

اصلاح شیمیایی پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های نقطه‌های کوانتومی کربن -

کیتوسان سازگار با محیط زیست

عباس مدحی*، بهزاد شیرکوند هداوند

گروه رزین و افزودنی‌ها، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۴/۰۹ تاریخ تصحیح: ۰۰/۰۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۶/۲۳

چکیده

هدف اصلی در این پژوهش سنتز نانوکامپوزیت‌های نقاط کوانتومی کربن-کیتوسان (CQDs-CS) سازگار با محیط زیست و بررسی تأثیر افزودن آن بر خواص مختلف پارچه پنبه‌ای از جمله ثبات رنگی، ویژگی‌های رنگی و فعالیت ضد میکروبی می‌باشد. برای این منظور ابتدا نانوکامپوزیت نقطه‌های کوانتومی کربن-کیتوسان در درصد‌های وزنی معین سنتز شد و توسط روش‌های مختلف طیف‌سنجی مانند FESEM, UV-visible, Photoluminescence, HR-TEM, FTIR شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، برای بررسی اصلاح شیمیایی پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت CQDs-CS، طیف‌سنجی FESEM، آزمون ثبات‌های رنگی، ویژگی‌های رنگی و بررسی خواص ضد میکروبی به روش Mueller-Hinton broth مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که اصلاح شیمیایی پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS، سبب بهبود جزئی در ثبات نوری، ثبات شستشویی و برخی از ویژگی‌های رنگی شد. همچنین نانوکامپوزیت‌های ساخته شده به طور قابل توجهی سبب نابودی باکتری‌های گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) و گرم منفی (اشرشیا کلی) در پارچه پنبه‌ای گردیدند.

کلمات کلیدی: نقطه‌های کوانتومی کربن، کیتوسان، نانوکامپوزیت، اصلاح شیمیایی، خاصیت ضد میکروبی.

۱- مقدمه

نقطه‌های کوانتومی کربنی (CQDs) گروه جدیدی از مواد نانوکربنی صفر بعدی با اندازه کوچک‌تر از ۱۰ نانومتر هستند. نقطه‌های کوانتومی کربن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار خوبی مانند بلوری شدن، قابلیت پراکندگی مناسب، خاصیت فوتولومینسانس^۱ قوی همچنین داشتن گروه‌های عاملی مختلف مانند گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل و غیره در لبه‌های خود می‌باشند [۱ و ۲]. نقطه‌های کوانتومی کربن را می‌توان از فرایندهای مختلفی شامل اکسایش اسیدی، روش الکتروشیمی، پیرولیز در مایکروویو و روش هیدروترمال منابع کربن‌دار مانند گرافیت، کربن سیاه، اسید سیتریک، گلوکز، پیرن و غیره تهیه کرد [۳ و ۴]. حلالیت در آب، سمیت ناچیز، هزینه کم، سهولت آماده‌سازی، آسان بودن عامل‌دار کردن نقطه‌های کوانتومی کربن‌دار و زیست‌سازگاری آن، موجب شده است تا این نانوذرات برای کاربردهای زیستی، مناسب باشد [۵ و ۶]. در پژوهش‌های اخیر استفاده از این ترکیبات در داروسازی، تصویربرداری‌های زیستی، ساخت حامل‌های دارویی، ساخت مواد آنتی‌بیوتیک، ترکیبات ضد میکروبی، صنایع الکترونیک، مواد

نیمه‌رسانا، سلول‌های خورشیدی و غیره مورد توجه قرار گرفته شده است [۷-۱۰]. کیتوسان دومین پلیمر زیستی پس از سلولز می‌باشد که به دلیل داشتن خواص غیرسمی، زیست‌تخریب‌پذیر بودن، قابلیت جذب سطحی روی سطوح، پایداری حرارتی و شیمیایی و اثرات ضدقارچی و ضد میکروبی، برای انواع فرایندهای علمی و کاربردهای مهندسی مناسب می‌باشد [۱۱]. حضور گروه‌های هیدروکسیل و آمین در ساختار کیتوسان، اجازه اصلاح شیمیایی آن را برای کنترل خواص فیزیکی می‌دهد. کیتوسان قادر است با مواد کربنی مانند کربن، گرافیت و نقاط کوانتومی کربن، نانوکامپوزیت‌های مختلف تشکیل دهد که خواص این نانوکامپوزیت‌ها در مقایسه با خواص پلیمر خالص، بهتر است. از کیتوسان برای افزایش خاصیت جذب رنگ، کاهش میزان نمدی‌شدن الیاف و ایجاد خاصیت ضد میکروبی در الیاف پشمی و پنبه‌ای استفاده می‌شود [۱۲ و ۱۳].

