



## رنگبری رنگزاهای اسیدی با استفاده از کیتوسان در سیستم‌های یک جزئی و دو جزئی

راضیه صالحی<sup>۱</sup>، مختار آرامی<sup>۲</sup>، نیازمحمد محمودی<sup>۳\*</sup>، سید هژیر بهرامی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۷۸۴-۴۴۱۳

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۷۸۴-۴۴۱۳

۳- استادیار، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۴ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۱۲ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۹/۱۲/۲۰

### چکیده

امروزه به منظور حذف آلودگی آب، از جاذب‌های ارزان قیمت استفاده می‌گردد. کیتوسان با دی‌استیله کردن بیوپلیمر کیتین به دست می‌آید و کیتین از نظر فراوانی در جهان دومین پلی‌ساکارید بعد از سلولز است. در این تحقیق رنگبری دو رنگزای آنیونی از پساب‌های نساجی در سیستم‌های یک جزئی و دو جزئی انجام شده است. رنگزای مستقیم آبی ۷۸ (Direct Blue 78) و رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ (Acid Black 26) به عنوان مدل انتخاب شده است. خصوصیات سطحی کیتوسان قبل و بعد از فرآیند رنگبری با استفاده از تبدیل فوریه زیر قرمز و میکروسکوپ الکترونی پویشی ارزیابی گردید. عوامل مؤثر بر فرآیند رنگبری مانند مقدار جاذب و pH بررسی شد. داده‌ها نشان دادند که کیتوسان می‌تواند به عنوان یک جاذب برای رنگبری رنگزاهای آنیونی از پساب‌های رنگی نساجی مورد استفاده قرار گیرد. واژه‌های کلیدی: رنگبری، کیتوسان، سیستم دو جزئی، پساب‌های رنگی نساجی، رنگزای آنیونی.

## Acid Dyes Removal Using Chitosan in Single and Binary Systems

R. Salehi<sup>1</sup>, M. Arami<sup>1</sup>, N. M. Mahmoodi<sup>2\*</sup>, S. H. Bahrami<sup>1</sup>

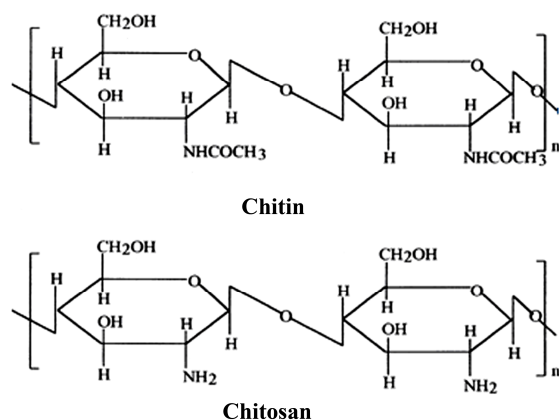
<sup>1</sup>Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15784-4413, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Environmental Research, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

### Abstract

It is now recognized that adsorption using low-cost adsorbents is an effective and economic method for water decontamination. Chitosan is derived by deacetylation of the naturally occurring biopolymer chitin which is the second most abundant polysaccharide in the world after cellulose. In this paper removal of two anionic dyes from textile effluent in both singular and binary systems is investigated. Direct Blue 78 and Acid Black 26 was used as anionic dye models. The surface characteristics of chitosan were investigated using Fourier transform infra-red spectroscopy and scanning electron microscopy. The influence of process variables such as adsorbent dosage and pH were studied. Results indicate that chitosan could be used as a biosorbent to remove the anionic dyes from contaminated watercourses in both singular and binary pollutants systems J. Color Sci. Tech. 4(2011), 199-206 © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Dye removal, Chitosan, Binary system, Colored textile wastewater, Anionic dye.



شکل ۱: ساختار شیمیایی کیتین [poly (N-acetyl-β-D-glucosamine)] و کیتوسان [poly(D-glucosamine)].

زمینه‌های دیگر [۱۵] همچون دندانپزشکی استفاده گسترده‌ای دارد. کیتین و کیتوسان کاربردهای صنعتی دیگری از جمله تصفیه آب و پساب و ... دارد [۳۳-۱۶].

جذب سطحی در سه مرحله مجزا رخ می‌دهد:

۱. مولکول‌های جذب شده باید از فاز توده‌ای محلول به سطح ذره جاذب انتقال یابند. در این عمل، مولکول‌های جذب شونده باید از فیلم حلالی که ذره جاذب را احاطه کرده است عبور کنند. این مرحله به فرآیند نفوذ در فیلم معروف است.

۲. مولکول‌های جذب شده باید به مکان‌هایی از جاذب که در داخل تخلخل موجودند انتقال یابند. این فرآیند به عنوان نفوذ در تخلخل بیان می‌شود.

۳. ذره باید به سطح جاذب متصل گردد، یعنی جذب شود [۳۳]. مرور مقالات نشان داد که تحقیقات زیادی در مورد رنگبری پساب‌های نساجی با استفاده از کیتوسان در سیستم‌های یک جزئی از رنگزا انجام شده است. اما رنگبری سیستم‌های دوجزئی از رنگزا با استفاده از کیتوسان انجام نشده است. در این تحقیق رنگبری دو رنگزای آنیونی از پساب‌های نساجی در سیستم‌های یک جزئی و دو جزئی انجام شده است. ویژگی‌های سطحی کیتوسان با استفاده از تبدیل فوریه زیر قرمز و میکروسکوپ الکترونی پویشی ارزیابی گردید. عوامل مؤثر بر فرآیند رنگبری مانند مقدار جاذب و pH نیز بررسی شد.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد

