

بررسی جذب سطحی رنگ Janus Green B بوسیله نانوکامپوزیت Ag/CMK-3

لیلا ترکیان^{۱*}، علیرضا جعفر قلی‌نژاد^۲ و مریم دقیقی^۲

۱- گروه شیمی کاربردی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

۲- گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۳/۰۶/۱۸، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۳/۰۸/۲۹، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۳/۰۹/۱۱

چکیده

در این پژوهش نانوکامپوزیت مزوپور کربنی دوپ شده با نقره (Ag/CMK-3) توسط روش قالب‌گیری سخت از پیش ماده سیلیکاتی SBA-15 تهیه شده و پس از شناسایی با استفاده از دستگاه جذب-و جذب N₂، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و آنالیز عنصری (EDX)، به عنوان جاذب جهت جذب سطحی رنگ آلاینده Janus Green B و حذف آن از پساب مورد استفاده قرار گرفت. همچنین قدرت جذب این نانوکامپوزیت با مزوپور کربنی CMK-3 مقایسه شد. عوامل مؤثر در انجام فرآیند جذب سطحی از جمله اثر زمان تماس جاذب با محلول رنگ، pH، غلظت ابتدایی رنگ، غلظت الکترولیت و دما مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 قدرت جذب بیشتری نسبت به CMK-3 جهت جذب سطحی و حذف رنگ Janus Green B دارد. همچنین هر دو نانوجاذب در زمانی حدود ۱ ساعت با رنگ به تعادل می‌رسند. افزون بر این فرآیند جذب با افزایش غلظت ابتدایی رنگ، غلظت نمک و pH افزایش پیدا کرده اما با افزایش دمای محیط کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: مزوپور کربنی، نانوکامپوزیت، جذب سطحی، Janus Green B، Ag/CMK-3.

۱- مقدمه

میلیون تن در سال جهت استفاده در فرآیندهای مختلف صنعتی از قبیل کاغذ و سلولز، محصولات آرایشی، رنگ، پلاستیک، چرم و نساجی تولید می‌شود [۳]. محققان بر این عقیده‌اند که حدود ۱۵٪ از کل رنگدانه‌های مورد استفاده در فرآیندهای رنگرزی می‌تواند در فاضلاب باقی بماند [۴]. اختلاط پساب تصفیه نشده با منابع آب علاوه بر آلودگی آنها مانع از نفوذ نور خورشید به سطوح داخلی آب و در نتیجه، باعث کاهش فتوسنتز و فعالیت‌های گیاهان آبی شده و مرگ و میر آنها را در پی دارد [۵]. ترکیب رنگ‌های مصنوعی اغلب بسیار سمی و سرطان‌زا هستند و حتی در غلظت‌های کم باعث بسیاری از

کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا همراه با افغانستان، پاکستان و مناطق گسترده‌ای در جنوب اروپا دارای آب و هوایی خشک و نیمه خشک‌اند [۱]. طبق گزارش ارائه شده توسط کمیسیون جهانی آب، تخمین زده می‌شود که استفاده از آب در سراسر جهان حدود ۵۰ درصد تا سال ۲۰۳۴ افزایش خواهد یافت. این امر لزوم استفاده مجدد از آب‌های صنعتی را به عنوان یک منبع شناخته شده آب در سراسر جهان روشن می‌سازد [۲]. امروزه بالغ بر ۱۰۰۰۰ نوع رنگ از انواع رنگ‌های مختلف با وزن حدود ۰/۷

*عهده‌دار مکاتبات: لیلا ترکیان

نشانی: تهران، خیابان ایرانشهر شمالی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۳۰۸۲۶، دورنگار: ۰۲۱-۸۸۸۳۰۸۲۶، پست الکترونیکی: ltorkian@azad.ac.ir

مطالعه کاربرد تصفیه‌ای جاذب‌های کربنی ساخته شده، عوامل موثر در فرآیند جذب سطحی مانند اثر زمان تماس (زمان مجاورت رنگ و جاذب)، غلظت اولیه رنگ، pH محلول، درجه حرارت (دما) و غلظت الکترولیت کلرید سدیم مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد و روش‌ها

کوپلیمر (پلی‌اتیلن گلیکول-پروپیلن گلیکول-پلی‌اتیلن گلیکول) با وزن مولکولی ۵۸۰۰ که به P123 معروف است و نیز رنگ Janus Green B ($C_{30}H_{31}N_6Cl$) از شرکت سیگما آلدریچ خریداری شد. تترااتیل ارتوسیلیکات $(TEOS, Si(OCH_2CH_3)_4)$ ، ساکارز، نیترا نقره، سدیم کلراید، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید و اتانول نیز از شرکت مرک خریداری شدند.