منسوجات پنبه‌ای یکی از محل‌های تجمع و رشد میکروارگانیسم‌ها به شمار می‌آید به ویژه اگر در شرایط دمایی و رطوبت مناسب در تماس با بدن باشد. منظور از ضد میکروبی کردن منسوجات، محافظت از آن‌ها در برابر اثرگذاری میکروب‌ها و قارچ‌ها می‌باشد. [۱۴ و ۱۵]. استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیا کلی از معروف‌ترین باکتری‌های عفونت‌زا می‌باشند. این باکتری‌ها سبب عفونی شدن پوست، بینی، دستگاه تنفس و دستگاه گوارش می‌گردند. این باکتری‌ها به راحتی می‌توانند در منسوجات مختلف تکثیر یافته و سبب به وجود آمدن انواع بیماری‌ها گردد [۱۶ و ۱۷]. استفاده از یک ترکیب شیمیایی مناسب می‌تواند مانع از رشد و تجمع میکروب‌ها یا به سخن دیگر سبب ایجاد خاصیت ضد میکروبی در منسوجات مختلف مانند پارچه‌های پنبه‌ای شود. ترکیب کیتوسان با نقطه‌های کوانتومی کربن می‌تواند یک پلیمر با خواص ضد میکروبی قوی تشکیل داده و سبب نابودی انواع باکتری‌ها شود [۱۸ و ۱۹].

در این پژوهش از واکنش بین نقطه‌های کوانتومی کربن و کیتوسان، نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS سازگار با محیط زیست تهیه شد. سپس پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های ساخته شده، اصلاح شیمیایی گردید و در ادامه روش سنتز و ویژگی‌های مختلف نانوکامپوزیت CQDs-CS، خصوصیات ثبات رنگی (نوری و شستشویی) و ویژگی‌های رنگی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت. در پایان خواص ضد میکروبی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده، بوسیله آزمون‌های ضد میکروبی مورد بررسی و بحث قرار گرفت.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

نشاسته، سدیم هیدروکسید و استیک اسید از شرکت مرک (آلمان) و کیتوسان با وزن مولکولی متوسط از شرکت سیگما آلدریج (آمریکا) خریداری شدند. پارچه نخی (پنبه‌ای) نمره ۳۰ با چگالی ۱۴۲ گرم بر متر مربع، از شرکت نساجی مازندران و صابون

غیریونی از شرکت نیک فام خریداری شد. برای رنگرزی پارچه نخی از رنگ‌های واکنشی قرمز (Red 195)، زرد (Yellow 160) و سیاه (Black 5) ساخت شرکت دای‌استار (چین) استفاده شد.

۲-۲- ابزار و روش‌ها

برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در نانوکامپوزیت CQDs-CS از طیف‌سنجی FT-IR به کمک دستگاه Thermo Nicolet Avatar 360 ساخت آمریکا استفاده شد. اندازه‌گیری قطر ذرات با دستگاه HR-TEM FEI model TEC9G20 انجام شد. برای بررسی مورفولوژی پارچه پنبه‌ای، میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) ساخت شرکت TESCAN مدل Mira3 مورد استفاده قرار گرفت. خواص نوری نمونه‌ها توسط فوتولومینسانس نوری با استفاده از Fluorescence spectrometer Perkin Elmer LS 55 و طیف‌سنج نوری محدوده مرئی تا فرابنفش توسط دستگاه UV-vis spectrometer Perkin Elmer lambda 25 بررسی شد. برای رنگرزی پارچه نخی، از دستگاه رنگرزی با جریان هوای داغ ساخت هند و از دستگاه طیف‌سنج دو پرتویی مدل CECIL 9200 ساخت کشور انگلستان استفاده شد. اندازه‌گیری ثبات نوری پارچه پنبه‌ای رنگ شده برای نمونه‌های اصلاح شده با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS با ترکیب درصد‌های متفاوت، مطابق با استاندارد ISO 105 B02:1988 (E) با استفاده از لامپ زنون انجام شد. در این آزمون نمونه‌ها به مدت ۱۰۰ ساعت در معرض تابش لامپ زنون قرار گرفتند و ثبات نوری با استفاده از معیار آبی (۸-۱، ۱ بدترین و ۸ بهترین ثبات نوری) برای ارزیابی نمونه به کار رفت. ثبات شستشو پارچه پنبه‌ای رنگ شده برای همه نمونه‌ها مطابق با استاندارد ISO 105 C06C2S:1994 (E) انجام شد. تغییر رنگ در نمونه‌ها با مقیاس خاکستری (۵-۱، ۱ بدترین و ۵ بهترین ثبات شستشویی) مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی‌های رنگی (L^* , a^* , b^*) نمونه‌های رنگی تحت منبع نوری D65 و زاویه مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰ درجه توسط دستگاه طیف‌سنج Color-Eye XTH, X-Rite Inc. در محدوده طول موج ۴۰۰-۷۰۰ nm اندازه‌گیری شد. همچنین روش Mueller-Hinton broth برای بررسی خواص ضد میکروبی بکار برده شد.