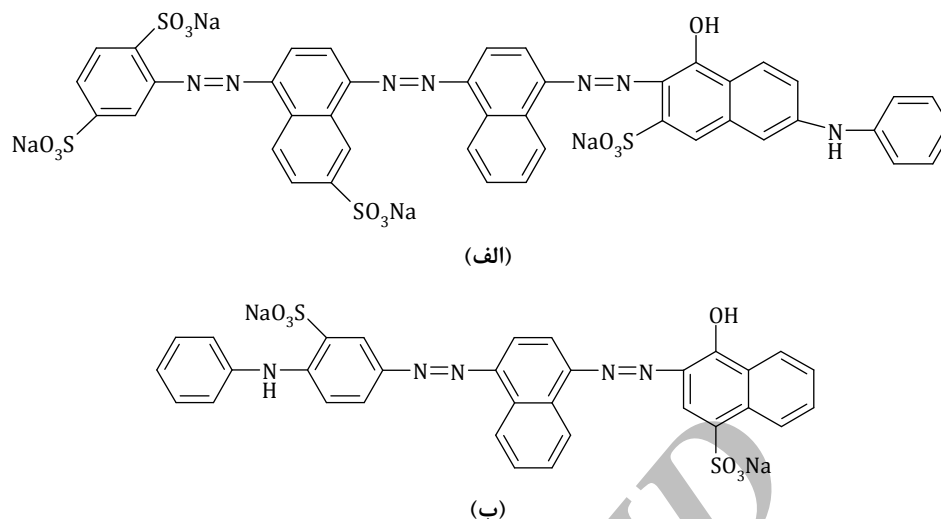
دو رنگزای مستقیم آبی ۷۸ و اسید مشکی ۲۶ از شرکت سیبا (سیبای ایران - تهران) خریداری گردید. رنگزاها از نوع تجاری و بدون خالص‌سازی استفاده شدند. مشخصات دو رنگزا و ساختار شیمیایی آنها به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است.

## ۱- مقدمه

بسیاری از صنایع مانند منسوجات، کاغذ، پلاستیک و مواد رنگرزی مقدار زیادی آب مصرف می‌کنند، همچنین در حین تولیدهای شیمیایی و رنگرزی فرآورده‌های رنگی‌شان از آب استفاده می‌کنند، در نتیجه آنها مقدار زیادی پساب آلوده تولید می‌کنند. پساب‌های سمی کارخانه‌ها، منبع اصلی آلودگی محیط زیست آبریان است و اگر بدون تصفیه، تخلیه شوند به آب‌ها خسارت زیادی وارد می‌گردد [۱]. رنگزاها جزء اولین آلاینده‌هایی هستند که در پساب‌ها شناخته شده‌اند. وجود مقدار بسیار کمی از رنگزا در آب، به مقدار زیاد آشکار و نامطلوب است روش‌های زیادی مانند فوتوفتون، از ناسیون، غشایی، جذب سطحی و ... برای حذف رنگزاها بررسی شده است [۷-۳]. امروزه به منظور حذف آلودگی آب، از جاذب‌های ارزان قیمت استفاده شده است [۸]. به منظور کاهش مقدار جاذب و به حداقل رساندن مشکلات دفع، جاذب‌های ارزان قیمت که ظرفیت جذب بالایی دارند، در حال توسعه می‌باشند. اخیراً، توجه زیادی بر روی زیست‌جاذب‌های گوناگون مثل قارچ‌ها یا زیست‌توده‌های باکتری و بیوپلیمرها شده است، چون به مقدار زیاد قابل تولید هستند و برای طبیعت هم مفیدند. پلی‌ساکاریدهایی مثل کیتوسان، به عنوان یک آمینو پلیمر طبیعی مورد توجه زیادی قرار دارند. تحقیقات نشان داده است که یکی از روش‌های مؤثر برای حذف آلودگی، جذب رنگزا با استفاده از کیتوسان است. کیتوسان به عنوان یک پلیمر طبیعی به دلیل داشتن ویژگی‌های خاص به عنوان یک زیست‌جاذب مؤثر در حذف رنگزاها به کار گرفته می‌شود. این پلیمر با دو مزیت مهم به عنوان زیست‌جاذب مورد توجه است: ۱- قیمت پایین که با کربن فعال تجاری قابل مقایسه است (کیتوسان با دی‌استیله کردن زیست‌پلیمر کیتین به دست می‌آید و کیتین از نظر فراوانی در جهان دومین پلی‌ساکارید بعد از سلولز است)، ۲- خاصیت کی‌لیت‌کنندگی خوبی دارد (یکی از کاربردهای اصلی این آمینو پلیمر قابلیت پیوند با آلاینده‌ها، بویژه یون‌های فلزی سخت است) [۹].

کیتین، فراوان‌ترین آمینو پلی‌ساکارید در طبیعت است که در پوشش محافظ خارجی سخت پوستان (خرچنگ و میگو)، کوتیکل حشرات و دیوارهای سلولی قارچ‌ها یافت می‌شود. این ماده ارزان قیمت یک هموپلیمر خطی است و ساختاری مشابه سلولز دارد (شکل ۱) [۱۰]. کیتین یک آمینو پلیمر است و گروه‌های استامید در موقعیت ۲ به جای گروه‌های هیدروکسیل قرار دارد. حضور این گروه‌ها مزیت‌های زیادی دارد که سبب می‌شود جذب به خوبی انجام شود. مقدار زیادی از پساب‌ماندها، محصول جانبی فرآیندهای غذایی است و پلیمر خام به صورت تجاری از خرچنگ دریایی استخراج می‌گردد.

معمولاً کیتین و مشتقات آن در داروسازی [۱۱]، پزشکی [۸]، زیست‌فناوری [۱۲]، شیمیایی [۱۱]، وسایل آرایشی [۸]، صنایع غذایی [۱۳] نساجی [۱۱]، کشاورزی [۱۴]، صنایع کاغذ [۱۱] و



شکل ۲: ساختار شیمیایی (الف) رنگزای مستقیم آبی ۷۸ و (ب) رنگزای اسید مشکی ۲۶.

