



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال یازدهم، شماره‌ی ۴۱  
زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۶۱-۵۵

## مروری بر کاربرد مواد هیبریدی کیتوزان به عنوان جاذبی برای رنگ‌های نساجی

مهسا اکبری نژاد اقدم و ایقان

گروه شیمی کاربردی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

زهره قاضی طباطبایی \*

گروه شیمی کاربردی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

Email: zghazitabatabaei@iau-ahar.ac.ir

### چکیده

کیتوزان یک پلی ساکارید کاتیونی طبیعی است. کیتوزان و مواد هیبریدی آن به دلیل طیف وسیعی از خواص فیزیکی و بیوشیمیایی آن در بخش‌های مختلف صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. رنگ‌ها و سایر پساب‌های صنعتی به طور گسترده‌ای رشد گیاه را به خطر می‌اندازند و بر زنجیره غذایی تأثیر می‌گذارند، این مواد همچنین ممکن است باعث ایجاد سمیت، جهش زایی و سرطان زایی شوند. در چند دهه گذشته استفاده از کیتوزان و مشتقات آن به دلیل زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، سمیت پایین و سازگار با محیط زیست مورد توجه بوده است. با این حال، ویژگی‌های جذاب آن به توانایی آن در ایجاد پیوند با گروه‌های سولفونیک رنگ‌های آنیونی توسط نیروهای الکترواستاتیکی به ظرفیت‌های مختلف آن و درجه استیل‌ه آن بستگی دارد. این بررسی خواص و تغییرات بهبود یافته کیتوزان برای جذب رنگ از صنایع نساجی، از طریق اتصالات عرضی، کوپلیمریزاسیون پیوندی و سورفکتانت‌ها برای توسعه مواد هیبریدی کیتوزانی را تشریح می‌کند. علاوه بر این، نانو ساختارهای کیتوزانی که برای تجزیه هوشمند رنگ‌ها و پساب‌های نساجی در حال مطالعه هستند نیز مورد بحث قرار گرفته‌اند. در این مطالعه کیتوزان و کامپوزیت‌های حاصل از آن بعنوان یک جاذب قوی برای حذف انواع رنگ و پساب‌های رنگی معرفی می‌گردد.

**کلید واژه:** کیتوزان، کامپوزیت، جذب، رنگ‌های نساجی.

## مقدمه

رنگ‌ها اغلب در صنایع مختلف مانند صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی، چاپ کاغذ و نساجی که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده مواد شیمیایی هستند، استفاده می‌شوند [۱]. در حال حاضر صنایع نساجی به وفور از رنگ‌های مصنوعی استفاده می‌کنند [۲]. رنگ‌های نساجی به همراه طیف وسیعی از آلاینده‌های صنعتی آثار سمی زیادی بر اکوسیستم‌های زیست محیطی دارند و با اثرات سمی و سرطان‌زایی مشکلات زیست محیطی و یک سری مشکلات پاتولوژیک از طریق زنجیره غذایی را در موجودات زنده ایجاد می‌کنند. وجود حلقه‌های آروماتیک در ساختار اغلب رنگ‌ها باعث سمیت شده و آن را از لحاظ زیستی غیرقابل تجزیه می‌سازد [۳]. رنگ‌های نساجی می‌توانند سرطان‌زا باشند، به‌ویژه آن‌هایی که به شکل آزو و نیترو هستند و اثرات آن‌ها در طول زمان قابل مشاهده است [۴]. این رنگ‌ها در طی شرایط بی‌هوازی به آمین‌های معطر سرطانی تبدیل می‌شوند و تجزیه آن‌ها در آب منجر به درماتیت، آلرژیک، التهاب پوست، جهش‌زایی و رشد تومور می‌گردد. مطالعات مختلف اثرات بسیار جهش‌زا و سرطان‌زای پساب‌های رنگی مانند انحراف کروموزومی در گیاهان [۵]، انسان و حیوانات آبی [۶-۷] را گزارش کرده‌اند. سمیت محیطی و مهار رشد گیاه با کاهش کیفیت خاک نیز گزارش شده است [۸]. در آینده‌ای نزدیک باید هزینه‌های سرسام‌آوری بابت جبران صدمات ناشی از فعالیت‌های صنعتی و پیشرفت‌های تکنولوژیکی پرداخت شود. در شرایط معمول، فاضلاب رنگی با استفاده از لخته‌سازی [۸]، تصفیه هوازی یا بی‌هوازی [۹]، تصفیه الکتروشیمیایی [۱۰]، فیلتراسیون غشایی [۱۱] و روش‌های جذبی [۱۲]، تصفیه می‌شود. روش جذب به دلیل ثمربخشی و نیز سادگی فرایند آن، مشهورترین روش تصفیه محسوب