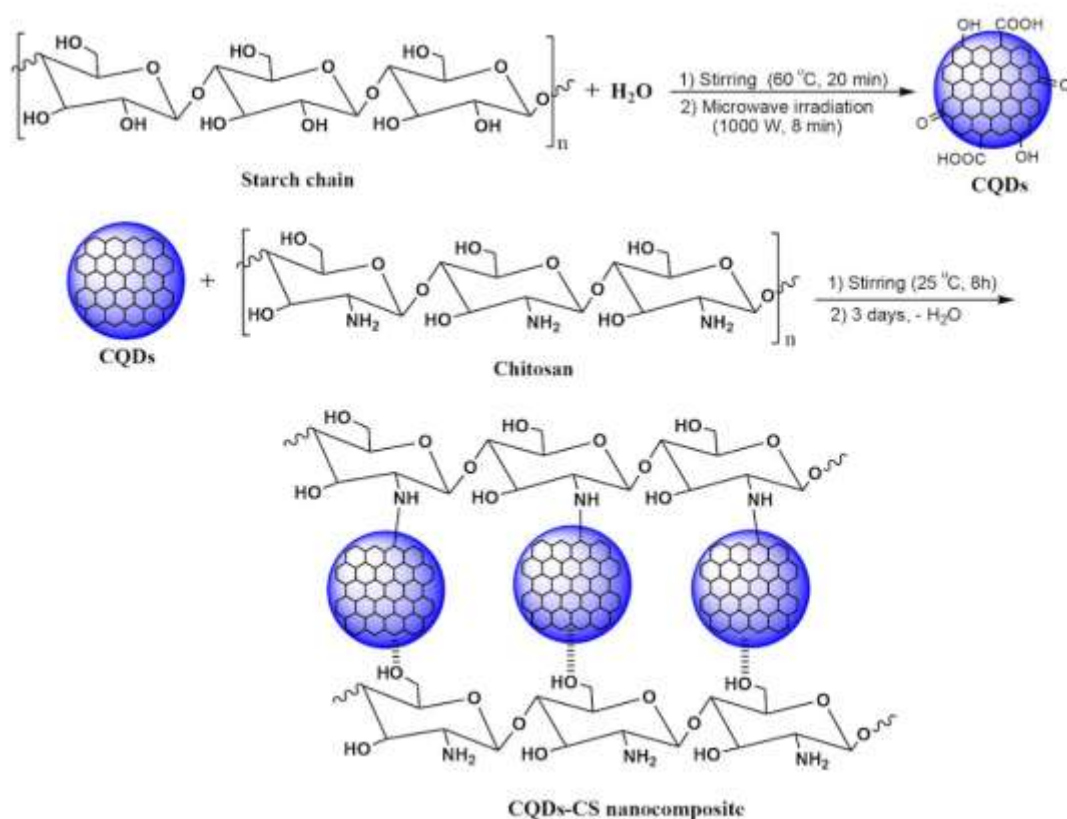
۲-۳- تهیه نانوکامپوزیت CQDs-CS

ابتدا مخلوطی از ۱۰ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی لیتر آب تهیه و توسط هم‌زن مغناطیسی به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 60°C هم‌زده شد تا زنجیره پلیمری نشاسته بر اثر آب‌کافت به مولکول‌های گلوکز تبدیل شوند. ترکیب حاصل در معرض امواج میکروویو با توان ۱۰۰۰ وات به مدت ۸ دقیقه قرار گرفت که مایع قهوه‌ای رنگی بدست آمد. این مایع پس از سرد شدن، با افزودن قطره قطره محلول آبی ۰/۵ مولار هیدروکسید سدیم خنثی شد ($\text{pH}=7$). مخلوط حاصل توسط کاغذ صافی و کیسه دیالیز (12000 دالتون) صاف شد. این مخلوط به مدت ۱ ساعت در دمای 90°C در روتاری و به مدت ۸ ساعت در دمای 65°C در آون قرار گرفت. که در این مرحله نقطه‌های کوانتومی کربن بدست آمد.

در ادامه در ۳ بشر جداگانه مقدار ۱۰۰ میلی لیتر آب ریخته و به هر یک، مقدار ۰/۵ گرم از کیتوسان اضافه شد. برای حلالیت بهتر کیتوسان در آب، به هر یک از بشرها مقدار ۱ میلی لیتر اسید استیک افزوده شد. این مخلوط توسط هم‌زن مغناطیسی به مدت ۶ ساعت در دمای محیط هم‌زده شد و محلول آبی کیتوسان بدست آمد. در مرحله بعد مقدارهای ۱، ۰/۵ و ۱/۵ گرم از CQDs را مطابق جدول ۱ به هر یک از مخلوط‌ها اضافه گردید. برای پراکنش مناسب ذرات، هر کدام از ظرف‌های واکنش به طور جداگانه به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت و سپس توسط هم‌زن مغناطیسی به مدت ۱۲ ساعت در دمای محیط هم‌زده شدند. در نهایت، مخلوط‌ها پس از مدت ۳ روز در دمای محیط خشک گردیدند و نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS در درصد‌های وزنی مختلف بدست آمد. شکل ۱ مراحل سنتز نانوکامپوزیت CQDs-CS را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقدار و نوع مواد تشکیل دهنده نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS

| نقطه‌های کوانتومی کربن (g) | کیتوسان (g) | نانوکامپوزیت |
|----------------------------|-------------|--------------|
| ۰/۵ | ۰/۵ | CQDs-CS1 |
| ۱ | ۰/۵ | CQDs-CS2 |
| ۱/۵ | ۰/۵ | CQDs-CS3 |



