر نشان داد که با افزایش زمان تصفیه، تعداد باکتری‌های اشرشیاکلی و استرپتوکوکوس فیکالیس کاهش پیدا می‌کند. کاهش شدید باکتری در یک ساعت اولیه مشاهده شد. زمانی که آب به مدت ۲۴ ساعت نگه داشته شد؛ هیچ‌گونه رشد مجددی از باکتری‌ها مشاهده نگردید. بایستی توجه داشت که آب مورد آزمایش هیچ‌گونه مواد مغذی نداشت و با این نتیجه ثابت کردیم که کمک منعقدکننده‌های به کار رفته؛ نه تنها منبع غذایی مناسبی برای رشد مجدد باکتری‌ها محسوب نمی‌شوند؛ بلکه به دلیل داشتن خاصیت ضد میکروبی، باعث حذف آنها نیز می‌شوند. راندمان بالای حذف این موضوع را تایید نمود. آزمایش‌های TOC نیز نشان داد که این مواد به عنوان کمک منعقدکننده، در حد بسیار کمی تولید مواد آلی کربنی می‌نمایند که برای تغذیه باکتری‌ها کافی نیست. کمتر شدن تولید مواد آلی در اثر مصرف پروتئین انعقادی مورینگا، به علت خالص‌سازی مورینگا اولیفرایا و حذف گروه‌های آلی از این ترکیب می‌باشد. مطالعات صورت گرفته بیانگر حذف به اندازه ۲ تا ۴ لگاریتم در تعداد E.coli توسط کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرایا بود. یافته‌ها نشان دادند که مکانیسم ضد میکروبی کیتوزان هم از طریق پل‌زنی بین ذرات (به دام افتادن باکتری‌ها) و هم از طریق خاصیت میکرب کشی آن صورت می‌گیرد. همچنین کیتوزان از طریق پل‌زنی بین ذرات کلونیدی، سبب به دام افتادن باکتری‌ها شده و آنها را ته‌نشین می‌کند. این ملکول‌ها روی سطح سلول را می‌توانند بپوشانند و یک لایه ژلاتینی در اطراف سلول ایجاد نمایند و با مسدود کردن کانال‌های سطح سلول باعث مرگ آنها شوند (۲۴ و ۲۵). مطالعه Ghebremichael اثرات ضد میکروبی MOCP را ممانعت از رشد سلول و لخته‌سازی گزارش نمود و مشاهدات میکروسکوپی وی آشکار ساخت که سلول‌های در تماس با

با توجه به نتایج به دست آمده؛ می‌توان گفت که کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده، کارآیی بیشتری نسبت به پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرایا در کاهش مصرف آلوم از خود نشان داده است. همچنین مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که لخته‌های حاصل از پروتئین انعقادی مورینگا در شرایط بهینه، بزرگ‌تر از لخته‌های حاصل از کاربرد کیتوزان به عنوان کمک منعقدکننده در کدورت‌های مختلف بودند و این مسأله افزایش میزان حذف کدورت توسط پروتئین انعقادی مورینگا را نسبت به کیتوزان ثابت می‌کند. البته این افزایش در حدی نبود که آزمون آماری اختلاف معنی‌داری را نشان دهد. مطالعه Roussy نشان داد که مکانیسم غالب حذف کدورت توسط کیتوزان (به دلیل بالا بودن تعداد گروه‌های آمینی و تولید بار مثبت زیاد در شرایط خنثی و کمی اسیدی) خنثی‌سازی بار می‌باشد (۲۳). در مطالعه Okuda مکانیسم اصلی ناپایدارسازی ذرات توسط پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرایا به دلیل دارا بودن نقطه ایزوالکتریک بالاتر از ۱۰ و اندازه ملکولی کوچک، جذب و خنثی‌سازی بار عنوان گردید (۲۴).

یافته‌های این مطالعه نشان داد که برای انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سازی توسط کاربرد این ترکیبات طبیعی به عنوان کمک منعقدکننده در حذف کدورت و باکتری‌ها، ۳۷ دقیقه زمان مورد نیاز است که نسبت به زمان مورد استفاده در طراحی‌های واحدهای لخته‌سازی و ته‌نشینی در تصفیه خانه‌های آب کمتر است. همچنین کاربرد این مواد هیچ‌گونه تاثیری بر قلیائیت و PH آب نمونه در قبل و بعد از عملیات جار نداشت.