می‌شود. کارخانه‌های سازنده رنگ از کربن فعال شده تجاری به دلیل تخلخل بالا و مساحت سطح وسیع آن (۲۰۰۰-۵۰۰ مترمربع به ازای هر گرم)، جهت حذف رنگ فاضلاب استفاده می‌کنند [۱۳]. استفاده از کربن فعال شده تجاری با توجه به هزینه بالای تولید آن، نسبتاً گران تمام می‌شود. به‌علاوه، احیای کربن فعال شده نیازمند بخار پرفشار است که این عامل نیز هزینه‌های عملیاتی این سیستم تصفیه را افزایش می‌دهد [۱۴]. این هزینه بالا، انگیزه‌ای برای کشف جاذب‌های اقتصادی و پربازده جایگزین، جهت حذف رنگ شده‌است. جذب سطحی یکی از روش‌های حذف رنگ مخصوصاً رنگ‌های غیرقابل تجزیه است. از طرفی علاوه بر کارایی بسیار بالای فرآیندهای جذبی، امکان بازیابی و استفاده مجدد جاذب، کاربرد این فرآیند را از لحاظ اقتصادی توجیح می‌کند [۱۵]. در حال حاضر پلیمرهای زیستی، به خاطر قابلیت ایجاد پیوند، تشکیل کی‌لیت، انعقاد و لخته شدن با فلزات، رنگ‌زها، ذرات معلق، ترکیبات سمی پایدار، بی‌فیل‌ها و ... همچنین در دسترس بودن، ایمنی زیست محیطی و خاصیت ضد میکروبی در صنعت بسیار مورد توجه واقع گردیده است [۱۶]. کیتین، از واژه یونانی کیتون، به معنای پوشش سخت پوستان گرفته شده است. کیتین، با فرمول  $C_8H_{13}NO_5$  فراوان‌ترین پلیمر طبیعی بعد از سلولز است. کیتین، پلی ساکاریدی نیتروژندار، سفید رنگ، غیر الاستیک و در آب و محلول‌های قلیایی نامحلول است. آنزیم هیدرولیز کننده‌ی آن کیتوناز نام دارد و سرعت واکنش هیدرولیز کیتین بسیار کند و زمان بر است. کیتین، بدلیل فراوانی در طبیعت، دسترسی آسان و از همه مهم‌تر، از آنجا که به عنوان یکی از ضایعات صنایع شیلات محسوب می‌شود و از نظر اقتصادی استفاده از آن بسیار مقرون به صرفه است [۱۷]. کیتوزان از استیل زدایی کیتین بدست می‌آید که بدلیل

غیر سمی بودن، خاصیت جذب بالا، امکان تجزیه در طبیعت، سازگاری با محیط زیست، مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی، توانایی حذف محدوده وسیعی از رنگ‌ها و فلزات، سینتیک سریع و در نهایت امکان تهیه مشتقات فراوان از آن، بسیار مورد توجه است [۱۹-۱۸]. خصوصیات کیتوزان اغلب به طبیعت شیمیایی (درجه استیل زدایی، جرم مولکولی، چگالی و بار یونی گروه‌های عاملی) آن بستگی دارد. این پارامترها اغلب به شرایط و نحوه ی تهیه کیتوزان مربوط می‌شود [۲۰]. مطالعات نشان داده است، تهیه نمونه‌های کیتین (مانند خرچنگ، اسکوئید و میگو) از منابع مختلف، موجب تهیه کیتوزان با درجه استیل زدایی متفاوت می‌شود. فرایند استیل زدایی کیتوزان، با حذف پروتئین‌ها بوسیله یک ترکیب بازی انجام می‌گیرد و چون کیتوزان از استیل زدایی کیتین بدست می‌آید، یکی از خصوصیات مهم آن، میزان استیل زدایی این پلیمر زیستی است و تعیین آن، از جهت میزان تاثیر گروه‌های فعال موجود در ساختار پلیمر، بر میزان جذب رنگ اهمیت دارد. نتایج محققان نشان داده است، افزایش درجه استیل زدایی کیتوزان موجب افزایش گروه‌های آمین این پلیمر زیستی می‌شود و در نتیجه پروتونه شدن گروه‌های آمین، موجب افزایش جذب رنگ‌های آنیونی از محلول می‌گردد [۲۱].