۲-۲- سنتز جاذب

ترکیب کربنی نانوساختار CMK-3 به روش Jun و همکارانش [۱۷] تهیه شد. در این روش ماده سیلیکاتی نانوساختار SBA-15 با استفاده از کوپلیمر P123 و تترااتیل ارتوسیلیکات تهیه شده [۱۸] و به عنوان قالب سخت و ساکارز به عنوان پیش ماده کربنی استفاده می‌شود. به این منظور ۱/۲۵ g از ساکارز و ۰/۱۴ g از H_2SO_4 در ۵ ml از آب حل شده و ۱ g از SBA-15 به آن اضافه شد و به مدت ۶ ساعت تحت حرارت $100^\circ C$ قرار گرفت. در ادامه ماده حاصل در دمای $160^\circ C$ به مدت ۶ ساعت گرما داده شد. جامد حاصل با محلول حاوی ۰/۸ g از ساکارز و ۰/۹ g از H_2SO_4 و ۵ ml آب مجاور شد و به مدت ۶ ساعت در دمای $160^\circ C$ قرار گرفت تا فرآیند نفوذ ساکارز به داخل منفذهای سیلیکای قالب و پلیمری شدن بطور کامل انجام شود. ترکیب حاصل برای کربونیزه شدن کامل تحت اتمسفر نیتروژن در دمای $900^\circ C$ حرارت داده شد. سپس با حل کردن سیلیکا توسط محلول ۴ مولار سود، شستشو با اتانول و خشک کردن در دمای $120^\circ C$ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت، ترکیب مزوپور کربن حاصل شد.

اختلالات سلامتی انسان مانند بیماری‌های کلیوی، سیستم تولید مثل، کبد، مغز و سیستم اعصاب مرکزی می‌شوند [۱۶]. از آنجائیکه این ترکیبات دارای میزان سمیت زیادی هستند بطور متعارف از محیط زیست حذف نمی‌شوند و در دهه‌های اخیر روش‌های فیزیکی و شیمیایی گوناگونی از جمله جذب، استخراج [۱۷]، فرآیند اکسیداسیون پیشرفته [۱۸]، نانوفیلتراسیون، ازوناسیون و انعقاد برای حذف این آلاینده‌های رنگی توسعه یافته‌اند. از میان این روش‌های متعدد، جذب سطحی به عنوان روشی ساده، کارآمد و مقرون به صرفه برای حذف انواع مختلف آلاینده‌ها بشمار می‌رود [۱۹]. جاذب کربن فعال بطور گسترده‌ای برای حذف آلاینده‌های آلی مانند رنگ‌ها، آفت‌کش‌ها، فنل‌ها و غیره استفاده می‌شود [۱۰]. اگرچه این ماده دارای سطح بسیار بالا با خواص جذب خوب است [۱۱]، با این حال، عملکرد کربن‌های فعال تجاری در جذب ابرمولکول‌ها بدلیل ساختار نامنظم منافذ و حجم کم آنها که تنها اجازه جذب مولکول‌های نسبتاً کوچک را به این نوع مواد می‌دهد مطلوب نیست [۱۲]. در سال‌های اخیر توسعه مواد مزوپور کربن مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. مزوپور کربن دارای منافذ یکنواخت و ساختار مناسب جذب با منافذ تک و سه بعدی است که سبب ایجاد خاصیت‌های از جمله حجم بسیار بالای منافذ، سطح ویژه زیاد و قطر مناسب منافذ شده است [۱۳]. به تازگی CMK-3 جهت جذب سطحی فنیل آلانین بکار رفته است [۱۴]. همچنین CMK-3 عامل‌دار شده با گروه‌های نیتروژنی برای جذب سطحی رنگ acid black 1 مورد استفاده قرار گرفت [۱۵]. علاوه بر این حذف موفقیت‌آمیز جیوه از محلول‌های آبی توسط CMK-3 عامل‌دار شده با 2-amino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazole نیز در مقالات گزارش شده است [۱۶]. در تحقیق حاضر جاذب نانوساختار مزوپور کربنی CMK-3 برای حذف رنگ Janus Green B (JGB) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با توجه به ویژگی‌های آنتی‌باکتریال یون نقره و توانایی آن در حذف بسیاری از انواع باکتری‌های موجود در آب و پساب، نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 نیز تهیه و از لحاظ قدرت جذب رنگ در شرایط محیطی مختلف با مزوپور کربنی CMK-3 مقایسه شده است. همچنین در