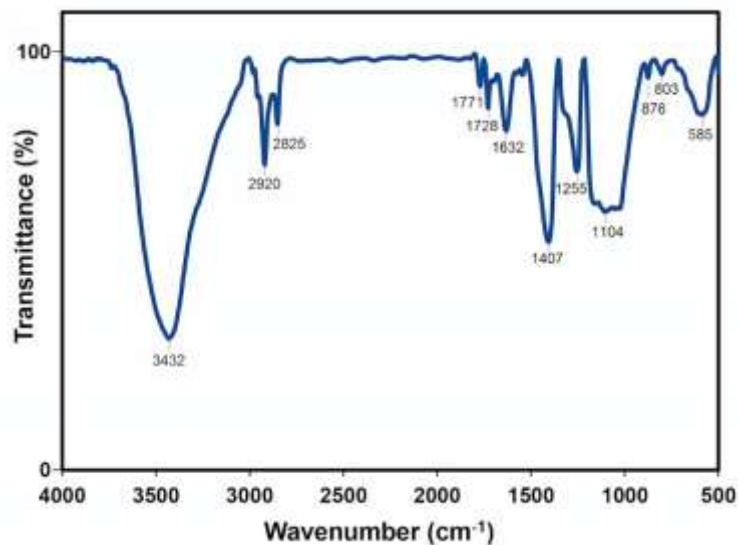
شکل ۱- مراحل سنتز نانوکامپوزیت CQDs-CS.

۳- نتایج و بحث

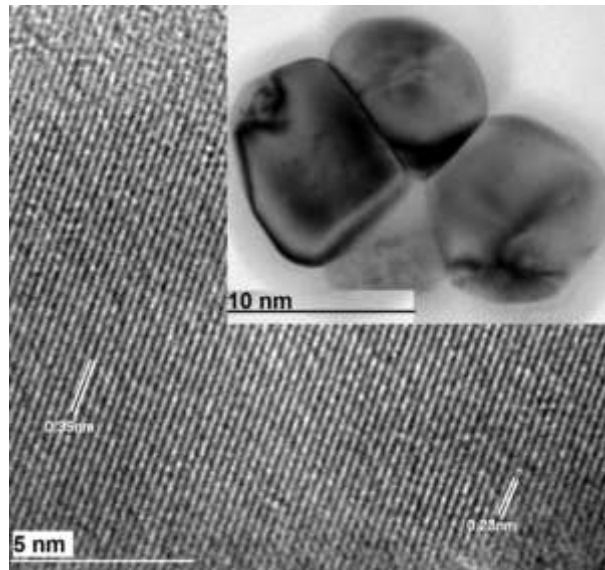
۳-۱- شناسایی نقطه‌های کوانتومی کربن

شکل ۲ طیف FT-IR مربوط به CQDs را نشان می‌دهد. نوارهای جذبی اصلی عبارتند از: طیف جذبی ظاهر شده در 3432 cm^{-1} مربوط به ارتعاش‌های کششی OH- است. نوارهای جذبی ظاهر شده در $2825\text{--}2920\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش‌های کششی C-H گروه‌های آلیفاتیک، و نوار جذبی ظاهر شده در $1728\text{--}1771\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش‌های کششی C=O گروه‌های کربونیل‌دار و کربوکسیل در لبه‌های نقطه‌های کوانتومی کربن می‌باشد. نوار طیفی مربوط به ارتعاش‌های کششی C=C در 1632 cm^{-1} ظاهر شده است.

برای اندازه‌گیری قطر ذرات CQDs محلول در آب، از طیف‌سنجی HR-TEM استفاده شد. تصویر HR-TEM ذرات محلول در آب CQDs در شکل ۳ نشان داده شده است. توزیع یکنواخت ذرات CQDs در آب به وضوح دیده می‌شود. ذرات CQDs به دلیل داشتن بار منفی سطحی، به صورت پایدار (کلوئیدی) در آب بوده و میانگین اندازه این ذرات حدود ۷ نانومتر دیده شد.



شکل ۲- طیف FTIR نقطه‌های کوانتومی کربن.

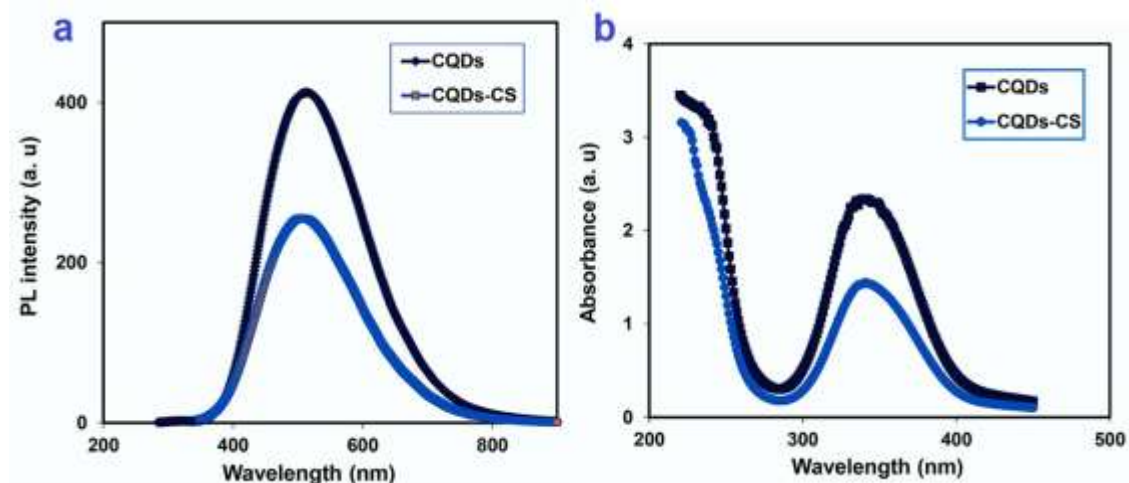


شکل ۳- تصویر HR-TEM نقطه‌های کوانتومی کربن.