**مواد و روش‌ها**

- کیتوزان

کیتوزان فرم استیل زدایی شده کیتین که پلی ساکارید موجود در پوسته سخت پوستان است در آب محلول و دارای بار مثبت می‌باشد و این ویژگی از نقطه نظر تکنیکی اهمیت بسیاری دارد چرا که بسیار را قادر می‌سازد تا با بسپارهای دارای بار منفی، درشت مولکول‌ها حتی با برخی پلی آنیون‌ها در محیط آبی برهم کنش داشته باشد که از این برهم کنش‌ها و حالت‌های گذار محلول ژل ایجاد می‌شود و به علت تراکم

گروه‌های آمینی روی زنجیره پلیمر دارای ویژگی تشکیل کی لیت، لخته شدن و انعقاد می‌باشد [۱۹]. بنابراین آلاینده‌هایی مانند ذرات معلق، رنگ، بی فنیل‌های پلی کلره، ترکیبات سمی پایدار و ترکیبات آلی را با مکانیزم انعقاد و لخته شدن حذف و فلزات سنگین را با مکانیزم کی لیت جذب می‌کند. به منظور تهیه مشتقات کیتوزان (به دست آوردن گروه‌های عاملی پیوندی جدید)، تغییر در وضعیت آن (تهیه غشاء، نانو ذرات، پودر و فیبر)، کنترل واکنش-پذیری کیتوزان (بالا بردن کارایی جذب، تغییر انتخاب-پذیری جذب و محدوده pH برای جذب بهینه) و بالا بردن سینتیک جذب با فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی، اصلاح می‌شود. کنترل وضعیت پلیمر جهت طراحی فرایند جذب مفید است [۱۸]. عیب اصلی استفاده از محصولات شیمیایی مصنوعی (آلومینیوم سولفات و بسپارهای ساختگی) برای تصفیه آب، خطر آلودگی محیط زیست می‌باشد، در نتیجه استفاده از روش‌های سبز یک نیاز اقتصادی است. از جمله مزایای استفاده از آمینوسپارها می‌توان به قابلیت بالای این مواد در محدود نمودن مواد آلاینده به ویژه یون‌های فلزی سنگین، توان سازش پذیری در محیط زیست، قابلیت شکل دهی به فیلم، چسبندگی، آبدوستی و خصوصیات جذبی آن‌ها اشاره کرد با توجه به ماهیت کاتیونی کیتوزان، مولکول زنجیره‌های آن اطراف ذرات جامد معلق و مواد معدنی و فلزات سنگین مانند روی، کروم، آرسنیک، دی اکسید تیتانیم، فسفر و به ویژه جیوه، سرب و اورانیوم، رنگ-ها، آمینواسیدها و پروتئین‌ها را می‌گیرد و آن‌ها را لخته می‌کند. کیتوزان همچنین در جذب مواد رادیواکتیو و پاکسازی مواد نفتی و روغنی، سمی، آروماتیک و به ویژه پلی کلروبی فنیل نیز به کار می‌رود. استفاده از کیتوزان کارایی سیستم را بهبود بخشیده، کاهش چشم‌گیری در بو و مزه را به دنبال دارد [۱۶]. خواص فیزیکی و شیمیایی کیتوزان از قبیل ضد باکتریایی، ضد اسید و تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی باعث شده که کاربرد صنعتی داشته باشد. جذب یون‌های اورانیوم، نیکل، وانادیم، کروم،

دارای دو مزیت مهم، ظرفیت جذب آلاینده‌ها و گزینش پذیری عالی و دیگری تطبیق پذیری آن است [۲۵].

