

## استفاده از نانو جاذب مزوپوروس کربنی CMK-3 برای تصفیه پساب رنگ Janus Green B

علیرضا جعفرقلی نژاد<sup>۱</sup>، لیلا ترکیان<sup>۲</sup> و مریم دقیقی اصلی<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، گروه شیمی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار شیمی کاربردی، گروه شیمی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار شیمی معدنی، گروه شیمی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: دی ۱۳۹۱، بازنگری اول: اسفند ۱۳۹۱، بازنگری دوم: اردیبهشت ۱۳۹۲، پذیرش: خرداد ۱۳۹۲

**چکیده:** یکی از روش‌های متداول برای حذف آلاینده‌های آب و پساب استفاده از فرایند جذب سطحی به‌وسیله جاذب‌هاست. در این پژوهش جاذب مزوپوروس کربنی CMK-3 که یک جاذب شناخته شده و به نسبت جدید است در فرایند حذف رنگ آزوی کاتیونی Janus Green B استفاده شده است. جاذب CMK-3 به‌وسیله روش قالب‌گیری سخت از پیش‌ماده سیلیکاتی SBA-15 تهیه شده و با روش پراش پرتو X (XRD)، جذب-واحد جذب نیتروژن و همچنین تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و تجزیه عنصری (EDX) شناسایی و تأیید شد. عوامل مؤثر در انجام فرایند حذف از جمله اثر زمان تماس جاذب با محلول رنگ، pH، غلظت ابتدایی رنگ، غلظت الکترولیت و دما مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها نشان داد که جاذب در زمانی حدود ۱ ساعت با رنگ به تعادل می‌رسد و حذف رنگ در محلول بازی بهتر صورت می‌گیرد. همچنین فرایند جذب با افزایش غلظت ابتدایی رنگ و غلظت نمک افزایش پیدا کرد. اما با افزایش دما مقدار حذف رنگ کاهش می‌یابد این نتیجه گرمازا و خود به خودی بودن فرایند را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** جذب سطحی، نانوجاذب مزوپوروس کربنی CMK-3، تصفیه پساب‌های نساجی، حذف رنگ آزوکاتیونی Janus Green B

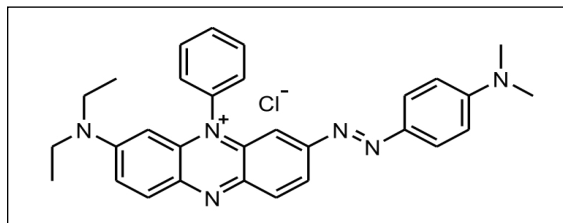
### مقدمه

ارایه شیوه‌های مناسب در مدیریت آب است [۲]. احیای کارآمد پساب‌ها و استفاده مجدد از فاضلاب به‌عنوان یک عنصر مهم در مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود [۳]. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تصفیه پساب به‌عنوان آب شیرین آلوده، به مراتب ارزان‌تر از شیرین‌سازی آب شور است [۴]. افزون‌بر آن تصفیه پساب از آلوده شدن ذخایر اندک آب موجود نیز پیشگیری می‌کند [۵]. پساب‌های صنعتی آلودگی‌های بسیار متنوعی را ایجاد می‌کنند به نحوی که نه تنها از یک صنعت به صنعت دیگر بلکه از یک فرایند در یک صنعت به فرایند دیگر در همان صنعت متفاوت هستند [۶]. از میان

با افزایش سریع جمعیت و توسعه اقتصادی، برای پاسخ‌گویی به تقاضای فزاینده آبیاری، صنعت و غذا و به منظور تأمین استانداردهای بالاتر در زندگی مردم، آب مورد نیاز است [۱]. افزون‌بر آن کمبود آب در حال حاضر یکی از بزرگترین نگرانی‌های انسان در سرتاسر جهان است. افزایش فشار در استفاده از منابع آب، منجر به کاهش شدید آن شده است، به‌طوری که تخمین زده می‌شود با ادامه روند موجود در سال ۲۰۱۵، دو میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم دسترسی نخواهند داشت و این امر تأکید بر لزوم

به‌عنوان کاتالیست و فوتو کاتالیست، به‌عنوان بستر در ستون کروماتوگرافی، رساننده‌های کنترل شده دارو و یا غشاهای جداسازی گاز و مایع نامبرد [۹]. از میان مواد مزوپور، جاذب نانو ساختار کربن مزوپور CMK-3 با سطح ویژه بالا، ساختار منافذ کنترل شده، حجم حفره‌های بالا، توزیع اندازه منافذ باریک و قطر منفذهای تنظیم‌پذیر [۱۰] به‌عنوان کاندیدای خوبی برای جذب مواد آلاینده به‌شمار می‌رود.