جدول ۱: مشخصات دو رنگزای اسید مشکی ۲۶ و مستقیم آبی ۷۸.

نام شیمیایی	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g/mol)
اسید مشکی ۲۶	$C_{32}H_{23}N_5O_7S_2Na_2$	۶۹۹
مستقیم آبی ۷۸	$C_{42}H_{25}N_7O_{13}S_4Na_4$	۱۰۵۵

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تأثیر متغیرهای فرآیند

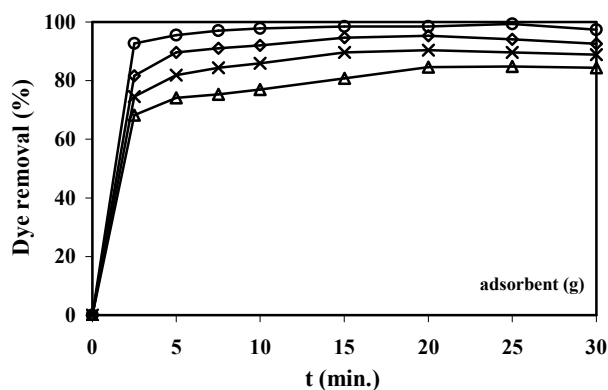
در یک سیستم ناپیوسته بازده رنگبری کیتوسان از یک پساب به متغیرهای فرآیند مانند مقدار جاذب و pH بستگی دارد.

#### ۳-۱-۱- تأثیر مقدار جاذب

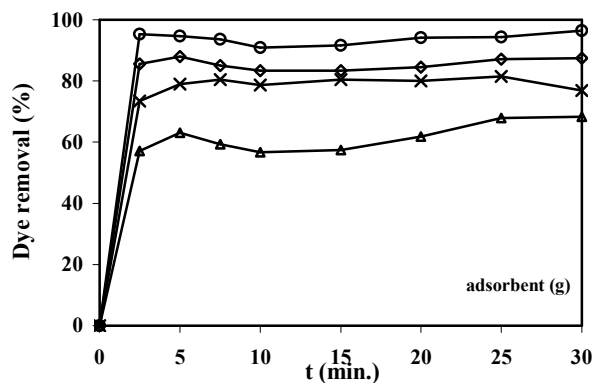
تعیین مقدار بهینه کیتوسان عامل بسیار مهمی است زیرا مقدار رنگزای حذف شده را تعیین می‌کند. تأثیر مقدار کیتوسان بر روی مقدار رنگزای جذب شده در ۲۰۰ ml محلول رنگی با غلظت اولیه رنگزا ۵۰ mg/l حاوی رنگزای مستقیم آبی ۷۸ و اسید مشکی ۲۶ (سیستم یک جزئی) و همچنین ۲۰۰ ml محلول رنگی از دو رنگزای مذکور (سیستم‌های دو جزئی با غلظت رنگزا ۲۵ mg/l) مورد بررسی قرار گرفت. از همزن با سرعت ثابت ۲۰۰ rpm در دمای محیط ( $25^{\circ}C$ ) به مدت ۳۰ دقیقه استفاده گردید. مقادیر متفاوتی از کیتوسان ۱ g/l - ۰,۲۵ g/l برای هر یک از دو رنگزای مستقیم آبی ۷۸ و اسید مشکی ۲۶ و همچنین مخلوط این دو رنگزا استفاده گردید. بعد از تعادل نمونه‌ها سانتریفیوژ و غلظت رنگزا در محلول ارزیابی شد. نمودار درصد رنگزای حذف شده در مقابل زمان در مقادیر متفاوت جاذب برای رنگزای اسید مشکی ۲۶ در سیستم‌های یک جزئی و دو جزئی در شکل ۳ و برای رنگزای مستقیم آبی ۷۸ در شکل ۴ ارائه شده است.

#### ۲-۲- روش کار

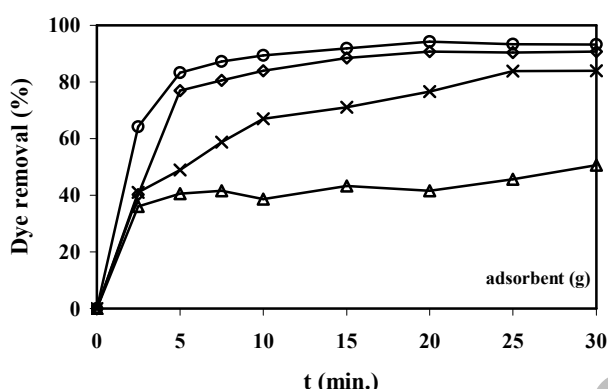
در ابتدا کیتوسان برای تهیه جاذب با اندازه ذرات مورد نیاز و کمتر از  $300 \mu m$  الک گردید. اندازه‌گیری‌های جذب با مخلوط کردن مقادیر متفاوتی از کیتوسان به میزان ۱-۰,۲۵ g در ۲۰۰ ml از پساب‌های رنگی هر دو رنگزای مستقیم آبی و اسید مشکی در سیستم‌های یک جزئی و مخلوط دو رنگزا ۵۰ mg/l در سیستم‌های دو جزئی و در pH اولیه مختلف (۲,۴،۵,۸،۱۰) انجام گرفت. اندازه‌گیری pH توسط pH متر (Metrohm) انجام و با اضافه کردن مقدار بسیار کمی سود و اسید سولفوریک (ساخت شرکت مرک آلمان) تنظیم شد. تغییرات جذب در فواصل زمانی متفاوت در حین فرآیند جذب تعیین گردید، در فواصل زمانی مشخص نمونه‌ها جمع‌آوری، سانتریفیوژ و غلظت رنگزا در پساب تعیین گردید. اسپکتروفوتومتر فرابنفش - مرئی CECIL 9200 برای اندازه‌گیری میزان رنگبری استفاده گردید. طول موج بیشینه ( $\lambda_{max}$ ) برای رنگزای مستقیم آبی ۷۸ و اسید مشکی ۲۶ به ترتیب ۵۹۸ و ۵۵۵ نانومتر می‌باشد. برای ارزیابی خصوصیات سطحی کیتوسان قبل و بعد از فرآیند رنگبری از دستگاه تبدیل فوریه زیر قرمز پراکین المر مدل Spectrum one در محدوده ۴۰۰-۴۵۰ استفاده شد. برای