#### – اتصالات عرضی کیتوزان

اتصالات عرضی معرف‌هایی هستند که پل‌های بین مولکولی را در ماکرومولکول‌های مختلف تشکیل می‌دهند. اتصالات عرضی به طور قابل توجهی تحرک گروه‌ها را در مواد پلیمری کاهش می‌دهد [۲۶]. گلو تار آل‌دئید<sup>۱</sup> رایج‌ترین پیوند دهنده یونی است که برای اصلاح کیتوزان، همچنین کامپوزیت‌های کیتوزان استفاده می‌شود [۲۷]. اپی کلروهیدرین<sup>۲</sup> (کلرومتیل اکسیران  $C_3H_5ClO$ ) نیز یک اتصال دهنده عرضی دیگر برای تهیه کیتوزان اصلاح شده، قوی و پایدارتر برای اهداف جذب است و به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. اپی کلروهیدرین به طور عمده به گروه‌های OH- کیتوزان متصل می‌شود در نتیجه اتصالات عرضی با آلاینده‌ها هم توسط این گروه و هم توسط گروه‌های آمینی انجام می‌شود و عملکرد جذب بالا می‌رود [۲۸]. اتیلن گلیکول دی گلیسیدیل اتر<sup>۳</sup> (EDGE) یک عامل اتصال دهنده قوی دیگری است و با توجه به مطالعات از لان و همکاران [۲۹] عملکرد بالای کیتوزان برای جذب رنگ-های اسید آبی ۲۵ و اسید قرمز ۳۷ با این عامل اتصال نشان داده شده است. همچنین استحکام مکانیکی و مقاومت شیمیایی با اتصال عرضی EDGE در کیتوزان افزایش قابل توجهی داشته است. مطالعات نشان داد که کیتوزان و ساختارهای شبکه‌ای آن با EDGE می‌توانند به‌عنوان جایگزین‌های مقرون به‌صرفه برای جذب رنگ‌های بالقوه سمی از فاضلاب استفاده شوند. تری پلی فسفات<sup>۴</sup> (TPP) با

کادمیوم، مس با کیتوزان مطالعه گردیده است. همچنین جذب یون‌های فلزی با مشتقات کیتوزان مانند کیتوزان دارای اتصالات عرضی، کیتوزان متخلخل پلی آمین دار شده، کامپوزیت‌های کیتوزان، نانوذرات کیتوزان و مشتقات جدید کیتوزان نیز بررسی گردیده است. کیتوزان و مشتقات آن می‌توانند به عنوان جاذب به واسطه وجود گروه‌های آمین و هیدروکسیل به عنوان مکان کی لیت کننده استفاده گردد [۲۱]. در رابطه با اصلاح شیمیایی کیتوزان، تعداد زیادی از مشتقات آن با پیوند گروه‌های عاملی جدید روی ساختار آن تهیه شده اند. این تغییرات منجر به افزایش ظرفیت و انتخاب پذیری جذب در محلول می‌گردند. گروه‌های آمین، کربوکسیل، فسفات، ترکیبات سولفور با کیتوزان پیوند داده شده‌اند و به کرات برای افزایش ویژگی‌های جذب مورد استفاده قرار گرفته اند [۲۲]. عمدتاً عوامل فیزیکی مانند اندازه ذرات، تخلخل و بلورینگی بر پتانسیل جذب مواد کیتوزانی تأثیر می‌گذارند. کاربردهای کیتوزان به دلیل ظرفیت جذب پایین، مساحت سطح، آب دوستی، کریستالیزاسیون بالا، عدم تخلخل و مقاومت در برابر انتقال جرم محدود است [۲۳]. سینتیک فرآیند کیتوزان با قابلیت انحلال و افزایش کارایی مکان‌های واکنش پذیر آن افزایش می‌یابد [۲۴]. در طول انحلال پلیمر، پیوندهای هیدورژنی بین گروه‌های هیدروکسیل و آمینو شکسته می‌شود و فضای بسیار بیش‌تری برای برهمکنش با رنگ‌ها به آن‌ها می‌دهد. استفاده بسیار موثر از گروه‌های آمینه کیتوزان در شرایط مایع برای جدا سازی پساب‌های رنگی مناسب است. در تصفیه فاضلاب، استفاده از کیتوزان

<sup>1</sup> Glutaraldehyde

<sup>2</sup> Epichlorohydrin

<sup>3</sup> Ethylene glycol di-glycidyl ether

<sup>4</sup> Tripolyphosphate

شبکه‌هایی مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که واکنش‌های کوپلیمریزاسیون پیوند ظرفیت جذب رنگ را افزایش می‌دهد، در حالی که پیوندهای عرضی به طور قابل توجهی قابلیت بازیافت آن‌ها را برای چندین آزمایش مکرر بهبود می‌بخشد [۳۲].