۲-۳- شناسایی نانوکامپوزیت CQDs-CS

برای بررسی خواص نوری محلول‌های CQDs و CQDs-CS، از روش‌های طیف‌سنجی UV-visible و فوتولومینسانس استفاده شد. شکل ۴(a) منحنی‌های فوتولومینسانس CQDs-CS و CQDs نشان می‌دهد. برانگیختگی در ۳۵۰ نانومتر و پیک نشر در حدود ۴۵۰-۴۸۵ نانومتر (محدوده آبی) را نشان می‌دهد. وجود تابش‌های مرئی با شدت بالا بر اثر برانگیختگی الکترونی گروه‌های عاملی موجود در سطح این ذرات است. شدت نشر با غلظت CQDs در نمونه متغیر است به طوری که در نانوکامپوزیت CQDs-CS ارتفاع پیک نشر دیده شده کمتر از پیک مربوط به CQDs است و دلیل مناسبی برای برقراری پیوندهای شیمیایی بین گروه‌های عاملی موجود در کیتوسان و CQDs می‌باشد.

طیف‌های جذبی UV-visible در شکل ۴(b) نشان داده شده است. برای محلول‌های آبی CQDs و CQDs-CS، دو نوار جذبی در محدوده‌های ۲۲۰ و ۳۵۰ نانومتر دیده می‌شود. پیک‌های دیده شده به ترتیب با انتقال $n \rightarrow \pi^*$ پیوندهای C=O، و انتقال $\pi \rightarrow \pi^*$ پیوندهای C=C (sp^2) مطابقت دارد. شدت این نوارهای جذبی در CQDs در مقایسه با CQDs-CS، به مقدار قابل توجهی بالاتر است. که دلیل آن به انتقال الکترون و برهم‌کنش مثبت بین گروه‌های عاملی در CQDs مربوط می‌شود [۳۱، ۳۲].



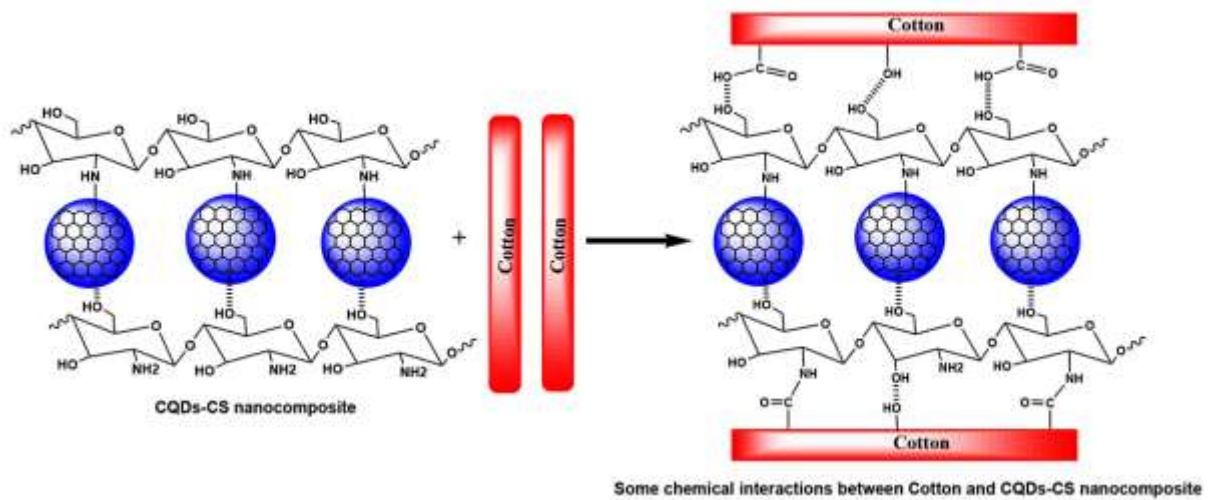
شکل ۴- (a) منحنی‌های فوتولومینسانس (b) منحنی‌های UV-vis نقطه‌های کوانتومی کربن و نانوکامپوزیت CQDs-CS.

۳-۳- رنگریزی

برای رسیدن به رنگریزی یکنواخت، ابتدا باید ناخالصی‌های موجود در پارچه نخی مانند چربی و مواد زائد از پارچه زدوده شوند. برای این منظور پارچه پنبه‌ای، توسط ۵٪ وزنی صابون غیریونی و ۳٪ وزنی سدیم کربنات، در دمای 60°C و به مدت ۳۰ دقیقه شسته، آبکشی و خشک گردید. برای رنگریزی، مقدار ۲ درصد وزنی پارچه پنبه‌ای، از رنگ‌های واکنشی با $L:R=20:1$ به ماشین رنگریزی اضافه گردید. رنگریزی پارچه پنبه‌ای در $\text{pH}=4$ و در دمای 95°C به مدت ۴۵ دقیقه انجام شد. سپس پارچه پنبه‌ای از ماشین رنگریزی خارج، توسط آب شستشو و در دمای محیط خشک گردید.