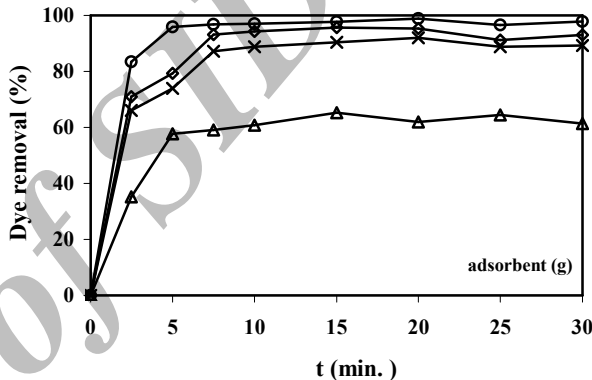
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۴: تأثیر مقدار جاذب و زمان تماس بر حذف رنگزای مستقیم آبی ۷۸ با استفاده از کیتوسان (۲۰۰ ml محلول، ۵۰ mg/l غلظت اولیه رنگزا، pH=۲ دمای ۲۵ °C و سرعت همزن ۲۰۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه) (الف) سیستم یک جزئی و (ب) سیستم دو جزئی.

شکل ۳: تأثیر مقدار جاذب و زمان تماس بر حذف رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ با استفاده از کیتوسان (۲۰۰ ml محلول، ۵۰ mg/l غلظت اولیه رنگزا، pH=۲ دمای ۲۵ °C و سرعت همزن ۲۰۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه) (الف) سیستم یک جزئی و (ب) سیستم دو جزئی.

### ۳-۱-۲- تأثیر pH

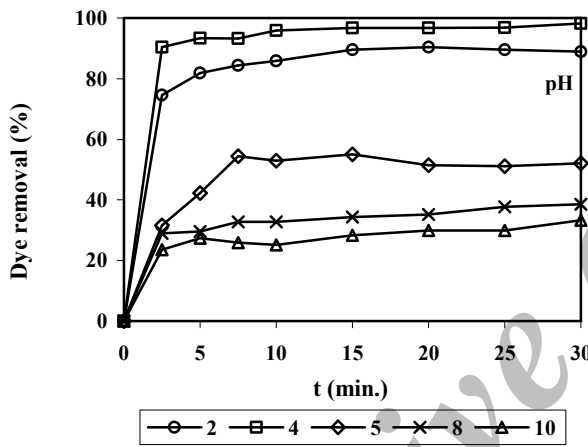
pH محلول رنگزا، در کل فرآیند و ظرفیت جذب، نقش مهمی دارد و نه تنها بار سطحی جاذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه درجه یونیزاسیون مواد موجود در محلول و تفکیک گروه‌های عاملی روی مکان‌های فعال جاذب را هم متأثر می‌کند و همچنین شیمی محلول را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. جذب رنگزای آنیونی روی کیتوسان توسط اسیدی کردن محلول کنترل می‌گردد. کیتوسان در محیط اسیدی پروتونه می‌شود و گروه‌های عاملی کاتیونی زیادی در سطح آن تولید می‌گردد در نتیجه برهم‌کنش الکترواستاتیکی بین کیتوسان و رنگزای آنیونی که به صورت منفی باردار شده‌اند را آسان می‌کند. بنابراین فرآیند جذب به pH حساس است. کاهش pH سبب می‌شود، پروتون‌های بیشتری برای پروتونه کردن گروه آمین کیتوسان در

نتایج نشان می‌دهد که مقدار قابل توجهی از رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ توسط ۵ g/l جاذب در سیستم‌های یک جزئی و دو جزئی حذف شده است. در نتیجه ۵ g/l کیتوسان، مقدار بهینه جاذب می‌باشد. همچنین برای رنگزای مستقیم آبی ۷۸ نیز مقدار ۵ g/l جاذب در هر دو سیستم یک جزئی و دو جزئی مقدار بهینه است. برای ادامه بررسی فرآیندهای رنگبری، مقدار بهینه جاذب مورد استفاده قرار گرفت. با افزایش مقدار جاذب، میزان رنگبری افزایش می‌یابد که به علت افزایش سطح جاذب و میزان دسترسی بیشتر به مکان‌های جذب است. به طور کلی ظرفیت جذب با زمان افزایش می‌یابد و در یک زمان مشخص به مقدار ثابتی می‌رسد و هیچ مولکول رنگزایی از محلول حذف نمی‌گردد. در این لحظه مقدار رنگزای جذب شده با مقدار رنگزای واجذب شده در حالت تعادل دینامیکی قرار دارد.