در پژوهش حاضر از جاذب نانو ساختار CMK-3 به‌عنوان یک جاذب در حذف رنگ Janus Green B با نام آیوپاک (8-(4-Dimethylaminophenyl)diazenyl-N,N-diethyl-) استفاده شد. همچنین عوامل مؤثر در انجام فرایند حذف از جمله اثر زمان تماس جاذب با محلول رنگ، pH، غلظت ابتدایی رنگ، غلظت الکترولیت و دما نیز مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱ ساختار رنگ آزوی کاتیونی Janus Green B با فرمول شیمیایی  $C_{30}H_{31}ClN_6$

### بخش تجربی

#### مواد و روش‌ها

کوپلیمر (پلی اتیلن گلیکول- پروپیلن گلیکول - پلی اتیلن گلیکول)<sup>۲</sup> با وزن مولکولی ۵۸۰۰ که به P123 معروف است از شرکت سیگما آلدریج خریداری شد. تترااتیل ارتو سیلیکات (TEOS,  $Si(OCH_2CH_3)_4$ )، ساکارز، سدیم کلراید، سدیم هیدروکسید، هیدرو کلریک اسید و اتانول هم از شرکت مرک خریداری شدند. در ضمن رنگ Janus Green B نیز با وزن مولکولی  $511.06 \text{ g/mol}$  از شرکت سیگما آلدریج تهیه شد.

انواع آلاینده‌ها یکی از موادی که به شدت موجب آلودگی محیط زیست می‌شود رنگ‌ها هستند. سالانه بیش از ۰.۷ میلیون تن انواع رنگ‌های مصنوعی (بیش از ۱۰،۰۰۰ رنگ متفاوت و رنگدانه) در سراسر جهان تولید می‌شوند. به گفته پژوهشگران حدود ۱۵٪ از رنگ‌هایی که در فرایند رنگ آمیزی مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌عنوان باقی‌مانده در فاضلاب باقی می‌مانند [۷].

رنگ‌های سنتزی به‌طور گسترده در صنایعی هم‌چون نساجی، چرم‌سازی، کاغذ، چاپ و رنگ استفاده می‌شود. دفع پساب این صنایع به آب‌ها موجب آسیب‌های جبران ناپذیری به محیط‌زیست می‌شود. برای مثال، با ورود این رنگ‌ها به آب به‌طور قابل توجهی عمل فتوسنتز و زندگی آبزیان در نتیجه کاهش نفوذ نور به خطر می‌افتد، همچنین این رنگ‌ها حاوی فلزها، کلریدها و دیگر مواد هستند که حتی در غلظت‌های بسیار پایین رنگ (کمتر از  $1 \text{ mg/l}$ ) سمی هستند. در سال‌های اخیر حذف رنگ از پساب صنایع اهمیت بالایی پیدا کرده و پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است. این پژوهش‌ها شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی (انعقادسازی/ لخته‌سازی، جذب سطحی، اکسایش، جداسازی به‌وسیله غشا) و یا زیستی (زیست تخریب‌پذیر با استفاده از باکتری) بوده است [۸]. بسیاری از این فن‌ها برای حذف رنگ از فاضلاب مؤثر هستند، اما استفاده از آن‌ها بسیار پر هزینه است و نیاز به فناوری پیشرفته‌ای دارد. در صورتی که فرایند جذب با توجه به طراحی ساده و کم هزینه به همراه با بهره‌وری بالا روش مناسبی در حذف مواد رنگی، رنگدانه‌ها و مواد شیمیایی دیگر از فاضلاب است [۷].

با این وجود، بسیاری از این جاذب‌ها یا ظرفیت قابل توجهی از آلاینده را جذب نمی‌کنند و یا نیاز به زمان تماس طولانی برای جذب دارند، که از چند ساعت تا چند روز متغیر است. در نتیجه پژوهش‌های بسیاری در توسعه جذب‌کننده‌های سطحی مؤثر با توانایی جذب بالا در زمان تماس کوتاه‌تر برای حذف آلاینده‌ها انجام شد و مواد مزوپور<sup>۱</sup> (متخلخل) که اندازه منافذ آن‌ها از ۲ تا ۵۰ نانومتر متغیر است، به‌عنوان جاذب با کاربردهای گسترده‌ای معرفی شدند. از جمله کاربردهای این مواد می‌توان

1. Mesoporous

2.  $EO_{20}PO_{70}EO_{20}$ , EO = ethylene oxide, PO = propylene oxide

و منبع تابش آلیاژ مسی (nm ۰٫۱۵۴۱۷۸) در بازه  $\theta$  ۲ تا ۰٫۵ تا ۱۰ با گام‌های ۰٫۰۲ بررسی شد. مطالعه ویژگی‌های جاذب با استفاده از دستگاه جذب- واجذب نیتروژن در دمای ۷۷ K انجام شد. همچنین محاسبه سطح ویژه با استفاده از روش BET<sup>۱</sup> و اندازه و حجم حفره‌ها با استفاده از رابطه BJH<sup>۲</sup> صورت گرفت. از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM با مدل VEGA\TESCAN(LMU) همراه EDX توده‌ای برای به‌دست آوردن اندازه و ترکیب درصد نمونه استفاده شد [۱۳].