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

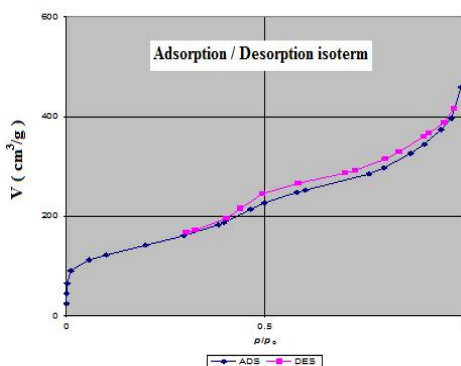
که در آن، (C_0) غلظت اولیه و (C_e) غلظت رنگ باقیمانده در محلول حاصل از جذب سطحی با واحد (mg/g) می‌باشند. مقدار (C_e) با استفاده از نمودار کالیبراسیون رنگ Janus Green B بدست می‌آید. همچنین (V) حجم محلول رنگ بر حسب لیتر (L) است و (W) وزن جاذب بر حسب گرم (g) می‌باشد [۲۱،۲۲].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شناسایی جاذب نانوکامپوزیت Ag/CMK-3

۳-۱-۱- ایزوترم جذب-وا جذب نیتروژن

ایزوترم جذب-وا جذب Ag/CMK-3 در شکل ۱ نشان داده شده است. ایزوترم به نمایش گذاشته شده تطابق خوبی با ایزوترم نوع IV در طبقه‌بندی IUPAC دارد و نشان دهنده مزوپور بودن ترکیب نانوساختار Ag/CMK-3 می‌باشد. فشار نسبی در ناحیه کمتر از $0/3$ جذب تک لایه نیتروژن در دیواره‌های ساختار مزوپور کربنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار جذب-وا جذب N_2 برای نانوکامپوزیت Ag/CMK-3.

در ناحیه بین $0/3$ تا $0/9$ با توجه به شیب تند و صعودی نمودار جذب با شدت زیاد اتفاق افتاده که بدلیل تراکم مویرگی داخل مزوپور کربنی است و قسمت بالای $0/9$ مربوط به جذب سطحی چند لایه بر روی سطح بیرونی ذرات می‌باشد. محاسبه مساحت سطح ویژه و اندازه حجم حفره‌ها با استفاده از روش BET انجام گرفته [۲۳،۲۴] و

نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 از افزایش ۹ درصد وزنی محلول نیترات نقره به پیش ماده مزوپور کربنی در مرحله اولیه اختلاط ساکارز و اسید سولفوریک، تهیه شد. لازم به ذکر است بقیه مراحل تهیه نانوکامپوزیت مشابه مزوپور کربنی است.

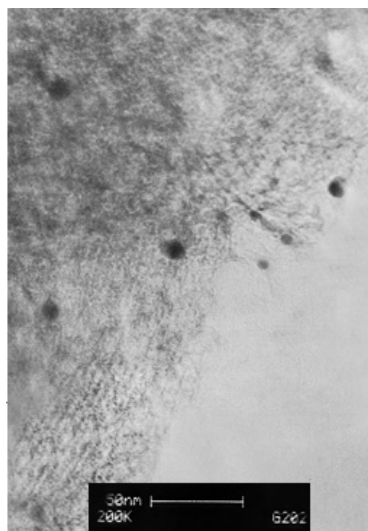
۳-۲- بررسی خصوصیات جاذب

بررسی ساختاری CMK-3 تهیه شده پیش از این به صورت کامل ارائه شده است [۱۹،۲۰]. مطالعه خصوصیات جاذب با استفاده از دستگاه جذب-وا جذب نیتروژن در دمای 77 K انجام شد. محاسبه سطح ویژه با استفاده از روش BET و اندازه و حجم حفره‌ها با استفاده از رابطه BJH صورت گرفت. جهت تعیین ریزساختار و محاسبه اندازه ذرات نانوکامپوزیت تهیه شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM استفاده شد. درصد نقره موجود در ساختار نانوکامپوزیت نیز با استفاده از آنالیز عنصری EDX توده‌ای تعیین شد.