کوپلیمرهای کیتوزان با پلی اتیلن ایمین، آکریل آمید و اتیلن دی آمین برای جذب رنگ‌های آنیونی، با ظرفیت جذب بالا در شرایط بسیار اسیدی (pH=۲)، معرفی شده‌اند. کوپلیمر دی انیدرید پیروملیتیک (PMDA)<sup>۵</sup> هم برای حذف رنگ‌های کاتیونی از فاضلاب‌های رنگی بسیار کارآمد معرفی شده است [۳۳]. کوپلیمر کیتوزان با کربوکسیلات نیز دارای پتانسیل دفع عالی و سریع یون‌های نیکل و مالاویت سبز می‌باشد [۳۴].

- سورفکتانت‌ها

سورفکتانت‌هایی مانند Triton X-100، CTAB<sup>۶</sup> و SDS<sup>۷</sup> برای بهبود پتانسیل جذب کیتوزان استفاده شده‌اند. آن‌ها می‌توانند با نیروهای جاذبه الکترواستاتیکی به مولکول‌های کیتوزان متصل شوند و تجمع‌های فوق مولکولی به نام کمپلکس‌های سورفکتانت کیتوزان بسازند [۳۵].

شبکه‌های کیتوزان که با SDS تلفیق شده‌اند پایداری اسیدی و استحکام مکانیکی بالاتری را نسبت به کیتوزان خالی نشان داده‌اند. همچنین بالاترین پتانسیل جذب رنگ‌های کاتیونی و آنیونی برای آن‌ها ثبت شده است [۳۶].

- ساختارهای نانو کیتوزانی

بره‌مکنش الکترواستاتیکی به دلیل ماهیت پلی آنیونی با کیتوزان کاتیونی پیوندهای عرضی تشکیل می‌دهد. شبکه کیتوزانی با اتصالات متقابل TPP برای جذب رنگ قرمز راکتیو ۱۸۹، رنگ‌های کاتیونی و همچنین رنگ‌های آنیونی مانند آبی متیلن و قرمز مستقیم ۲۸ از فاضلاب استفاده شده است [۲۹]. کائولن و ماگمیت نیز برای تشکیل ساختارهای شبکه‌ای کیتوزان در جذب رنگ‌ها استفاده می‌شوند. در چنین ساختارهایی چندین محل فعال، منافذ و خلل و فرج متعدد در سطح کامپوزیت به وجود می‌آید. معمولاً این کامپوزیت‌ها در pH کمی اسیدی می‌توانند تا ۷۰ درصد رنگ متیل اورانژ را جذب کنند [۳۰].

- کوپلیمریزاسیون پیوندی

برای افزایش حلالیت و بهبود قابلیت کاربرد کیتوزان، کوپلیمریزاسیون پیوندی به عنوان کارآمدترین فرآیند در استفاده از کیتوزان در عصر مدرن معرفی شده است. در ساختار کیتوزان دو گروه آمین آزاد بر روی واحدهای استیل و گروه‌های هیدروکسیل وجود دارد که با پیوندهای مولکولی کووالانسی از این دو مکان مشتقات و ترکیبات جدیدی را می‌توان ایجاد کرد که در فرایند حذف و جذب رنگ‌ها از منابع آبی استفاده شوند. اخیراً سولفات آمونیوم آهن، نترات آمونیوم سربک، پرسولفات پتاسیم و پرسولفات آمونیوم برای شروع پلیمریزاسیون پیوندی معرفی شده‌اند. همچنین گزارش شده است که آنزیم‌ها هم می‌توانند کوپلیمریزاسیون پیوندی را آغاز کنند [۳۱]. خواص کوپلیمرهای پیوندی به عوامل متعددی از جمله ساختار مولکولی، زنجیره جانبی، تعداد و طول زنجیر بستگی دارد. جذب رنگ‌های راکتیو از پساب‌های رنگرزی توسط چنین

<sup>5</sup> pyromellitic dianhydride

<sup>6</sup> Cetrimonium bromide

<sup>7</sup> Sodium dodecyl sulfate

سطحی رنگ‌های بازی را می‌توان با استفاده از نانوکیتوزان پیوندی، بهبود بخشید. در این صورت، بازده جذب سطحی آن به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. برای روش‌های تولید نانو کیتوزان روش‌های ژلی شدن یونی، جداسازی فازی در محیط‌های آبی با استفاده از روش رسوب‌دهی، امولسیون ترسیبی و روش میسل معکوس معرفی شده است [۳۷].