۳-۴- اصلاح شیمیایی پارچه پنبه‌ای

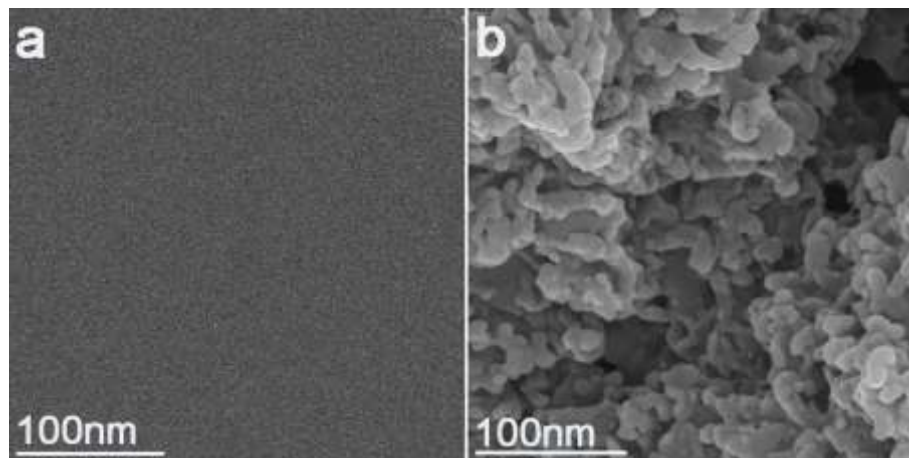
ابتدا ۲۰ گرم از پارچه پنبه‌ای به ۴ قسمت با وزن‌های مساوی تقسیم و در ۴ بشر قرار داده شد. یکی از نمونه‌ها به عنوان شاهد و به ۳ ظرف دیگر مقدار ۵ درصد وزنی از وزن پارچه پنبه‌ای، نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS (مطابق با جدول ۱) به همراه ۲۰۰ گرم آب اضافه شد. نمونه شاهد حاوی ۲۰۰ گرم آب و عاری از نانوکامپوزیت بود. هر کدام از این مخلوط‌ها در دمای 50°C به مدت ۱۲ ساعت توسط هم‌زن مغناطیسی هم‌زده شدند. در مرحله بعد هر کدام از نمونه‌ها شستشو، و در دمای 60°C خشک شدند. برخی از برهم‌کنش‌های شیمیایی بین پارچه پنبه‌ای و نانوکامپوزیت CQDs-CS در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- برهم‌کنش‌های شیمیایی بین پارچه پنبه‌ای و نانوکامپوزیت CQDs-CS.

۵-۳- بررسی مورفولوژی آزمون FESEM

برای اطمینان از پخش و اتصال نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS بر روی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده، تصویربرداری FESEM انجام شد. شکل (a و b) به ترتیب تصاویر FESEM پارچه پنبه‌ای اصلاح نشده (نمونه شاهد) و پارچه پنبه‌ای اصلاح شده با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۶ تفاوت در مورفولوژی پارچه پنبه‌ای اصلاح نشده و پارچه پنبه‌ای اصلاح شده به وضوح دیده می‌شود. در سطح نمونه شاهد، هیچ نوع ذره اضافی دیده نمی‌شود و سطح آن تقریباً هموار است اما سطح الیاف اصلاح شده دارای ذرات اضافی و چسبیده به پارچه پنبه‌ای است. نقطه‌های سفید رنگ یا برجستگی‌های دیده شده بر روی پارچه اصلاح شده، نشان‌دهنده پخش نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS بر روی آن و تشکیل پیوند شیمیایی بین گروه‌های عاملی این ذرات و پارچه پنبه‌ای است.



شکل ۶- تصاویر FESEM (a) پارچه پنبه‌ای اصلاح نشده (نمونه شاهد) و (b) پارچه پنبه‌ای اصلاح شده با نانوکامپوزیت CQDs-CS.

۶-۳- بررسی ثبات‌های رنگی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده

مقادیر ثبات‌های رنگی (ثبات نوری و ثبات شستشو) الیاف رنگی اصلاح شده در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از ثبات نوری برای نمونه‌ها نشان داد که اصلاح پارچه پنبه‌ای رنگ شده با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS سبب به وجود آمدن ثبات نوری مناسب در برابر نورهای تابش شده را از خود نشان دادند. مقادیر ثبات نوری ثبت شده در محدوده خوب تا بسیار خوب (۶-۷) قرار دارد. نتایج بدست آمده از ثبات شستشو نشان داد که اصلاح پارچه پنبه‌ای با استفاده از نانوافزونی‌های CQDs-CS هیچ تأثیر منفی بر تغییر رنگ الیاف نداشت و مقادیر عددی خوانده شده برای نمونه‌ها قابل قبول و خوب است. در پارچه‌های اصلاح شده مقدار ثبات شستشو ۴-۵ است که نتیجه خیلی خوبی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح پارچه پنبه‌ای رنگ شده با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS، نه تنها تأثیر منفی بر ثبات‌های رنگی نداشت بلکه در برخی نمونه‌ها سبب بهبود ثبات‌ها نیز گردید. دلیل این امر را می‌توان به افزایش برهم‌کنش‌های شیمیایی و تقویت پیوندهای شیمیایی تشکیل شده بین گروه‌های فعال موجود در ساختار شیمیایی پارچه پنبه‌ای و نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS نسبت داد [۲۰ و ۲۱].