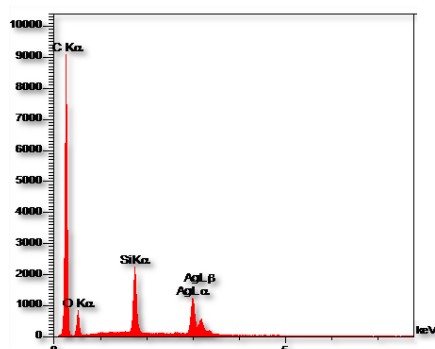
۳-۲-۱- بررسی جذب سطحی

در این تحقیق میزان جذب رنگ Janus Green B بر سطح جاذب نانوساختار CMK-3 و نیز نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. همچنین آزمایش‌های جهت مطالعه اثر زمان تماس جاذب با محلول رنگ، pH، غلظت ابتدایی رنگ، غلظت الکترولیت و دما، در سیستم ناپیوسته طراحی و انجام شد. در تمامی آزمایش‌های انجام شده بجز غلظت اولیه، 50 میلی‌گرم جاذب نانوساختار به 25 میلی‌لیتر محلول 1000 میلی‌گرم بر لیتر رنگ Janus Green B اضافه شد. عمل مجاورت جاذب و رنگ با استفاده از همزن مغناطیسی با زمان‌بندی از پیش تعیین شده و با سرعت ملایم انجام گرفت. سپس فاز جامد محلول‌ها و فاز مایع با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ از یکدیگر جدا شدند. در آخر اندازه‌گیری میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Visible مدل UVIKON923 در طول موج λ_{max} (480 nm) انجام گرفت. مقدار جذب سطحی رنگ (q_e) توسط جاذب از رابطه ۱ بدست می‌آید.

و سیلیس و اکسیژن نیز که متعلق به پیش ماده بوده‌اند به حد بسیار کمی پس از شستشوی قالب در حفره‌ها باقی مانده‌اند. بر طبق نتایج آنالیز عنصری درصد وزنی نقره موجود در این نانوکامپوزیت برابر ۸/۵ درصد است.



شکل ۳: تصویر TEM در بزرگنمایی ۵۰ نانومتر از Ag/CMK-3.



شکل ۴: آنالیز عنصری Ag/CMK-3.

جدول ۲: آنالیز عنصری ترکیب Ag/CMK-3 بر اساس درصد وزنی.

(wt.%)	C	Si	Ag	O
Ag/CMK-3	۷۵/۸۸	۳/۳۵	۸/۵۱	۱۲/۲۶

۳-۲- بررسی پارامترهای مهم در جذب رنگ JGB توسط جاذب نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3

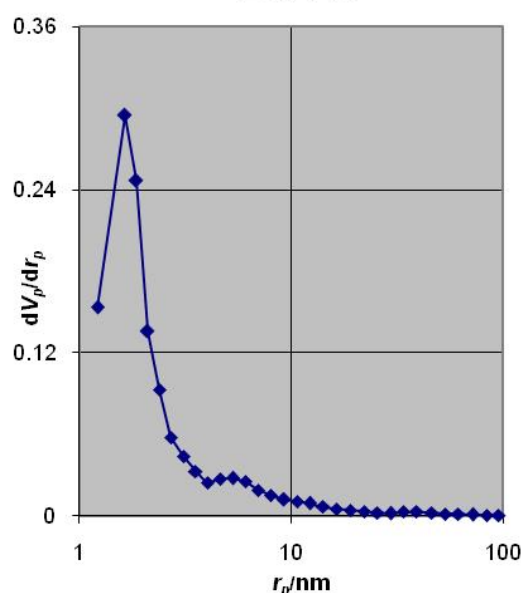
۳-۲-۱- زمان به تعادل رسیدن رنگ با جاذب
نمودار شکل ۵، وابستگی میزان جذب رنگ JGB به زمان مجاورت با نانوجاذبها را نشان می‌دهد. همانطور که در

در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نمودار BJH (شکل ۲) بیشترین توزیع اندازه شعاع حفره‌ها، بین ۱/۲ تا ۲ نانومتر می‌باشد.

جدول ۱: نتایج حاصل از جذب-واجذب نیتروژن.

ترکیب	مساحت سطح (m ² /g)	حجم کلی حفره‌ها (BET) (cm ³ /g)	قطر حفره‌ها (nm)
Ag/CMK-3	۱۱۴/۲۲	۰/۳۵۴۲	۳/۲۸

BJH-Plot



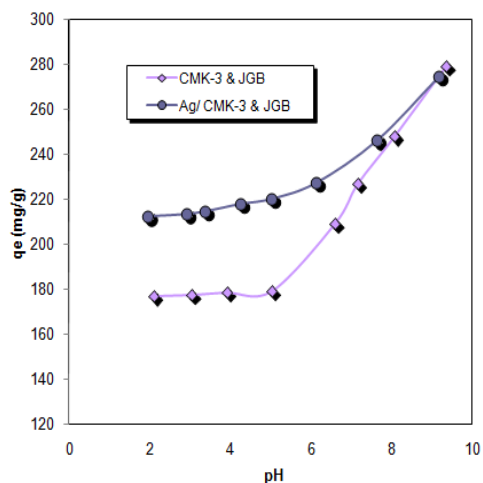
شکل ۲: نمودار BJH برای نانوکامپوزیت Ag/CMK-3.