#### بررسی جذب سطحی<sup>۴</sup>

در این پژوهش برای بررسی جذب رنگ Janus Green B با استفاده از جاذب نانو ساختار CMK-3 آزمایش‌های اثر زمان تماس جاذب با محلول رنگ، pH، غلظت ابتدایی رنگ، غلظت الکترولیت و دما، در سامانه ناپیوسته طراحی و انجام شد. در تمامی آزمایش‌های انجام شده به جز غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم جاذب نانو ساختار CMK-3 به ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ Janus Green B افزوده شد، لازم به ذکر است که این غلظت بسیار بیشتر از حد واقعی غلظت آن در صنعت در نظر گرفته می‌شود تا میزان قابلیت عملکرد صحیح جاذب از هر نظر مورد بررسی قرار گیرد. پس از انجام عمل مجاورت با استفاده از هم‌زن مغناطیسی با زمان بندی از پیش تعیین شده و با سرعت ملایم فاز جامد محلول‌ها از فاز مایع با استفاده از سانتریفیوژ جدا شد، در برخی از محلول‌ها فرایند رقیق‌سازی صورت گرفت تا در گستره پاسخدهی دستگاه طیف‌سنجی فرابنفش- زیر قرمز قرار گیرد. در آخر فرایند تجزیه نمونه‌ها با دستگاه طیف‌سنجی فرابنفش- زیر قرمز مدل UVIKON923 در طول موج  $\lambda_{max}$  رنگ (یعنی در حدود ۶۶۰ nm) انجام گرفت.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (1)$$

مقدار جذب سطحی رنگ ( $q_e$ ) توسط جاذب از رابطه ۱ به‌دست می‌آید. که در آن، ( $C_0$ ) غلظت اولیه و ( $C_e$ ) غلظت رنگ باقی‌مانده در محلول به‌دست آمده از جذب سطحی با واحد (mg/g) هستند.

#### سنتز SBA-15

جهت سنتز ماده مزوپوروس SBA-15 ابتدا ۲ g از ماده P123 را در ۷۵ ml کلریدریک اسید ۲ مولار در دمای ۴۰ °C حل کرده و پس از این که P123 به خوبی در محلول اسیدی حل شد، ۴٫۱۶ میلی‌لیتر از تترا اتیل ارتو سیلیکات قطره قطره به محلول تحت هم زدن شدید، افزوده شد. محلول به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ °C هم زده و پس از آن محلول به مدت ۴۸ ساعت در ظرف اتوکلاو تفلونی و در دمای ۱۰۰ °C قرار داده شد. در آخر رسوب سفید رنگ تشکیل شده از فرایند فوق پس از شست‌وشو و خشک کردن در دمای ۵۵۰ °C به مدت ۶ ساعت کلسینه شد [۱۱].

#### سنتز CMK-3

ترکیب کربنی CMK-3 از روش قالب‌گیری سخت به‌وسیله ماده سیلیکاتی نانو ساختار به‌عنوان قالب و ساکارز به‌عنوان پیش ماده کربنی تهیه شد. در این روش ۱٫۲۵ g از ساکارز و ۰٫۱۴ g از  $H_2SO_4$  در ۵ ml آب حل شده و ۱ g از SBA-15 به آن افزوده شد و به مدت ۶ ساعت تحت حرارت ۱۰۰ °C قرار گرفت. در ادامه ماده به‌دست آمده در دمای ۱۶۰ °C به مدت ۶ ساعت گرما داده شد. در مرحله بعد جامد به‌دست آمده با محلول حاوی ۰٫۸ g از ساکارز و ۰٫۹ g از سولفوریک اسید و ۵ ml آب مجاور شد و به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۶۰ °C قرار گرفت تا فرایند نفوذ ساکارز به داخل منافذهای سیلیکای قالب و پلیمری شدن و کربونیزه شدن به‌طور کامل انجام شود. ترکیب به‌دست آمده برای کربونیزه شدن کامل تحت اتمسفر نیتروژن در دمای ۹۰۰ °C حرارت داده شد. سپس با حل کردن سیلیکا به‌وسیله محلول ۴ مولار از سود و شست‌وشو با اتانول و خشک کردن در دمای ۱۲۰ °C به مدت ۴ ساعت، ترکیب مزوپور کربن به‌دست آمد [۱۲].

#### بررسی ویژگی‌های جاذب

نخست ساختار ماده مزوپور با XRD (low angle) به‌وسیله دستگاه پراش پرتو X (XRD) مدل STOE در دمای اتاق

1. X-ray powder diffraction

2. Brunauer-Emmet and Teller

3. Barrett-Joyner-Halenda

4. Adsorption

۰٫۹ مربوط به جذب سطحی چندلایه بر روی سطح بیرونی ذره‌ها است. با توجه به نمودار BJH توزیع اندازه ذره‌ها بیشترین تعداد بین ۱٫۲ تا ۲٫۱ نانومتر است. نتیجه‌های به‌دست آمده از نمودارهای شکل ۲ در جدول شماره ۱ آورده شده است [۱۴ و ۱۵].