### نتیجه‌گیری

جاذب‌های کیتوزانی به دلیل زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، عدم سمی بودن و قابلیت اصلاح شیمیایی، توانایی جذب بالایی را برای محلول رنگی نشان می‌دهند. خواص فیزیکی و مکانیکی کیتوزان برای جذب رنگ زمانی افزایش می‌یابد که یک معرف (اتصال دهنده عرضی) یک پل بین مولکولی، بین ماکرومولکول‌های کیتوزان ایجاد کند یا ساختارهای شبکه‌ای کیتوزان متقاطع با کوپلیمریزاسیون پیوندی تشکیل دهد و یا با سورفکتانت‌ها تلفیق شود که این مشتقات جایگزین‌های خوبی برای جاذب‌های تجاری هستند. جذب رنگ با استفاده از نانوساختارهای کیتوزانی نیز نشان داد که بازده جذب سطحی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

### منابع

- [1] Sharma, SK (ed), 2015, Green chemistry for dyes removal from waste-water. Scrivener Publishing LLC Wiley, Beverley, p 496.
- [2] Khalaf, MN (ed), 2016, Green polymers and environmental pollution control. CRC Press; Apple Academic Press Inc, Oakville, p 436.
- [3] Morin-Crini, N, Crini, G (eds), 2017, Eaux industrielles contaminées. PUFC, Besançon, p 513.
- [4] Carmen, Z., Daniela, S., 2012, Textile organic dyes-characteristics, polluting effects and separation/ elimination procedures from industrial effluents—a critical overview, in: Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update vol. 2741, InTech, Rijeka, Croatia, p. 31.
- [5] Ali, N., Khan, A., Malik, S., Badshah, S., Bilal, M., Iqbal, H.M., 2020, Chitosan-based green sorbent material for cations removal from an aqueous environment, J. Environ. Chem. Eng. 8, 104064.

جاذب‌های نانوساختار با سطح ویژه زیاد و قدرت جذب بالا ضایعات کم‌تری تولید می‌کنند که این ضایعات قابل جمع‌آوری است. سنتز نانو ذرات کیتوسان یکی از روش‌های اصلاح فیزیکی کیتوسان می‌باشد. اندازه ذرات، پارامتری موثر در جذب می‌باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که سرعت جذب با کاهش اندازه ذرات، افزایش می‌یابد. از آنجایی که مساحت سطح کیتوزان تجاری بسیار اندک است ( $20 > m^2/g$ )، انتظار می‌رود که کیتوزان در مقیاس نانو که مساحت سطح بزرگ‌تری داشته، بازده و توانایی جذب سطحی بسیار بیش‌تری از خود نشان دهد، زیرا نواحی جذب سطحی آن بیش‌تر است [۳۷]. این امر سبب تحقیقات بسیاری در زمینه عملکرد جذب رنگ توسط نانو کیتوزان شده است. حذف رنگ‌های آنیونی نظیر اسید سبز ۲۷ در  $pH=5$  و اسید نارنجی ۱۰، اسید نارنجی ۱۲ و اسید قرمز ۷۳ در  $pH=4$  به‌وسیله‌ی نانو کیتوزان آزمایش شده است. ظرفیت‌های جذب سطحی نانو کیتوزان و کیتوزان در ابعاد میکرو مقایسه شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، ظرفیت جذب سطحی نانو کیتوزان از کیتوزان در ابعاد میکرو بیش‌تر است. از میان رنگ‌های آزمایش شده نیز، بالاترین ظرفیت جذب (هم به‌وسیله‌ی نانو کیتوزان و هم به‌وسیله‌ی کیتوزان در ابعاد میکرو) برای اسید نارنجی ۱۲ گزارش شده است [۳۷-۴۰].