۳-۱-۲- بررسی TEM و EDS

تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری برای بررسی مورفولوژی نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 و تعیین اندازه ذرات مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳). حضور ذرات نقره با قطر کمتر از ۳۰ نانومتر بر سطح ساختار نواری مزوپور کربنی با قطر نوارهای کمتر از ۱۰ نانومتر در این شکل قابل مشاهده است. شکل ۴ آنالیز عنصری توده‌ای از Ag/CMK-3 را نشان می‌دهد. درصد وزنی عناصر موجود در نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 سنتز شده در جدول ۲ ارائه شده است. کربن که ماده اصلی تشکیل دهنده ساختار مزوپور است بالاترین درصد را به خود اختصاص داده است

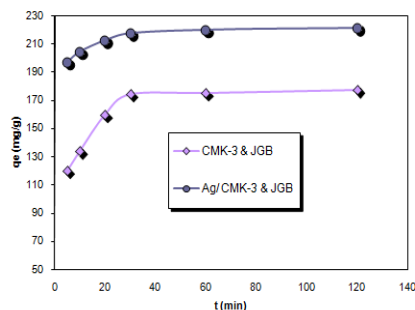
استفاده از بستر Ag/CMK-3 در pH مشابه به ترتیب برابر $212/0.9$ mg/g و $283/12$ mg/g می‌باشد.

بنابراین به ویژه در محیط اسیدی Ag/CMK-3 جذب بهتری را نسبت به CMK-3 از خود نشان می‌دهد. مقدار بالای جذب در pHهای بالا برای رنگ‌های کاتیونی را می‌توان به الکترونه شدن سطح جاذب و تجمع بار منفی بر سطح آن نسبت داد که در نتیجه قابلیت جذب رنگ‌های کاتیونی مانند Janus Green B را در جاذب افزایش می‌دهد [۲۰]. افزایش و کاهش جذب سطحی بواسطه pH در مقالات متعدد به جاذبه و دافعه الکترواستاتیکی رنگ و جاذب نسبت داده شده است [۲۶،۲۷].



شکل ۶: اثر pH بر روی حذف رنگ Janus Green B توسط جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3.

این نمودار دیده می‌شود جذب رنگ در ۴۰ دقیقه ابتدایی بطور قابل توجهی افزایش یافته است، اما پس از آن سرعت افزایش جذب رنگ ناچیز است. افزون بر این در ۴۰ دقیقه اول میزان جذب رنگ بر سطح نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 بیش از بستر CMK-3 است. هر چند این امکان وجود دارد که سایت‌های فعال مزوپور کربنی در نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 توسط نقره پر شود اما نتایج تجربی (شکل ۵) نشان می‌دهد که قدرت جذب Ag/CMK-3 بیش از CMK-3 است. این نتایج را می‌توان در نتیجه فرو ریختن برخی از دیواره‌های داخلی ساختار CMK-3 توسط نقره دوپ شده و افزایش فضا جهت جذب بیشتر مولکول‌های رنگ و یا برهمکنش الکتروستاتیکی نقره با مولکول‌های رنگ دانست [۲۵]. از آنجائیکه زمان مجاورت بعد از یک ساعت تفاوت آشکاری در جذب رنگ توسط جاذب ایجاد نکرده است، زمان بهینه برای جذب رنگ بر سطح نانوجاذب‌ها ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد و سایر آزمایش‌ها در همین مدت زمان انجام شدند.



شکل ۵: اثر زمان تماس بر روی حذف رنگ Janus Green B توسط جاذب نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3.

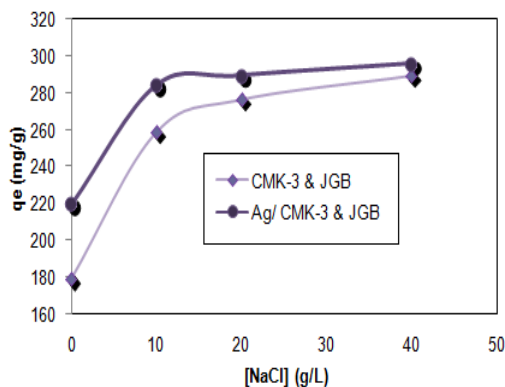
۳-۲-۳- اثر غلظت ابتدایی رنگ در فرآیند جذب

نمودار شکل ۷ نحوه تغییرات میزان جذب سطحی نسبت به تغییرات غلظت ابتدایی رنگ Janus Green B را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار مشخص است با افزایش غلظت ابتدایی رنگ، میزان جذب آن بر سطح نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 و نیز مزوپور کربنی CMK-3 افزایش می‌یابد. چنانکه در غلظت 800 mg/L قدرت جذب Ag/CMK-3 به میزان ۲۷٪ نسبت به CMK-3 بیشتر است. این امر را می‌توان به اثر افزایش برخورد رنگ با جاذب نسبت داد. در غلظت‌های بالاتر سرعت صعودی نمودار کاهش می‌یابد. اشباع شدن سایت‌های فعال ماده