هم‌چنین (V) حجم محلول رنگ برحسب لیتر (L) است و (W) وزن جاذب برحسب گرم (g) است [۱۴].

## نتیجه‌ها و بحث

### شناسایی جاذب

#### هم‌دمای جذب- واجذب نیتروژن

هم‌دمای جذب- واجذب CMK-3 در شکل ۲ نشان داده شده است. ایزوترم به نمایش گذاشته شده تطابق خوبی با هم‌دمای نوع IV با توجه به طبقه‌بندی IUPAC از خود نشان می‌دهد، که مبنی بر مزوپور بودن ترکیب نانو ساختار CMK-3 است. فشار نسبی در قسمت کمتر از ۰٫۴ جذب تک لایه نیتروژن در دیواره‌های کربن مزوپور را نشان می‌دهد، در قسمت بین ۰٫۴ تا ۰٫۹ با توجه به شیب تند و صعودی نمودار جذب با شدت زیاد اتفاق افتاده که به دلیل تراکم مویرگی داخل کربن مزوپور است، قسمت بالای

#### الگوی پراش پرتو X

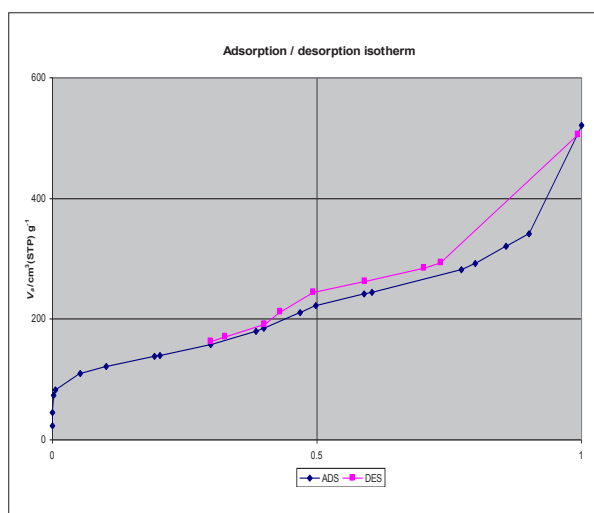
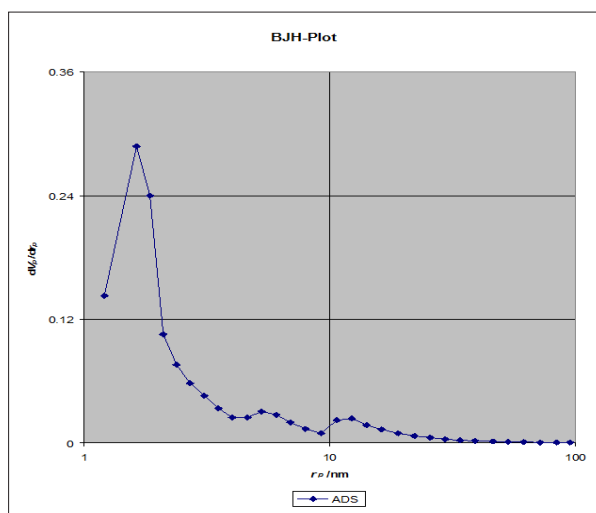
شکل ۳ الگوی پراش پرتو X ماده کربنی CMK-3 سنتز شده را نشان می‌دهد. این الگو با الگوی ارایه شده در منابع علمی دیگر [۱۶ و ۱۷] مطابقت می‌کند. باید خاطر نشان کرد که CMK-3 از روی قالب SBA-15 و به روش قالب‌گیری سخت ساخته شده است و تمامی طیف‌ها و همین‌طور پیکربندی ساختار این دو ماده به‌طور کامل مشابه یکدیگر است. بنابراین، با توجه به شرایط سنتز اگر فرآورده از نظر ساختار درست باشد به‌طور حتم SBA-15 هم درست سنتز شده است. این الگو شامل سه قله است، که قله ۱۰۰

جدول ۱ نتیجه‌های به‌دست آمده از جذب واجذب نیتروژن

ترکیب	مساحت سطح (m <sup>2</sup> /g)	اندازه حفره‌ها <sup>۲</sup> (nm)	حجم کلی حفره‌ها (BET) (cm <sup>3</sup> /g)	حجم کلی حفره‌ها (BJH) (cm <sup>3</sup> /g)	قطر حفره‌ها <sup>۱</sup> (nm)
CMK-3	۳۹۰٫۲۹	۶۴۰٫۸۷	۰٫۷۳۲۸	۰٫۶۸۲۱	۳٫۲۶

1. Mean pore diameter

2. Average pore diameter



شکل ۲ نمودار سمت راست نمودار جذب واجذب نیتروژن، نمودار سمت چپ نمودار BJH را نشان می‌دهد.