با توجه به غلظت به کار رفته پروتئین انعقادی به عنوان کمک منعقدکننده؛ مشاهده شد که با افزایش غلظت این ماده، میزان تغییرات TOC در آب تصفیه شده ناچیز است. این بدان معنا است که افزایش غلظت پروتئین انعقادی مورینگا تاثیر زیادی در میزان TOC رها شده ندارد. آزمون تی زوج بیانگر عدم ارتباط معنی‌دار بین غلظت اولیه پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرایا در کدورت‌های مختلف با افزایش TOC بود. در مورد کیتوزان مقادیر TOC به دست آمده در کلیه کدورت‌ها از نمونه شاهد کمتر بود؛ ولی نسبت به پروتئین انعقادی مورینگا، مقدار بیشتری را وارد آب تصفیه شده نمود. مشاهدات



این ماده، تحرک خود را از دست داده و تغییر شکل دادند (۸).

باکتری استرپتوکوکوس فیکالیس نسبت به سایر گونه‌ها در محیط آبی مدت طولانی تری زنده می‌ماند. آنها شاخص باکتریایی مهمی در تعیین آلودگی آب‌های سطحی محسوب می‌شوند (۳). این باکتری از نظر مرفولوژی با E.coli متفاوت است. نتایج ما نشان داد که عملکرد کیتوزان به منظور حذف این باکتری مشابه با MOCP بوده و توسط آنها حدود ۹۹ تا ۹۹/۹ درصد باکتری‌ها پس از عملیات جار حذف شدند. در طی آزمایش و با افزایش کدورت، فقط ۰/۹ درصد از باکتری‌های استرپتوکوکوس فیکالیس کاهش پیدا نمود که آنالیزهای آماری نیز ارتباط معنی‌داری بین مقدار کدورت و کاهش باکتری‌ها نشان ندادند. زمانی که نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت نگه داشتیم؛ هیچ گونه رشد مجددی از باکتری‌ها مشاهده نگردید و این نتیجه مشابه با نتایج به دست آمده با E.coli بود. استرپتوکوکوس فیکالیس نسبت به باکتری E.coli در فرآیند انعقاد و تحت شرایط بهینه، کمتر حذف شد و مدت بیشتری در آب باقی ماند.

### نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر بیانگر کارایی خوب کیتوزان و پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا (MOCP) به عنوان کمک‌منعقدکننده در حذف کدورت (بالاتر از ۷۰ درصد) و باکتری‌های اشرشیاکلی و استرپتوکوکوس فیکالیس بود و نشان داد که از نظر عملکردی تقریباً مشابه یکدیگر هستند. کاربرد کمک‌منعقدکننده‌ها سبب گردید که علاوه بر کاهش

مصرف آلوم به عنوان منعقدکننده، میزان آلومینیوم باقی‌مانده در آب تصفیه شده نیز تا حد استاندارد (۰/۲mg/l) کاهش یابد. کاربرد این ترکیبات طبیعی تأثیری بر قلیائیت و PH آب نداشت. مطالعات صورت گرفته بیان کننده این مطلب است که پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا نسبت به کیتوزان، TOC کمتری وارد آب‌های تصفیه شده می‌نماید. با توجه به به دست آوردن شرایط بهینه به مدت ۳۷ دقیقه برای فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی و به دست آوردن نتایج مطلوب در حذف کدورت، می‌توان انتظار داشت که از نظر اقتصادی صرفه‌جویی مناسبی در هزینه ساخت واحدهای لخته‌سازی و ته‌نشینی صورت گیرد. مقادیر بسیار اندک کربن آلی اضافه شده به آب‌های تصفیه شده؛ نشان می‌دهد که کمک‌منعقدکننده‌های طبیعی با کمترین خطر در تصفیه آب می‌توانند به کار روند و وجود آنها در سیستم شبکه باعث رشد مجدد باکتری‌ها نمی‌شود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه دوره دکتری با شماره طرح تحقیقاتی ۳۸۶۱۸۶ استخراج شده است. بدین وسیله از همکاری اساتید محترم انستیتو تکنولوژی KTH سوئد به خاطر تهیه پروتئین انعقادی مورینگا اولیفرا، پروفیسور Dalhammer و Gunuratna سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از همکاری صمیمانه خانم مهندس مرضیه وحید و خانم مهناز حاتم‌زاده به خاطر انجام و راهنمایی در آزمایشات شیمیایی و میکروبی آب و نیز از آقای مهندس فرخ‌زاده به خاطر مهیا نمودن وسایل آزمایشگاه پالوت تشکر و قدردانی می‌نمایم.