۳-۲-۲- اثر pH در فرآیند جذب سطحی

pH یکی از عوامل موثری است که می‌تواند فرآیند جذب را تحت تاثیر قرار دهد. به منظور بررسی اثر pH محلول بر روی ظرفیت جذب، آزمایش در pHهای مختلف از ۲ تا ۱۱ تکرار شد. همانطور که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود رنگ آنیونی Janus Green B در محیط بازی جذب بهتری بر سطح هر دو نانوجاذب دارد. برای نمونه میزان جذب سطحی رنگ Janus Green B بر بستر CMK-3 در pH حدود ۲ برابر $176/53$ mg/g و در pH $9/36$ برابر $279/13$ mg/g است. این میزان در صورت

گونه غالب در محلول با سرعت بیشتری به فاز جاذب می‌رود و لذا افزایش غلظت الکتروولیت سبب افزایش میزان جذب می‌گردد [۲۸]. نتایج حاصل از فرآیند جذب رنگ Janus Green B بر بستر جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3 در حضور مقادیر مختلف نمک در شکل ۸ نشان داده شده است. به نظر می‌رسد که در فرآیند جذب رنگ Janus Green B، کاهش یونیزاسیون مولکول‌ها نقش پررنگ‌تری ایفا کرده است و از آنرو میزان جذب رنگ بر سطح هر دو نانوجاذب افزایش یافته است. پنگ و همکاران نیز نتایج مشابهی را در مطالعه جذب سطحی انواع رنگ‌های کاتیونی و آنیونی بر سطح CMK-3 عامل‌دار شده توسط نانوذرات مغناطیسی گزارش کرده‌اند [۲۹].

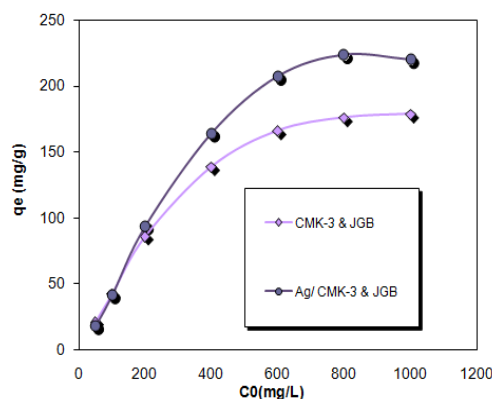


شکل ۸: اثر غلظت نمک بر روی حذف رنگ Janus Green B توسط جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3.

۳-۲-۵- اثر دما در فرآیند جذب سطحی

نمودار بدست آمده از فرآیند جذب سطحی رنگ Janus Green B توسط جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3 در دماهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش دما از ۳۰ به ۶۰ درجه سانتیگراد میزان جذب بر سطح هر دو نانوجاذب کاهش می‌یابد (شکل ۹). این امر نشان دهنده ماهیت گرم‌مازای واکنش جذب سطحی رنگ است. افزایش دما از یکسو باعث سست شدن پیوندهای فیزیکی بین رنگ و جاذب کربنی می‌شود و از سوی دیگر حرالیت رنگ را در محیط افزایش می‌دهد. در نتیجه پیوندهای فیزیکی بین مولکول‌های رنگ با آب قوی‌تر از پیوندهای آنها با سطح جاذب بوده و به این ترتیب میزان جذب با افزایش دما کاهش می‌یابد. ماهیت گرم‌مازای

جاذب در غلظت‌های بالا و دافعه الکترواستاتیک مولکول‌های رنگ جذب شده با مولکول‌های رنگ محلول را می‌توان علت این امر دانست. همین پدیده در جذب رنگ reactive blue 221 توسط کارااوقلو (Karaoglu) گزارش شده است [۲۶].



شکل ۷: اثر غلظت ابتدایی رنگ Janus Green B بر روی میزان جذب رنگ توسط جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3 (مقدار مصرفی جاذب ۲۵ ml/۵۰ mg، در دمای ۲۵ °C).