شکل ۵ طیف EDX نمونه از CMK-3 را نشان می‌دهد. در صد وزنی عناصر موجود در CMK-3 سنتز شده در جدول ۲ ارایه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ آمده است کربن که ماده اصلی تشکیل دهنده بالاترین درصد را به خود اختصاص داده است و سیلیس و اکسیژن هم که متعلق به پیش ماده بوده به حد بسیار کمی پس از شست‌وشوی قالب در حفره‌ها باقی مانده است.

جدول ۲ تجزیه عنصری ترکیب CMK-3 بر اساس درصد وزنی (%W)

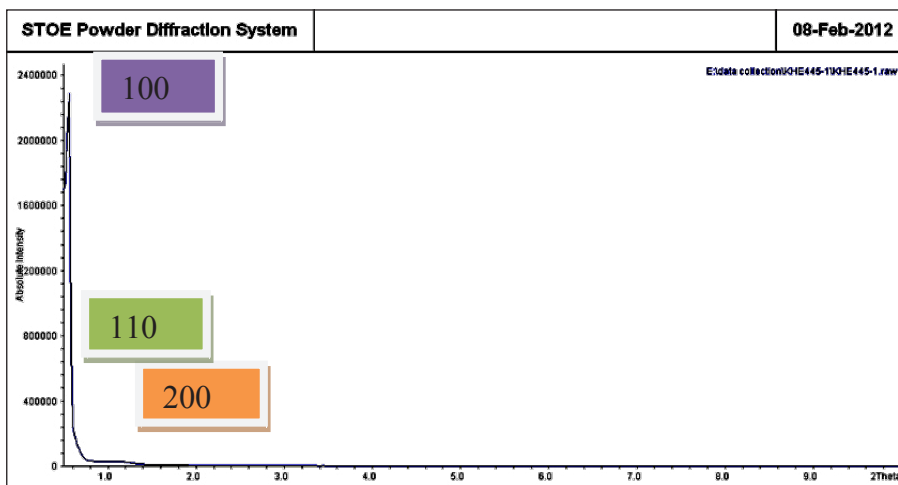
(W%)	C	Si	O
CMK-3	۸۰/۱۴	۳/۶۹	۱۶/۱۷

بزرگترین قله و شاخص اصلی این ماده است و دو قله دیگر بیشتر دیده نمی‌شوند یا همانند گوی ارایه شده بسیار کوچک‌اند. با استفاده از رابطه ۲ که در آن  $(a_0)$  عامل سل واحد،  $d_{100}$  محل پراش اصلی ترکیب است، اندازه سلول واحد در حدود  $۱۸/۲۲$  نانومتر محاسبه شد.

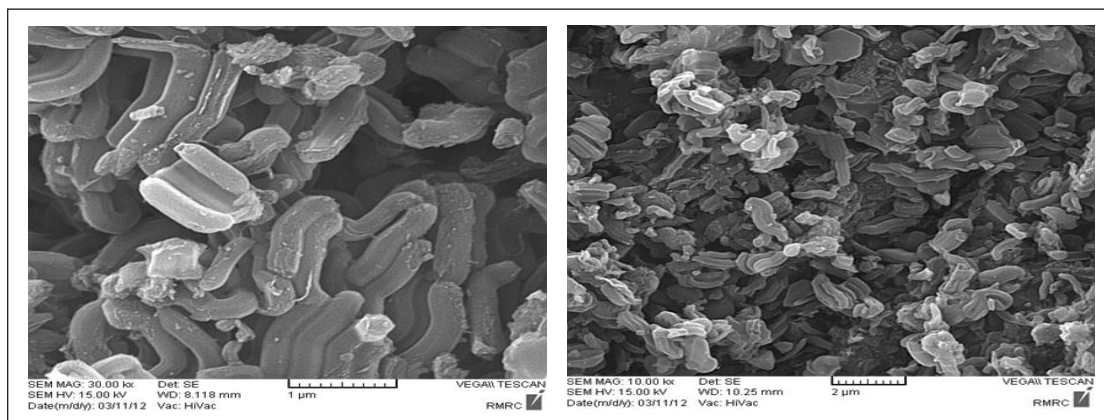
$$a_0 = \frac{2d_{100}}{\sqrt{3}} \quad (۲)$$