### References

- 1) Mackenzie LD, Cornwell DA. Introduction to Environmental Engineering. 2<sup>nd</sup>. New York: McGraw Hill Inc. 1991; pp:160-161.
- 2) Fatoki OS, Ogunfowokan AO. Effect of coagulant treatment on the metal composition of raw water. Water Sa. 2002;28(3):293-297.
- 3) APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup>. Washington DC: American Public Health Association. 2005; pp: 9-70.
- 4) AWWA. Water Quality and Treatment: a hand book of community water supplies. 4<sup>th</sup>. New York: McGraw Hill Inc. 1999; pp: 220-221.
- 5) Ndabigengesere A, Narasiah KS. Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. Wat Res. 1998; 32(3):

781-791.

- 6) Miller RJ, Kopfler FC, Kelty KC, Stober JA, Ulmer NS. The occurrence of aluminum in drinking water. Technol J Am Water Works Assoc. 1984; 76(1):84-91.
- 7) Srinivasan PT, Viraraghavan T. Characterisation and concentration profile of aluminium during drinking water treatment. Water Salinity. 2002; 28(1):99-106.
- 8) Ghebremichael KA. Moringa Seed and Pumices as Alternative Natural Materials for Drinking Water Treatment, Kath land and water resources engineering. PHD thesis. Royal Insititue of Technology (KTH). Stockholm. 2004; pp:10-11.
- 9) Ghebremichael K. Natural resources for appropriate water treatment. Paper presented at 32nd WEDC International

- Conference, Colombo, Sri Lanka. 2006; pp:434-439.
- 10) Divakaran R, Pillai VN. Flocculation of river silt using chitosan. *Water Res.* 2002 May;36(9):2414-2418.
- 11) Muyibi SA, Evison LM. Coagulation of turbid water and softening of hardwater with *Moringa oleifera* seeds. *Int J Environ Stud.* 1996;49(3-4): 247-259.
- 12) Katayon S, Noor MJ, Asma M, Ghani LA, Thamer AM, Azni I, et al. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Bioresour Technol.* 2006 Sep;97(13):1455-1460.
- 13) Huang C, Chen Sh, Pan JR. Optimal condition for modification of chitosan: A biopolymer for coagulation of colloidal particles. *Water Research.* 2000; 34(3):1057-1062.
- 14) Okuda T, Baes AU, Nishijima W, Okada M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Res.* 2001 Feb;35(2):405-410.
- 15) Bhatti HN, Beenish M, Hanif MA, Raziya N. Removal of Zn(II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* Lam. (horseradish tree) biomass. *Process Biochemistry.* 2007;42(4):547-553.
- 16) Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2<sup>nd</sup>. New York: John Wiley & Sons Inc. 2000;pp:645-653.
- 17) ASTM, 1995. Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water E1-1994 R(1995), D 2035-80. Annual Book of ASTM Standards. 1995; Vol 11.02.
- 18) Ebeling JM, Sibrell PL, Ogden SR, Summerfelt ST. Evaluation of chemical coagulation-flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering.* 2003; 29(1-2):23-42.
- 19) Okuda T, Baes AU, Nishijima W, Okada M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Res.* 1999; 33(15):3373-3378.
- 20) National Primary Drinking Water Standards. 2003; EPA Number 816F03016. <http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/mcl.pdf>
- 21) Letterman RD, Driscoll CT. Survey of residual aluminium in filtered water. *J Am Water Works Assoc.* 1988;80:154-158.
- 22) Iranian Institute of Standard and Industrial Researches (ISIRI). Water Quality Company. Tehran. Iran. 1993. No 1053. <http://www.isiri.org/Std/1053.HTM>
- 23) Roussy J, Van Vooren M, Dempsey BA, Guibal E. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. *Water Res.* 2005 Sep;39(14):3247-3258.
- 24) Okuda T, Baes AU, Nishijima W, Okada M. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. *Water Res.* 2001 Mar;35(3):830-834.
- 25) Qin C, Li H, Xiao Q, Liu Y, Zhu J, Du Y. Water-solubility of chitosan and its antimicrobial activity. *Carbohydrate polymers.* 2006;63(3):367-374.