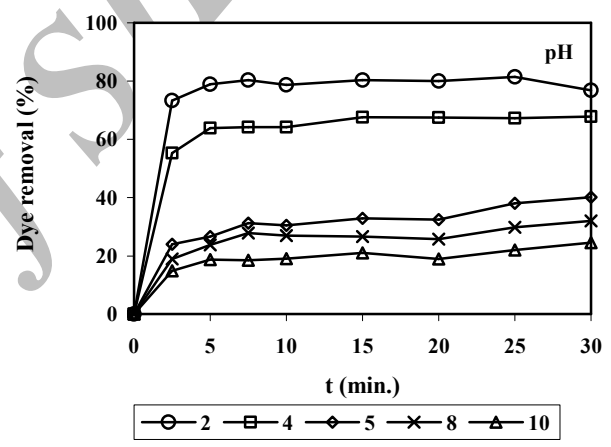
در این تحقیق مقدار pH بهینه برای رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ در هر دو سیستم یک جزئی و دو جزئی برابر با ۲ می‌باشد در حالی که برای رنگزای مستقیم آبی ۷۸، مقدار pH بهینه در سیستم یک جزئی برابر با ۴ و در سیستم دوجزئی برابر با ۲ می‌باشد. با مقایسه نتایج حاصل شده مشاهده می‌گردد که در  $pH = 2$ ، رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ در سیستم دوجزئی نسبت به یک جزئی افزایش جذب داشته است (۱۰٪) در حالی که رنگزای مستقیم آبی ۷۸ میزان جذب در دوجزئی کمتر از یک جزئی است. در  $pH = 4$ ، برای رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ میزان جذب در هر دو سیستم یک و دو جزئی تغییر زیادی نکرده است (از ۶۷٪ به ۶۹٪) در حالی که برای رنگزای مستقیم آبی ۷۸ کاهش شدیدی در سیستم‌های دوجزئی نسبت به یک جزئی مشاهده می‌گردد (۹۸٪ به ۲۷٪) که می‌توان علت را چنین بیان کرد،

دسترس باشد که به علت تشکیل تعداد آمین‌های کاتیونی زیاد است. این نتایج بخاطر برهم‌کنش الکترواستاتیکی، جذب رنگزا توسط کیتوسان را افزایش می‌دهد [۳۴].

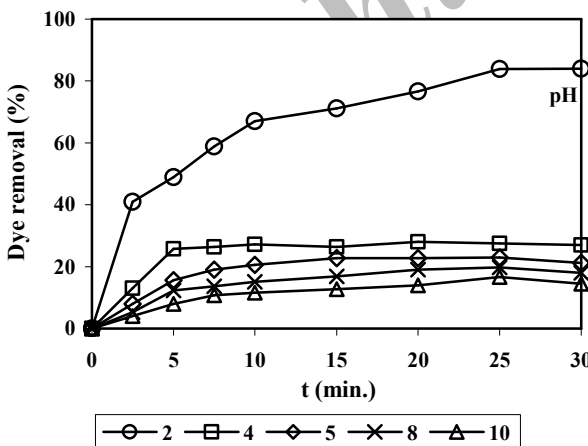
شکل ۵ تأثیر pH را بر بازده رنگبری رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ در هر دو سیستم یک جزئی و دو جزئی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد میزان رنگزای حذف شده در سیستم یک جزئی در مقادیر مختلف pH (۲، ۴، ۵، ۸، ۱۰) به ترتیب ۲۴، ۳۴، ۸۴، ۴۰، ۱۴، ۶۷، ۸۶، ۷۶، ۹ بوده است. ظرفیت جذب با کاهش مقدار pH افزایش می‌یابد. در pH اسیدی، جاذبه الکترواستاتیکی بالا و قابل توجهی بین سطح با بار مثبت جاذب و مولکول‌های رنگزای آنیونی با بار منفی وجود دارد. زمانی که pH کاهش می‌یابد، تعداد مکان‌های با بار مثبت افزایش می‌یابد. مکان‌های دارای بار مثبت به دلیل جاذبه الکترواستاتیکی تمایل به جذب رنگزای آنیونی دارند.



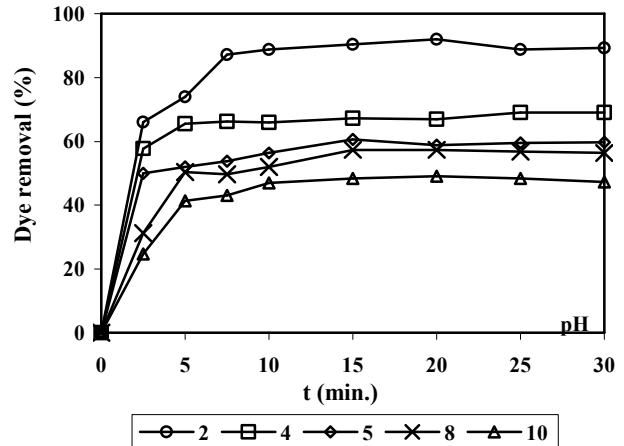
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۶: تأثیر pH بر حذف رنگزای مستقیم آبی ۷۸ با استفاده از کیتوسان (۲۰۰ ml محلول، ۵۰ mg/l غلظت اولیه رنگزا، ۰٫۵ g/l کیتوسان، دمای ۲۵ °C و سرعت همزن ۲۰۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه) در (الف) سیستم یک جزئی و (ب) سیستم دو جزئی.

شکل ۵: تأثیر pH بر حذف رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ با استفاده از کیتوسان (۲۰۰ ml محلول، ۵۰ mg/l غلظت اولیه رنگزا، ۰٫۵ g/l کیتوسان، دمای ۲۵ °C و سرعت همزن ۲۰۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه) در (الف) سیستم یک جزئی و (ب) سیستم دو جزئی.

۷۸، از میزان شدت پیک مربوط به کشش پیوندهای O-H و N-H در  $3377,30 \text{ cm}^{-1}$  کاسته شده است.