جدول ۲- ثبات‌های رنگی برای پارچه‌های پنبه‌ای اصلاح نشده و اصلاح شده با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS.

| ثبات‌های رنگی | اصلاح نشده (نمونه شاهد) | اصلاح شده با CQDs-CS1 | اصلاح شده با CQDs-CS2 | اصلاح شده با CQDs-CS3 |
|---------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ثبات نوری | ۶ | ۶ | ۶-۷ | ۷ |
| ثبات شستشو | ۴ | ۴ | ۴-۵ | ۵ |

۳-۷- ویژگی‌های رنگی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS

ویژگی‌های رنگی (L^* , a^* , b^*) برای پارچه‌های پنبه‌ای اصلاح نشده و اصلاح شده توسط نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS در سیستم CIE $L^*a^*b^*$ گزارش شده است. L^* در محدوده ۰-۱۰۰ متغیر بوده و نشان دهنده درجه روشنایی نمونه می‌باشد. مقدار L^* کمتر، نشان‌دهنده تیره بودن نمونه رنگی است. a^* بیانگر تغییر رنگ از فام سبز به قرمز و b^* معرف تغییر رنگ از فام آبی به زرد است. مقادیر K/S قدرت رنگی نمونه‌ها را نشان می‌دهد و نشان‌دهنده عمق رنگی هر نمونه می‌باشد. داده‌های رنگی برای پارچه پنبه‌ای اصلاح نشده و اصلاح شده با CQDs-CS در جدول ۳ آمده است. مطابق جدول ۳، افزودن نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS به پارچه پنبه‌ای، در مقایسه با نمونه اصلاح نشده تغییرات جزئی در مؤلفه‌های رنگی نمونه‌ها ایجاد کرده است اما تفاوت‌های زیادی در میزان روشنایی، قرمزی و زردی الیاف دیده نمی‌شود. در بعضی از نمونه‌ها، به مقدار اندکی میزان روشنایی (L^*)، میزان قرمزی (a^*) و میزان زردی (b^*) تغییر یافته است. این تغییرات جزئی بسته به غلظت‌های CQDs در نانوکامپوزیت مربوطه متفاوت است و با مقادیر K/S مطابقت خوبی دارد.

مقدار تغییرات موجود در ویژگی‌های رنگی، نسبتاً کم و قابل قبول بین نمونه‌های اصلاح شده با نمونه اصلاح نشده، نشان می‌دهد؛ با اصلاح پارچه پنبه‌ای توسط CQDs-CS، شید رنگی الیاف اصلاح شده تغییر محسوسی پیدا نکرده است. یا به عبارت دیگر اصلاح

شیمیایی انجام شده بر روی پارچه پنبه‌ای تأثیر منفی بر روی الیاف رنگرزی شده ایجاد نمی‌کند. بنابراین اصلاح پارچه پنبه‌ای با نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS نه تنها سبب ایجاد تغییرات محسوس در رنگ پارچه پنبه‌ای نمی‌شود، بلکه ممکن است سبب بهبود جزئی نیز در برخی ویژگی‌های رنگی گردد.

جدول ۳- ویژگی‌های رنگی محاسبه شده برای پارچه پنبه‌ای اصلاح نشده و اصلاح شده توسط نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS.

| نمونه‌ها | L* | a* | b* | K/S |
|--------------------------|-------|------|------|-------|
| پارچه پنبه‌ای اصلاح نشده | ۱۹/۹۲ | ۹/۷۰ | ۹/۷۱ | ۲۷/۳۱ |
| اصلاح شده با CQDS-CS1 | ۱۹/۳۲ | ۹/۸۱ | ۹/۸۲ | ۲۹/۵۱ |
| اصلاح شده با CQDS-CS2 | ۱۹/۸۵ | ۹/۱۴ | ۸/۲۹ | ۲۵/۴۰ |
| اصلاح شده با CQDS-CS3 | ۲۰/۲۰ | ۹/۴۵ | ۹/۴۴ | ۲۶/۱۶ |

۸-۳- بررسی اثر ضد میکروبی نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS روی پارچه پنبه‌ای

برای انجام آزمون ضد میکروبی روی نمونه شاهد و نمونه‌های اصلاح شده توسط نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS در برابر باکتری‌های گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) و گرم منفی (اشرشیا کلی) از روش Mueller-Hinton broth استفاده شد. مطابق این روش مقدار ۱ میلی لیتر از باکتری با غلظت $10^6 - 10^7$ cfu/mL کشت شد. سپس همه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای 37°C انکوبه شدند. در ادامه مقدار ۱۰۰ میکرو لیتر از محلول هر یک از نمونه‌ها به طور جداگانه روی صفحه آگار پخش شد. سرانجام پس از گذشت ۲۴ ساعت صفحه‌ها از انکوباتور خارج گردیده و شمارش باکتری‌های زنده مانده انجام شد. محاسبه درصد نرخ کاهش باکتری از رابطه ۱ بدست آمد.