یکی از ملاحظات مهم برای تجاری شدن نانو کیتوزان، توانایی آن برای جذب رنگ‌های بازی (علاوه بر رنگ‌های اسیدی) است. به دلیل وجود گروه آمینی در کیتوزان، این ماده از بار الکتریکی سطحی مثبت برخوردار بوده و مولکول‌های رنگ بازی را که آن‌ها نیز دارای بار الکتریکی مثبت هستند، دفع می‌کند. همان‌گونه که انتظار می‌رود، نانو کیتوزان رنگ‌های بازی را در مقایسه با رنگ‌های آنیونی، به‌صورت مطلوبی جذب نمی‌کند. اما اخیراً گزارش شده است که جذب

- [25] Wu, F.C., Tseng, R.L., Juang, R.S., 2001, Enhanced abilities of highly swollen chitosan beads for color removal and tyrosinase immobilization, *J. Hazard Mater.* 81, 167–177.
- [26] Luna, M.S. de., Castaldo, R., Altobelli, R., Gioiella, L., Filippone, G., Gentile, G., Ambrogi, V., 2017, Chitosan hydrogels embedding hyper-crosslinked polymer particles as reusable broad-spectrum adsorbents for dye removal, *Carbohydr. Polym.* 177, 347–354.
- [27] Dhiman, N., Shukla, S.P., Kisku, G.C., 2017, Statistical optimization of process parameters for removal of dyes from wastewater on chitosan nanospheres nanocomposite using response surface methodology, *J. Clean. Prod.* 149, 597–606.
- [28] Gutha, Y., Zhang, Y., Zhang, W., Jiao, X., 2017, Magnetic-epichlorohydrin crosslinked chitosan Schiff's base (m-ECCSB) as a novel adsorbent for the removal of Cu (II) ions from aqueous environment, *Int. J. Biol. Macromol.* 97, 85–98.
- [29] Azlan, K., Saime, W.N.W., Liew, L.A.I., 2009, Chitosan and chemically modified chitosan beads for acid dyes sorption, *J. Environ. Sci.* 21, 296–302.
- [30] Chiou, M.S., Li, H.Y., 2003, Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads, *Chemosphere* 50, 1095–1105.
- [31] Vaidya, A.A., Hussain, I., Gaugler, M., Smith, D.A., 2019, Synthesis of graft copolymers of chitosan-poly (caprolactone) by lipase catalysed reactive extrusion, *Carbohydr. Polym.* 217, 98–109.
- [32] Kyzas, G.Z., Kostoglou, M., Vassiliou, A.A., Lazaridis, N.K., 2011, Treatment of real effluents from dyeing reactor: experimental and modeling approach by adsorption onto chitosan, *Chem. Eng. J.* 168, 577–585.
- [33] Huang, X.Y., Bin, J.P., Bu, H.T., Jiang, G.B., Zeng, M.H., 2011, Removal of anionic dye eosin Y from aqueous solution using ethylenediamine modified chitosan, *Carbohydr. Polym.* 84, 1350–1356.
- [34] Liu, B., Chen, X., Zheng, H., Wang, Y., Sun, Y., Zhao, C., Zhang, S., 2018, Rapid and efficient removal of heavy metal and cationic dye by carboxylate-rich magnetic chitosan flocculants: role of ionic groups, *Carbohydr. Polym.* 181, 327–336.
- [35] Chang, Y., Jiao, Y., Symons, H.E., Xu, J.F., Faul, C.F., Zhang, X., 2019, Molecular engineering of polymeric supra-amphiphiles, *Chem. Soc. Rev.* 48, 989–1003.
- [36] Chatterjee, S., Lee, D.S., Lee, M.W., Woo, S.H., 2010, Enhanced molar sorption ratio for naphthalene through the impregnation of surfactant into chitosan hydrogel beads, *Bioresour. Technol.* 101, 4315–4321.
- [37] Crini, G., Badot, P.-M., 2008, Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: a review of recent literature, *Prog. Polym. Sci.* 33, 399–447.
- [38] Hu, Z.G., Zhang, J., Chan, W.L., Szeto, Y.S., 2006, The sorption of acid dye onto chitosan nanoparticles, *Polymer* 47, 5838–5842.
- [39] Maali, S., Ghazi Tabatabaei, Z., Removal of Benzene and Toluene from aqueous solutions by chitosan nano-hydrogels, *The Application of Chemistry in Environment* 10 (37), 9–14.
- [40] Cheung, W.H., Szeto, Y.S., McKay, G., 2009, Enhancing the adsorption capacities of acid dyes by chitosan nano particles, *Bioresour. Technol.* 100, 1143–1148.
- [6] Silveira, E., Marques, P.P., Silva, S.S., Lima-Filho, J.L., A.L. F. Porto, E.B., 2009, Tambourgi, Selection of *Pseudomonas* for industrial textile dyes decolorization, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 63, 230–235.