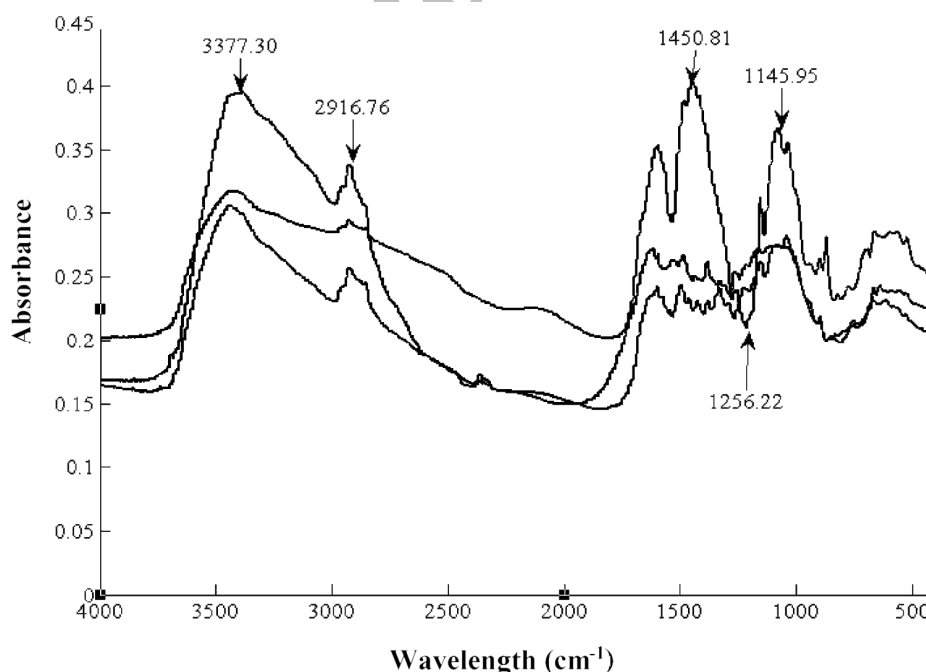
### ۳-۳- بررسی ریخت‌شناسی سطح جاذب

میکروسکوپ الکترونی پویشی وسیله‌ای مناسب برای بررسی ریخت‌شناسی و شکل ظاهری جاذب می‌باشد. این دستگاه برای تعیین شکل ذره، تخلخل و توزیع اندازه ذره مفید است. ساختار شیمیایی مولکول رنگزا (بار یونی و شیمی مولکول رنگزا و ویژگی‌های ذاتی جاذب (بلورینگی، تخلخل، سختی زنجیره‌های پلیمر) ظرفیت جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق برای بررسی ریخت‌شناسی سطح کیتوسان تصاویر میکروسکوپی قبل و بعد از فرآیند رنگبری رنگزای اسیدی مشکی ۲۶، مستقیم آبی ۷۸ و مخلوط دو رنگزا تهیه شد (شکل ۸). شکل ۸-الف نشان می‌دهد که کیتوسان دارای ساختار نسبتاً خلل و فرج‌داری می‌باشد که یکی از دلایل قابلیت رنگبری این پلیمر است. شکل ۸-ب، نشان می‌دهد که کیتوسان فرآیند رنگبری رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ را با بازده خوبی انجام داده است زیرا ساختار نسبتاً متخلخل کیتوسان با مولکول‌های رنگزا پوشانده شده است. در مورد شکل ۸ (ج و د) هم نتایج مشابه برای رنگزای اسید مشکی ۲۶ قابل مشاهده است و نشان می‌دهد، کیتوسان قابلیت رنگبری خوبی برای هر دو رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ و مستقیم آبی ۷۸ و مخلوط آنها دارد.

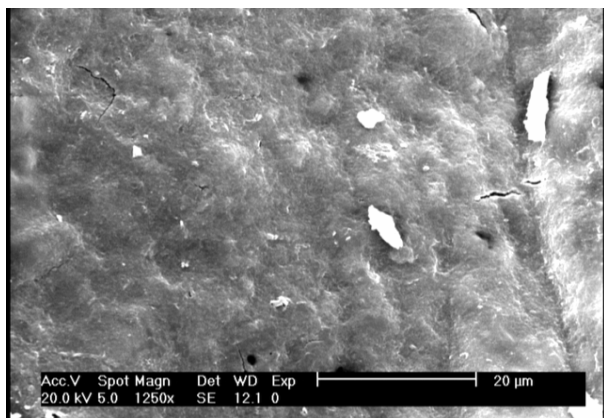
در جایی که جذب مخلوطی از جذب شونده‌ها بر روی سطح انجام می‌شود، جذب شدن رقابتی اتفاق می‌افتد. جذب بعضی از ترکیبات در پساب امکان دارد جذب ترکیبات دیگر را تحت تأثیر قرار دهد و چندین رنگزا در یک محلول برای مکان‌های در دسترس با یکدیگر رقابت کنند. رنگزایی که پتانسیل یونی خیلی بالایی دارند در ابتدا جذب می‌شوند و اگر مکان‌های جاذب هنوز اشباع نشده باشند رنگزایی که دارای پتانسیل یونی کمتری هستند، جذب می‌شوند [۹] که با توجه به ساختار و وزن مولکولی بالاتر رنگزای مستقیم آبی ۷۸ نسبت به رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ این نتایج قابل قبول است.