$$\%R = \frac{B - A}{B} \times 100 \quad (1)$$

A سلول‌های زنده مانده (cfu/mL) بر روی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده (نمونه‌های ۲ تا ۶) و B سلول‌های زنده مانده (cfu/mL) بر روی نمونه شاهد می‌باشد. برای اطمینان از صحت آزمایش‌ها، هر یک ۳ مرتبه تکرار شدند. نتایج بدست آمده از آزمون ضد میکروبی تأیید کرد؛ درصد قابل توجهی از باکتری‌ها بر اثر افزودن نانوکامپوزیت‌های CQDs-CS نابود شده‌اند. نتایج بدست آمده از این آزمایش در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق جدول ۴، نمونه اصلاح شده با نانوکامپوزیت CQDs-CS3 بیشترین اثر ضد میکروبی را از خود نشان داد. نتایج بدست آمده از این آزمون نشان داد؛ نانوکامپوزیت‌های ساخته شده از نقطه‌های کوانتومی کربن و کیتوسان، می‌تواند به عنوان یک ترکیب ضد میکروبی قوی در فرایند ضد میکروبی کردن منسوجات پنبه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۴- نتایج آزمون ضد میکروبی پارچه های پنبه‌ای اصلاح نشده و اصلاح شده توسط نانوکامپوزیت CQDS-CS در مقابل باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیا کلی

| نمونه | درصد کاهش باکتری استافیلوکوکوس اورئوس | درصد کاهش باکتری اشرشیا کلی |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| پارچه نخی اصلاح نشده | ۰ | ۰ |
| اصلاح شده با CQDS-CS1 | ۹۰ | ۸۶ |
| اصلاح شده با CQDS-CS2 | ۹۴ | ۹۱ |
| اصلاح شده با CQDS-CS3 | ۹۹ | ۹۵ |

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های CQDS-CS سازگار با محیط زیست اصلاح شیمیایی گردید. برای این منظور ابتدا با استفاده از پیرولیز نشاسته توسط امواج مایکروویو نقطه‌های کوانتومی کربن سنتز شد. سپس نانوکامپوزیت‌های CQDS-CS در درصدهای وزنی مختلف تهیه و صحت تشکیل این نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از ابزار و روش‌های طیف‌سنجی، بررسی و تأیید شد. در ادامه پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های CQDS-CS اصلاح شیمیایی شدند. نتایج بدست آمده نشان داد اصلاح شیمیایی پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های ساخته شده، نه تنها تغییرات منفی قابل توجهی در خواص مختلف پارچه پنبه‌ای ایجاد نکرد، بلکه سبب بهبود جزئی در ثبات‌های رنگی و برخی از ویژگی‌های رنگی نیز گردید. همچنین اصلاح پارچه پنبه‌ای توسط نانوکامپوزیت‌های ساخته شده، به طور قابل ملاحظه‌ای سبب نابودی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی شد.

۵- مراجع

- [1] D. Wang, J. F. Chen, L. Dai, *Part. Syst. Char* **5** (2015) 515.
- [2] X. W. Hua, Y. W. Bao, F. G. Wu, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **10** (2018) 10664.
- [3] S. Azadi, R. Zare-Dorabei, F. Hamidi and V. Safarifard, *J. Appl. Chem* **15** (2020) 327.
- [4] M. George and A. Mohanty, *J. Appl. Polym. Sci* **137** (2020) 48680.
- [5] A. Madhi, B. Shirkavand Hadavand, *Polym-plast. Tech. Mat*, 2021. doi: 10.1080/25740881.2021.1959929
- [6] S. R. M. Santiago, Y. A. Wong, T. N. Lin, C. H. Chang, C. T. Yuan, and J. L. Shen, *Opt. Lett* **42** (2017) 3642.
- [7] H. Feng, Z. Qian, *Chem. Rec* **18** (2018) 491.
- [8] F. Lin, C. Li, Z. Chen, *Front. Microbiol* **9** (2018) 259.
- [9] A. Lukowiak, A. Kedziora and W. Strek, *Adv. Colloid. Interface. Sci* **236** (2016) 101.
- [10] F. Lin, Y. W. Bao and F. G. Wu, *J. Carbon. Res* **5** (2019) 1.
- [11] M. Sadeghi-Kiakhani, S. Safapour, F. Ghanbari-Adivi, *Int. J. Biol. Macromol* **134** (2019) 1170.
- [12] R. Erdem, M. Akalın, *J. Ind. Text* **44** (2013) 553.
- [13] N. Orouzadeh, *Iran. J. Chem. Chem. Eng* **39** (2020) 1.
- [14] M. M. Hassan, C. M. Carr, *J. Adv. Res* **18** (2019) 39.

- [15] M. Sadeghi-Kiakhani, K. Gharanjig, M. Arami, *J. Ind. Eng. Chem* **28** (2015) 78.
- [16] R. Erdem, M. Akalın, *J. Ind. Text* **44** (2013) 553.
- [17] M. Mousavi-Kamazani, *J. Appl. Chem* **51** (2019) 277.
- [18] L. Mei, X. Gao, Y. Shi, C. Cheng, Z. Shi, M. Jiao, F. Cao, Z. Xu, X. Li, J. Zhang, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **12** (2020) 40153.
- [19] C. Nazan, A. Ashabil, K. Mehtap, *Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)* **36** (2017) 137.
- [20] S. Adeel, F. Rehman, M. KaleemKhosla, T. Anum, M. Shahid, K. Mahmood Zia, M. Zuber, *Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)* **39** (2020) 159.
- [21] A. Madhi, B. Shirkavand Hadavand, *Iran. J. Chem. Chem. Eng. (IJCCE)*, 2021. doi: 10.30492/ijcce.2021.527475.4657.