میکروسکوپ الکترونی روبشی

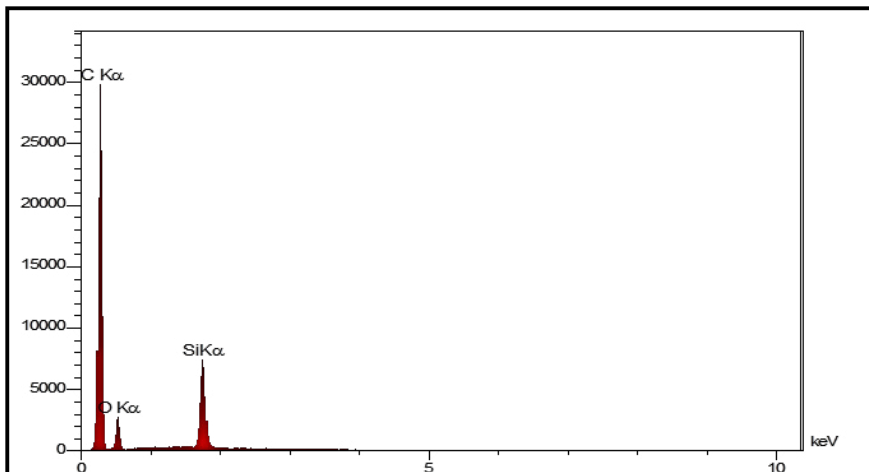
تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی برای تعیین ریخت‌شناسی ذره‌های مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴). ذره‌ها به تقریب دارای ریخت‌شناسی یکسان و شش ضلعی هستند [۱۸].



شکل ۳ گوی XRD، از زاویه‌های پایین CMK-3 سنتز شده



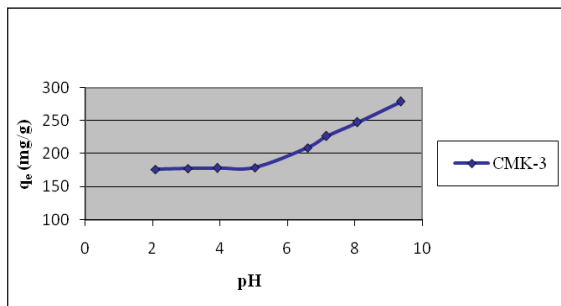
شکل ۴ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در بزرگنمایی‌های متفاوت از CMK-3



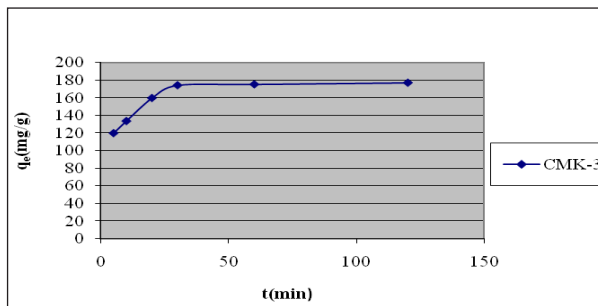
شکل ۵ طیف EDX نمونه CMK-3

بررسی عامل‌های مهم در جذب رنگ *Janus Green B* به‌وسیله جاذب نانو ساختار *CMK-3* محاسبه زمان به تعادل رسیدن رنگ با جاذب شکل ۶، وابستگی میزان جذب رنگ *Janus Green B* به زمان تماس را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود جذب رنگ در ۳۰ دقیقه ابتدایی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است، اما پس از آن سرعت افزایش جذب رنگ ناچیز است. از آن‌جا که زمان مجاورت بعد از یک ساعت تفاوت آشکاری در جذب رنگ به‌وسیله جاذب ایجاد نکرد، زمان بهینه برای جذب ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد و سایر آزمایش‌ها در همین مدت زمان انجام شد [۱۹].

اثر *pH* در جذب رنگ به‌وسیله جاذب یکی از عامل‌های کلیدی است که ممکن است فرایند جذب را تحت تأثیر قرار دهد. به منظور بررسی اثر *pH* محلول بر روی ظرفیت جذب، آزمایش در *pH*های متفاوت از ۲ تا ۱۰ تکرار شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود جذب رنگ به‌طور قابل مشاهده‌ای با افزایش *pH* تغییر می‌کند. نامطلوب بودن جذب در *pH*های پایین به دلیل ایجاد رقابت بین مولکول‌های کاتیونی رنگ و یون‌های  $H^+$  در دستیابی به مواضع جاذب است این پدیده توسط وانگ<sup>۱</sup> و دبراسی<sup>۲</sup> نیز به نحو مشابهی برای جذب تانیک اسید<sup>۳</sup> و دیگر رنگ‌های کاتیونی گزارش شده است [۲۰ و ۲۱].