- [7] Zerín, I., Farzana, N., Muhammad Sayem, A., Anang, D.M., Haider, J., 2019, Potentials of natural dyes for textile applications, in: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier, 978-0-12-803581-8.
- [8] Khan, S., Malik, A., 2018, Toxicity evaluation of textile effluents and role of native soil bacterium in biodegradation of a textile dye, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 4446–4458.
- [9] Jaiswal, A., Verma, A., Jaiswal, P., 2018, Detrimental effects of heavy metals in soil, plants, and aquatic ecosystems and in humans, *J. Environ. Pathol. Toxicol.* 37.
- [10] Mondal, S., Purkait, M.K., De, S., 2018, Advances in Dye Removal Technologies, Springer Singapore, 978-981-10-6293-3.
- [11] Zeyad, M.T., Kumar, M., Malik, A., 2019, Mutagenicity, genotoxicity and oxidative stress induced by pesticide industry wastewater using bacterial and plant bioassays, *Biotechnol. Rep.* 24, e00389.
- [12] Zahedniya, M., Ghazi Tabatabaei, Z., 2018, Investigation of BTEX removal from aqueous solution by single wall carbon nanotubes decorated with ZnO. *Journal of Water and Wastewater*, 29(2), 1-11.
- [13] Pokhrel, D., Viraraghavan, T., 2004, Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review. *Sci Total Technol* 333:37–58.
- [14] Anjaneyulu, Y., Sreedhara Chary, N., Samuel Suman Raj, D., 2005, Decolorization of industrial effluents—available methods and emerging technologies: a review. *Rev Environ Sci Bio/Technol.* 4:245–273.
- [15] Vakili, M.T., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Zuhairi Abdullah, A., Hakimi Ibrahim, M., Tan, K.B., Gholami, Z., and Amouzgar, P., 2014, Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review. *Journal of Carbohydrate Polymer.* 113, 115–130.
- [16] Haldorai, Y., Kharismadewi, D., Tuma, D., and Shim, J.-J., 2015, Properties of chitosan/magnetite nanoparticles composites for efficient dye adsorption and antibacterial agent. *Journal of Chemical Engineering.* 32, 1688–1693.
- [17] Crini, G., 2006, Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresour. Technol.* 97, 1061–1085.
- [18] Crini, G., & Badot, P. M., 2008, Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solution by adsorption process using batch studies: A review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, 33, 399–447.
- [19] Bilal, M., Asgher, M., 2015, Sandal reactive dyes decolorization and cytotoxicity reduction using manganese peroxidase immobilized onto polyvinyl alcohol-alginate beads, *Chem. Cent. J.* 9, 47.
- [20] Bilal, M., Iqbal, M., X. Zhang, Hu., 2016, Mutagenicity and cytotoxicity assessment of biodegraded textile effluent by Ca-alginate encapsulated manganese peroxidase, *Biochem. Eng. J.* 109, 153–161.
- [21] Hu, Z. G., Zhang, J., Chan, W. L., and Szeto, Y. S., 2006, The sorption of acid dye onto chitosan nanoparticles, *Polymer*, vol. 47, pp. 5838–5842.
- [22] Chen, C.-Y., Chang, J.-C., Chen, A.-H., 2011, Competitive biosorption of azo dyes from aqueous solution on the templated crosslinked-chitosan nanoparticles, *J. Hazard. Mater.* 185, 430–441.
- [23] Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Abdullah, A.Z., Ibrahim, M.H., Tan, K.B., Amouzgar, P., 2014, Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: a review, *Carbohydr. Polym.* 113, 115–130.
- [24] Li, Y., Yu, J., Hu, S., Chen, Z., Sacchetti, M., Sun, C.C., Yu, L., 2019, Polymer nanocoating of amorphous drugs for improving stability, dissolution, powder flow, and tableability: the case of chitosan-coated indomethacin, *Mol. Pharm.* 16, 1305–1311.