۳-۲-۴- اثر غلظت نمک در فرآیند جذب سطحی

الکتروولیت‌ها با ایجاد رقابت یونی در محلول رنگ باعث بهبود خواص نفوذپذیری رنگینه‌ها در الیاف می‌شوند. لذا در فرآیندهای رنگ‌رزی افزودن انواع نمک‌های سدیم جهت بالا بردن ثبات شستشوی الیاف امری متداول است. به همین سبب در پساب کارخانه‌های نساجی عموماً مقدار قابل توجهی از نمک سدیم یافت می‌شود [۱۸]. از اینرو اثر الکتروولیت سدیم کلرید در فرآیند جذب سطحی رنگ Janus Green B بر سطح جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3 مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، به غلظت‌های ابتدایی یکسان از رنگ (۱۰۰۰ mg/L)، مقادیر مختلفی از نمک اضافه شد و آزمایش جذب انجام شد. وجود نمک در محیط واکنش دو اثر متضاد بر فرآیند جذب جاذب می‌آورد. از طرفی نمک باعث می‌شود که سطح جاذب از لحاظ بار خنثی شده و میزان جذب سطحی کاهش یابد. از طرف دیگر از آنجائیکه الکتروولیت باعث کاهش میزان یونیزاسیون مولکول‌های رنگ می‌شود، و همچنین استخراج فرم غیر یونی یک ترکیب به مراتب ساده‌تر از شکل یونی آن است رنگ مولکولی به عنوان

بیشتری را نسبت به CMK-3 نشان می‌دهد. این امر را می‌توان به فرو ریختن برخی از دیواره‌های داخلی ساختار CMK-3 توسط نقره و در نتیجه افزایش فضا جهت جذب بیشتر مولکول‌های رنگ و یا برهمکنش‌های الکترواستاتیکی نقره با مولکول‌های رنگ نسبت داد. با توجه به ویژگی آنتی‌باکتریالی نانوذرات نقره و قدرت جذب مناسب نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 این ترکیب به عنوان یک نانوجاذب فعال و موثر جهت جذب رنگ‌های کاتیونی مانند Janus Green B معرفی می‌گردد.

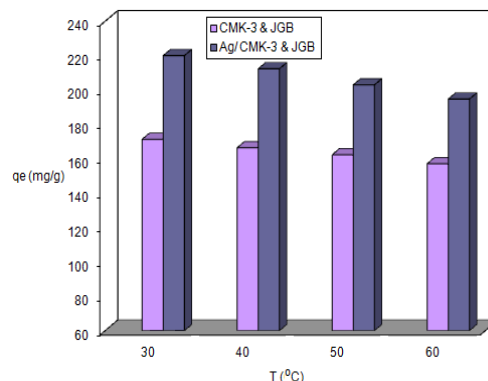
سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه آزاد اسلامی واحدهای تهران جنوب و تهران مرکز به جهت حمایت از این مقاله قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- [1] A. Al-Khafaji, D. Howarth, *Desalination*, **75**, 1989, 289.
- [2] I. Vergili, Y. Kaya, U. Sen, Z. Beril Gonder, C. Aydiner, *Resources, Conservation and Recycling*, **58**, 2012, 25.
- [3] S. Nethaji, A. Sivasamy, G. Thennarasu, *Journal of Hazardous Materials*, **181**, 2010, 271.
- [4] B. Kayranli, *Chemical Engineering Journal*, **173**, 2011, 782.
- [5] J. Anandkumar, B. Mandal, *Journal of Hazardous Materials*, **186**, 2011, 1088.
- [6] M. Ghaedi, B. Sadeghiana, A. Amiri-Pebdania, R. Sahraeib, A. Daneshfarb, C. Duran, *Chemical Engineering Journal*, **187**, 2012, 133.
- [7] Y. Chi, W. Geng, L. Zhao, X. Yan, Q. Yuan, N. Li, X. Li, *Journal of Colloid and Interface Science*, **369**, 2012, 366.
- [8] G. Liu, S. Zheng, D. Yin, Z. Xu, J. Fan, F. Jiang, *Journal of Colloid and Interface Science*, **302**, 2006, 47.
- [9] J. Galan, A. Rodriguez, J.M. Gomez, S.J. Allen, *Chemical Engineering Journal*, **219**, 2013, 62.
- [10] F. Liu, Z. Guo, S. Zheng, Z. Xu, *Chemical Engineering Journal*, **183**, 2012, 244.
- [11] A. Vinu, K.Z. Hossain, G. Satish-Kumar, K. Ariga, *Carbon*, **44**, 2006, 530.
- [12] Z. Guo, G. Zhu, B. Gao, D. Zhang, G. Tian, Y. Chen, *Carbon*, **43**, 2005, 2344.
- [13] J. He, K. Ma, J. Jin, Z. Dong, J. Wang, R. Li, *Microporous and Mesoporous Materials*, **121**, 2009, 173.
- [14] J. Goscianska, A. Olejnik, R. Pietrzak, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **45**, 2014, 347.
- [15] X. Peng, X. Hu, D. Fu, F.L. Lam, *Applied Surface Science*, **294**, 2014, 71.
- [16] M. Anbia, R. Dehghan, *Journal of Environmental Sciences*, **26**, 2014, 1541.
- [17] S. Jun, S. Joo, R. Ryoo, M. Kruk, M. Jaroniec, Z. Liu, T. Ohsuna, O. Terasaki, *Journal of the American Chemical Society*, **122**, 2000, 10712.
- [18] D. Zhao, J. Feng, Q. Huo, N. Melosh, G.H. Fredrickson, B.F. Chmelka, G.D. Stucky, *Science*, **279**, 1998, 548.
- [19] L. Torkian, B. Ghaderi-Ashtiani, E. Amereh, N. Mohammadi, *Desalination and Water Treatment*, **44**, 2012, 118.
- [20] A. Prabhu, A. Shoaibi, C. Srinivasakanna, *Materials Letters*, **136**, 2014, 81.