شکل ۷ اثر *pH* بر روی حذف رنگ *Janus Green B* به‌وسیله جاذب نانو ساختار *CMK-3* (غلظت ابتدای رنگ ۱۰۰۰ mg/l و مقدار مصرفی جاذب ۵۰ mg/۲۵ ml، در دمای ۲۵ °C)



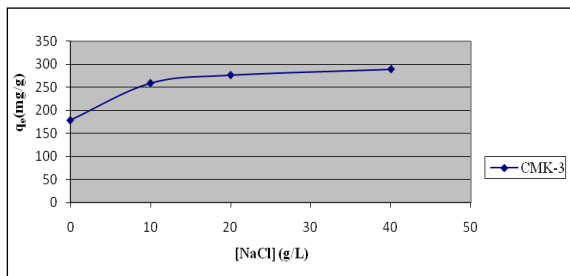
شکل ۶ اثر زمان تماس بر روی حذف رنگ *Janus Green B* به‌وسیله جاذب نانو ساختار *CMK-3* (غلظت ابتدای رنگ ۱۰۰۰ mg/l و مقدار مصرفی جاذب ۵۰ mg/۲۵ ml، در دمای ۲۵ °C)

1. Wang

2. Debrassi

3. Tannic acid

شکل یونی آن است رنگ مولکولی به عنوان گونه غالب در محلول با سرعت بیشتری به فاز جذب می رود. نتیجه های به دست آمده از فرایند جذب در حضور مقادیر متفاوت نمک نشان می دهد که در فرایند جذب، کاهش یونش مولکول ها نقش پررنگ تری ایفا کرده است و از آن رو میزان جذب افزایش یافته است [۲۳].



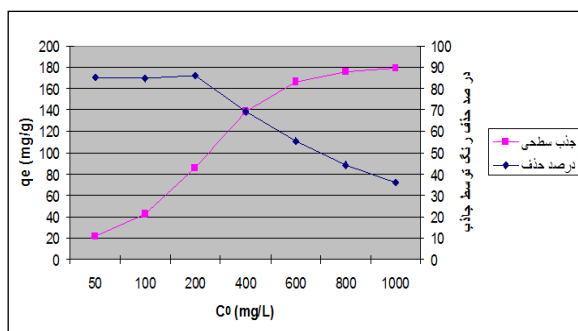
شکل ۹ اثر غلظت نمک بر روی حذف رنگ Janus Green B به وسیله جاذب نانو ساختار CMK-3 (غلظت ابتدای رنگ ۱۰۰۰ mg/l و مقدار مصرفی جاذب ۵۰ mg/۲۵ ml، در دمای ۲۵ °C)

#### اثر دما در جذب رنگ به وسیله جاذب

نمودار به دست آمده از فرایند جذب سطحی رنگ به وسیله جاذب در دماهای متفاوت در شکل ۱۰ نشان می دهد که با افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سانتی گراد میزان جذب کاهش می یابد این امر نشان دهنده ماهیت گرمای واکنش جذب سطحی رنگ است. افزایش دما از یک سو باعث سست شدن پیوندهای فیزیکی بین رنگ و جاذب کربنی می شود و از سوی دیگر حلالیت رنگ را در محیط افزایش می دهد. در نتیجه پیوندهای فیزیکی بین مولکول های رنگ با آب قوی تر از پیوندهای آن ها با سطح جاذب بوده و به این ترتیب میزان جذب با افزایش دما کاهش می یابد. ماهیت گرمای واکنش جذب سطحی رنگ ها نقطه ای مثبت برای جاذب های سنتز شده به شمار می رود زیرا نشان می دهد که برای انجام واکنش جذب سطحی انجام شده نه تنها نیازی به حرارت اضافی نیست بلکه این فرایند خود تولید کننده گرما است. مشابه این پدیده در مورد رنگ ها و آلایندگی های دیگر توسط کاراوقلو، آلکان<sup>۲</sup> و چن<sup>۳</sup> نیز نشان داده شده است. [۲۲ تا ۲۴].

#### اثر غلظت ابتدایی در جذب رنگ به وسیله جاذب

شکل ۸ نشان می دهد که با افزایش غلظت ابتدایی رنگ میزان جذب نیز افزایش می یابد این امر را می توان به اثر افزایش برخورد رنگ با جاذب نسبت داد. اما در غلظت های بالاتر کاهش در قسمت صعودی نمودار مشاهده می شود، این امر می تواند به دلیل اشباع شدن سایت های فعال ماده جاذب در غلظت های بالا و دفعه الکترواستاتیک مولکول های رنگ جذب شده با مولکول های رنگ محلول باشد همین پدیده در جذب رنگ reactive blue 221 توسط کاراوقلو<sup>۱</sup> نیز گزارش شده است [۲۲].



شکل ۸ اثر غلظت ابتدای رنگ بر روی حذف رنگ Janus Green B به وسیله جاذب نانو ساختار CMK-3 (مقدار مصرفی جاذب ۵۰ mg/۲۵ ml، در دمای ۲۵ °C)

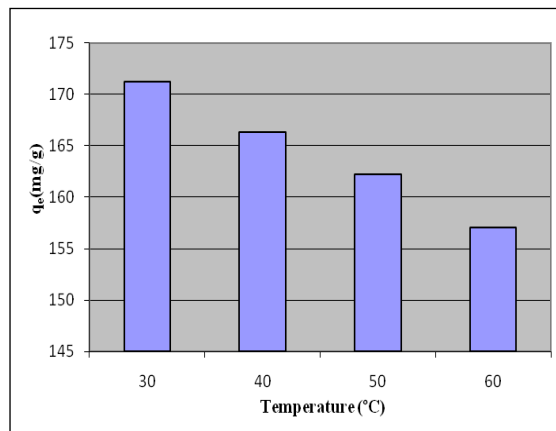
#### اثر غلظت نمک کلراید در جذب رنگ به وسیله جاذب