### ۳-۲- برهم‌کنش جاذب و جذب شونده

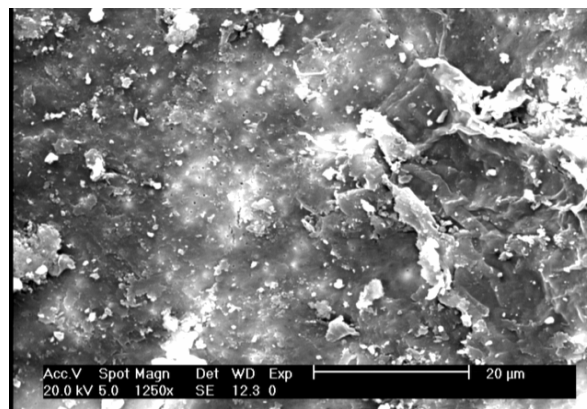
شکل ۷ طیف FTIR کیتوسان را قبل و بعد از جذب رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ و مستقیم آبی ۷۸ نشان می‌دهد که در شکل پیک‌های  $3377,30$ ،  $2916,76$ ،  $1450,81$ ،  $1256,22$ ،  $1145,95$  و  $1145,95 \text{ cm}^{-1}$  قابل توجه می‌باشند. پیک  $3377,30 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به کشش پیوندهای O-H و N-H می‌باشد. در حالی که پیک  $2916,76 \text{ cm}^{-1}$  بیانگر کشش نامتقارن C-H است. پیک  $1450,81 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از خمش N-H می‌باشد در حالی که پیک  $1256,22$  و  $1145,95 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از کشش C-O و C-N است [۳۵]. مطالعات FTIR نشان می‌دهد که کیتوسان دارای گروه‌های عاملی متفاوتی مانند آمین و هیدروکسیل می‌باشد که تحت تأثیر pH محیط قرار می‌گیرد. با توجه به طیف، مشاهده می‌گردد که بعد از جذب رنگزای اسید مشکی ۲۶ و مستقیم آبی



شکل ۷: طیف تبدیل فوریه زیر قرمز (FTIR)، (الف) کیتوسان قبل از جذب رنگزا، (ب) بعد از جذب رنگزای مستقیم آبی ۷۸ و (ج) بعد از جذب رنگزای اسید مشکی ۲۶.

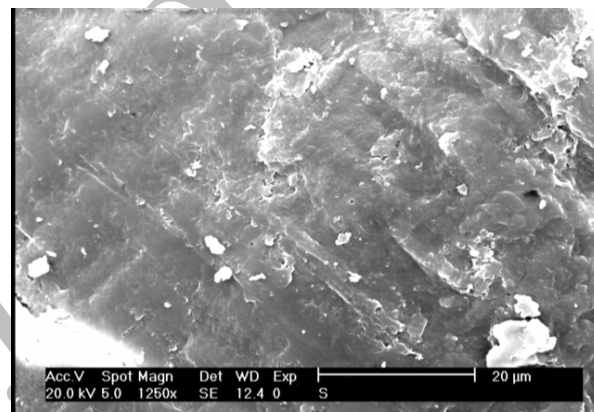


(د)



(الف)

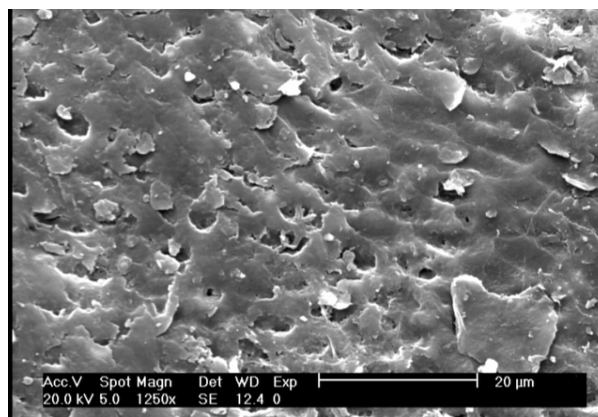
شکل ۸: تصاویر میکروسکوپ الکترونی کیتوسان، (الف) قبل از فرآیند رنگبری، (ب) بعد از فرآیند رنگبری مستقیم آبی ۷۸، (ج) بعد از فرآیند رنگبری اسیدی مشکی ۲۶ (د) بعد از فرآیند رنگبری مخلوط دو رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ و مستقیم آبی ۷۸.



(ب)

#### ۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان می‌دهد که کیتوسان یک جاذب مؤثر برای حذف هر دو رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ و مستقیم آبی ۷۸ و مخلوط دو رنگزای مذکور (سیستم‌های یک جزئی و دو جزئی) از پساب‌های رنگی نساجی می‌باشد.  $0.5 \text{ g/l}$  کیتوسان به عنوان مقدار بهینه جاذب در شرایط  $20 \text{ ml}$  محلول،  $50 \text{ mg/l}$  غلظت اولیه رنگزا،  $\text{pH} = 2$ ، دمای  $25^\circ \text{C}$  و سرعت همزن  $200 \text{ rpm}$  به مدت  $30$  دقیقه در هر دو سیستم یک جزئی و دو جزئی برای هر دو رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ و مستقیم آبی ۷۸ در نظر گرفته شد. مقدار  $\text{pH}$  بهینه برای رنگزای اسیدی مشکی ۲۶ در هر دو سیستم یک جزئی و دو جزئی برابر با  $2$  می‌باشد در حالی که برای رنگزای مستقیم آبی ۷۸، مقدار  $\text{pH}$  بهینه در سیستم یک جزئی برابر با  $4$  و در سیستم دو جزئی برابر با  $2$  می‌باشد. کاهش شدت پیک طیف FTIR بعد از جذب رنگزا نشان‌دهنده این است که رنگزا توسط کیتوسان جذب گردیده است. در آزمایشات SEM نیز کاهش خلل و فرج سطح کیتوسان نشان‌دهنده جذب رنگزا بر روی کیتوسان است.



(ج)

#### ۵- مراجع

1. M. Ali, T. R. Sreekrishnan, Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: A review. *Adv Environ Res.* 5(2001), 175-96.
2. T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant, P. Nigam. Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresour Technol.* 7(2001), 247-55.
3. N. M. Mahmoodi, K. H. Rayat-Tari, S. Borhany, M. Arami, F. Nourmohammadian, Decolorization of colored wastewater containing azo acid dye using photo-fenton process: operational parameters and a comparative study. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 31-40.
4. A. R. Tehrani-Bagha, N. M. Mahmoodi, M. Arami, Study of the effective parameters on decolorization of C.I.