واکنش جذب سطحی رنگ‌ها مزیتی برای جاذب‌های سنتز شده به شمار می‌رود زیرا نشان می‌دهد که برای انجام واکنش جذب سطحی انجام شده نه تنها نیازی به حرارت اضافی نیست بلکه این فرآیند خود تولید کننده گرما است. نتایج مشابهی در مورد جذب برخی رنگ‌های آزو بر بستر کربن فعال توسط آلکان و چن گزارش شده است [30، 31].



شکل 9: اثر دما بر روی حذف رنگ Janus Green B توسط جاذب‌های نانوساختار CMK-3 و Ag/CMK-3.

4- نتیجه‌گیری

نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 با مساحت سطح $114/22 \text{ m}^2/\text{g}$ و اندازه قطر حفره‌هایی برابر $3/28 \text{ nm}$ تهیه شد. چگونگی جذب رنگ Janus Green B بر سطح نانوجاذب مزوپور کربنی CMK-3 و نانوکامپوزیت Ag/CMK-3 بررسی و مقایسه شد. نمودارهای بدست آمده از بررسی محاسبه زمان به تعادل رسیدن نشان داد که فرآیند جذب رنگ Janus Green B بر سطح مزوپور کربنی ساده و نیز دوپه شده با نقره به اندازه کافی سریع بوده است. همچنین جذب رنگ بر سطح مزوپورهای کربنی با افزایش غلظت ابتدایی رنگ، غلظت نمک سدیم کلراید و pH افزایش یافته است، در حالیکه افزایش دما سبب کاهش میزان جذب سطحی می‌شود. در مقایسه میزان قدرت جذب بین CMK-3 و Ag/CMK-3 انتظار می‌رود که بدلیل پر شدن برخی از سایت‌های فعال مزوپور کربنی توسط نقره، بازده جذب پایین‌تری نسبت به CMK-3 داشته باشد. اما در فرآیند جذب رنگ Janus Green B، کامپوزیت Ag/CMK-3 قدرت جذب

- [26] M.H. Karaoglu, M. Dogan, M. Alkan, *Desalination*, **256**, 2010, 154.
- [27] A. Riga, K. Soutsas, K. Ntampeglitis, V. Karayannis, G. Papapolymerou, *Desalination*, **211**, 2007, 72.
- [28] Y.C. Lee, E. Kim, J. Yang, H. Shin, *Journal of Hazardous Materials*, **192**, 2011, 62.
- [29] X. Peng, D. Huang, T.O. Wubah, D. Fu, J. Huang, Q. Qin *Journal of Colloid and Interface Science*, **430**, 2014, 272.
- [30] M. Alkan, M. Dogan, Y. Turhan, O. Demirbas, P. Turan, *Chemical Engineering Journal*, **139**, 2008, 213.
- [31] S. Chen, J. Zhang, C. Zhang, Q. Yue, Y. Li, *Desalination*, **252**, 2010, 149.
- [21] N. Mohammadi, H. Khani, V.K. Gupta, E. Amereh, S. Agarwal, *Journal of Colloid and Interface Science*, **362**, 2011, 457.
- [22] H. Chen, T. Yan, F. Jiang, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **45**, 2014, 1842.
- [23] A.B. Chen, W. Zhang, Y. Liu, X. Han, X. Bao, *Chinese Chemical Letters*, **18**, 2007, 1017.
- [24] H. Kim, S. Kang, S. Park, H. Park, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **21**, 2015, 1191.
- [25] A. Debrassi, A. Correa, T. Baccarin, N. Nedelko, A. Slawska-Waniewska, K. Sobczak, P. Dziuzewski, J. Greneche, C.A. Rodrigues, *Chemical Engineering Journal*, **183**, 2012, 284.