فاضلاب های رنگ به طور معمول دارای مقدار قابل توجهی نمک هستند. لذا بررسی اثر الکترولیت در فرایند جذب لازم به نظر می رسد. برای مطالعه اثر الکترولیت، به غلظت های ابتدایی یکسان از رنگ (۱۰۰۰ mg/l)، مقادیر متفاوتی از نمک سدیم کلراید افزوده شد و آزمایش جذب انجام شد. وجود نمک در محیط واکنش دو اثر متضاد بر فرایند جذب به وجود می آورد. از طرفی نمک باعث می شود که سطح جاذب از لحاظ بار خنثی شده و میزان جذب سطحی کاهش یابد. از طرف دیگر از آن جاکه الکترولیت باعث کاهش میزان یونش مولکول های رنگ می شود، و هم چنین استخراج غیر یونی یک ترکیب به مراتب ساده تر از



## نتیجه گیری

الگوهای پراش پرتو X (XRD)، نمودارهای جذب- و جذب نیتروژن و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و تجزیه عنصری (EDX) نمونه تهیه شده، ساختار جاذب مزوپور کربنی CMK-3 را که به روش قالب گیری سخت از روی پیش ماده SBA-15 تهیه شده بود، تأیید کردند. نتیجه‌های به دست آمده از آزمایش‌ها نشان داد که فرایند به تعادل رسیدن جذب به نسبت (۶۰ دقیقه) سریع بوده است و با افزایش pH، غلظت ابتدایی، غلظت الکترولیت فرایند جذب شدت گرفته است. با این حال با افزایش دما کاهش میزان جذب سطحی رنگ Janus Green B روی جاذب CMK-3 اتفاق افتاده است که بر گرمازا و خودبه‌خود بودن فرایند جذب سطحی تأکید دارد.



شکل ۱۰ اثر دما بر روی حذف رنگ Janus Green B به وسیله جاذب نانو ساختار CMK-3 (غلظت ابتدای رنگ ۱۰۰۰ mg/l و مقدار مصرفی جاذب ۲۵ ml/۲۵ mg)

## مراجع

- [1] Liu, S., et al.; Computers & Chemical Engineering, 35, 858-875, 2011.
- [2] Bdour, A.N.; Hamdi, M.R.; Tarawneh, Z.; Desalination, 237, 162-174, 2009.
- [3] Al-Shammari, S.B.; Shahalam, A.M.; Desalination, 196, 215-220, 2006.
- [4] Pearce, G.K.; Desalination, 222, 66-73, 2008.
- [5] Chen, C.M.; Liu, M.C.; Science of The Total Environment, 359, 120-129, 2006.
- [6] Riga, A., et al.; Desalination, 211, 72-86, 2007.
- [7] Kayranli, B.; J. Chemical Engineering, 173, 782-791, 2011.
- [8] Asouhidou, D.D., et al.; Microporous and Mesoporous Materials, 117, 257-267, 2009.
- [9] Kumar, P.; Gulians, V.V.; Microporous and Mesoporous Materials, 132, 1-14, 2010.
- [10] Yu, J., et al.; Electrochimica Acta, 54, 984-988, 2009.
- [11] Zhao, D., et al.; Science, 279, 548-552, 1998.
- [12] Jun, S., et al.; JACS, 122, 10712-10713, 2000.
- [13] He, J., et al.; Microporous and Mesoporous Materials, 121, 173-177, 2009.
- [14] Lin, L., et al.; Food Chemistry, 130, 417-424, 2012.
- [15] Hu, L., et al.; Microporous and Mesoporous Materials, 147, 188-193, 2012.
- [16] Michorczyk, P., et al.; Applied Catalysis A: General, 2012.
- [17] Zhou, H., et al.; Chemical Physics Letters, 396, 252-255, 2004.
- [18] Enterría, M., et al.; Microporous and Mesoporous Materials, 151, 390-396, 2012.
- [19] Wang, J., et al.; J. Chemical Engineering, 165, 10-16, 2010.
- [20] Debrassi, A., et al.; J. Chemical Engineering, 183, 284-293, 2012.
- [21] Asuha, S.; Zhou, X.G.; Zhao, S.; J. Hazardous Materials, 181, 204-210, 2010.
- [22] Karaoğlu, M.H.; Doğan, M.; Alkan, M.; Desalination, 256, 154-165, 2010.
- [23] Alkan, M., et al.; J. Chemical Engineering, 139, 213-223, 2008.
- [24] Chen, S., et al.; Desalination, 252, 149-156, 2010.