- reactive black 5 wastewater by ozonation. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 67-75.
5. M. Amini, M. Arami, A. Akbari, N. M. Mahmoodi, Preparation of nanofiltration membranes via uv photografting technique for separation of acid dyes at different ph values. *J. Color Sci. Tech.* 2(2009), 237- 247.
  6. S. Khorramfar, N. M. Mahmoodi, M. Arami, K. Gharanjig. Dye Removal from Colored Textile Wastewater Using Tamarindus Indica Hull: Isotherm and Kinetics Study. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 81-88.
  7. A. R. Tehrani-Bagha, N. M. Mahmoodi, M. Markazi, E. Talaei. Removal of a Cationic Dye from Wastewater by Low-cost Kaolin. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 145-155.
  8. M. Rinaudo. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Prog Polym Sci.* 31(2006), 603-32.
  9. G. Crini, P. M. Badot. 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(2008), 399-447.
  10. J. Synowiecki, N. A. Al-Khateeb, Production, properties, and some new applications of chitin and its derivatives. *Crit. Rev. Food Sci. Nutrition.* 43(2003), 145-71.
  11. M. N. V. R. Kumar, A review of chitin and chitosan applications. *React. Funct. Polym.* 46(2000), 1-27.
  12. M. H. Struszczyk, Chitin and chitosan-part I. Properties and production. *Polimery.* 47(2002), 316-25.
  13. E. Agullo, M. S. Rodriguez, V. Ramos, L. Albertengo, Present and future role of chitin and chitosan in food. *Macromol Biosci.* 3(2003), 521-30.
  14. M. G. Peter, Application and environmental aspects of chitin and chitosan. *J. M. S. Pure Appl. Chem.* 32(1995), 629-40.
  15. H. K. No, S. P. Meyers, Application of chitosan for treatment of wastewaters. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 163(2000), 1-28.
  16. W. P. Cheng, F. H. Chi, R. F. Yu, YC. Lee, Using chitosan as a coagulant in recovery of organic matters from the mash and lauter wastewater of brewery. *J. Polym. Environ.* 13(2005), 383-388
  17. G. V. Franks, Stimulant sensitive flocculation and consolidation for improved solid/liquid separation. *J. Colloid Interface Sci.* 292(2005), 598-603.
  18. A. J. Varma, S. V. Deshpande, J. F. Kennedy, Metal complexation by chitosan and its derivatives: A review. *Carbohydr Polym.* 55(2004), 77-93.
  19. R. Cestari, E. F. S. Vieira, A. G. P. dos Santos, J. A. Mota, V. P. de Almeida, Adsorption of anionic dyes on chitosan beads. 1. The influence of the chemical structures of dyes and temperature on the adsorption kinetics. *J. Colloid Interface Sci.* 280 (2004), 380-386.
  20. G. Annadurai, L. Y. Ling, J. F. Lee, Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: Isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. *J. Hazard. Mater.* 152(2008), 337-346.
  21. G. Crini, F. Gimbert, C. Robert, B. Martel, O. Adam, N. M. Crini, F. D. Giorgi, P. M. Badot, The removal of Basic Blue 3 from aqueous solutions by chitosan-based adsorbent: Batch studies. *J. Hazard. Mater.* 153(2008), 96-106.
  22. A. Szyguła, E. Guibal, M. Ruiz, A. M. Sastre, The removal of sulphonated azo-dyes by coagulation with chitosan. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects .* 330(2008), 219-226.
  23. Z. G. Hu, J. Zhang, W. L. Chan, Y. S. Szeto, The sorption of acid dye onto chitosan nanoparticles. *Polymer.* 47(2006), 5838-5842.
  24. I. Uzun. Kinetics of the adsorption of reactive dyes by chitosan. *Dyes Pigm.* 70(2006), 76-83.
  25. W. A. Morais, A. L. P. de Almeida, M. R. Pereira, J. L. C. Fonseca, Equilibrium and kinetic analysis of methyl orange sorption on chitosan spheres. *Carbohydrate Res.* 343(2008), 2489-2493.
  26. M. S. Chiou, H. Y. Li, Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of reactive dye on cross-linked chitosan beads. *J. Hazard. Mater.* 93(2002), 233-248.
  27. Y. C. Wong, Y. S. Szeto, W. H. Cheung, G. McKay, Adsorption of acid dyes on chitosan-equilibrium isotherm analyses. *Process Biochem.* 39(2004), 693-702.
  28. J. S. Piccin, M. L. G. Vieira, J. O. Gonçalves, G. L. Dotto, L. A. A. Pinto, Adsorption of FD&C Red No. 40 by chitosan: Isotherms analysis. *J. Food Eng.* 95(2009), 16-20.
  29. M. Hasan, A. L. Ahmad, B. H. Hameed, Adsorption of reactive dye onto cross-linked chitosan/oil palm ash composite beads. *Chem. Eng. J.* 136(2008), 164-172.
  30. N. Sakkayawong, P. Thiravetyan, W. Nakbanpote. Adsorption mechanism of synthetic reactive dye wastewater by chitosan. *J. Colloid Interface Sci.* 286 (2005), 36-42.
  31. S. Chatterjee, B. P. Chatterjee, A. R. Das, A. K. Guha. Adsorption of a model anionic dye, eosin Y, from aqueous solution by chitosan hydrobeads. *J. Colloid Interface Sci.* 288(2005), 30-35.
  32. M. S. Chiou, H. Y. Li, Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. *Chemosphere.* 50(2003), 1095-1105.
  33. E. R. Alley, Water quality control handbook. McGraw Hill Pub., (2000).
  34. E. Guibal. Heterogeneous catalysis on chitosan-based materials: A review. *Prog. Polym. Sci.* 30(2005), 71-109.
  35. D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kaiz, Introduction to spectroscopy: A guide for students of organic chemistry. W. B. Saunders Company, (1987).