شیمی نساجی

پنبهٔ ضدباکتری عمل‌آوری‌شده با N-هالامین و نمک آمونیوم نوع چهارم

مترجم: مسعود هاشمی

چکیده

نمک‌های آمونیوم نوع چهارم و N-هالامین‌ها بطور وسیعی به عنوان زیست‌کُش‌ها در روکش‌های ضدمیکروبی استفاده می‌شوند و بطور گسترده‌ای در طی دو دههٔ گذشته مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، ۵،۵-دی‌متیل-۳-(۳'-تری‌اتوکسی‌سیلیل-پروپیل) هیدانتوئین (SPH) و ۳-(تری‌متوکسی‌سیلیل‌پروپیل) اکتادسیل دی‌متیل آمونیوم کلرید (SPODA) سنتز شدند و با استفاده از فرایند پدکردن-خشک‌کردن (PD) و فرایند مرسوم پدکردن-خشک‌کردن-پخت (PDC) روی الیاف پنبه روکش داده شدند. نمونه‌های پنبهٔ روکش‌دهی‌شده توسط FT-IR و SEM بررسی شدند. نمک آمونیوم نوع چهارم اثربخشیِ غیرفعال‌سازیِ باکتری نسبتاً کمتری نسبت به ترکیبات N-هالامین از خود نشان داد. نمونه‌های کلرینه‌شدهٔ روکش‌دهی‌شده با هردویِ SPH و SPODA با استفاده از فرایند پدکردن-خشک‌کردن، توانستند در حدود $7\ \log cfu/cm^2$ از باکتری استافیلوکوک اورئوس را در مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه و $7\ \log cfu/cm^2$ از باکتری اشریشیا کولی O157:H7 را در ۱۰ تا ۳۰ دقیقه، خنثی یا غیرفعال کنند. افزودنِ نمک نوع چارم در روکش‌های N-هالامین، فعالیت ضد میکروبی را در برابر باکتری گرم-منفیِ اشریشیا کولی (E.coli O157:H7) بهبود بخشید. هرچند، هنگامی که از فرایند PDC برای روکش‌دهی استفاده شد، به دلیل افزایش آبگریزی نمونه‌های پنبهٔ روکش‌یافته تحت دمای روکش‌دهیِ بالا، این نتیجه مشاهده نشد.

مقدمه

با گسترش استانداردهای زندگی مردم و آگاهی سلامتی، نیازی روزافزون به منسوجات ضد میکروب بوجود آمد. بنابراین، این امر لازم می‌باشد که به منظور فراهم کردن پارچه‌ای با خواص ضد باکتری، عوامل ضدمیکروب ایده‌آل سنتز شوند. پنبه یک واسطهٔ ایده‌آل برای تکثیر سریع میکروارگانیسم‌ها تحت دما و رطوبت مناسب می‌باشد. از سوی دیگر، پنبه به دلیل مکان‌های فعّال فراوان در واحدهای تکرارشوندهٔ خود، می‌تواند جهتِ تولید مواد ضدمیکروب، به آسانی اصلاح شود. بطور کلّی منسوجات پنبه‌ای ضدمیکروب می‌توانند توسط ترکیب‌شدن شیمیایی یا فیزیکیِ عوامل ضدمیکروب روی الیاف یا پارچه‌ها بدست آیند. یک روش رایج برای ایجاد منسوجات پنبه‌ای ضدمیکروب با دوام، متصل‌کردنِ عوامل ضدباکتری روی سطح لیف توسط پیوندهای کووالانسی می‌باشد. هنگامی که پرسنل و بیماران بیمارستان با پوشاک محافظ روکش‌دهی‌شده با عوامل ضدباکتری مجهز شده باشند، آلودگی‌ها یا عفونت‌ها می‌توانند به حداقل برسد.

عوامل ضدباکتری مثل نمک‌های آمونیوم نوع چهارم، یون‌های فلزی، نمک‌های فسفونیوم، N-هالامین‌ها، بطور وسیعی در روکش‌های ضدمیکروبی استفاده می‌شوند. در میان همهٔ این عوامل، N-هالامین‌ها دارای عملکرد ضد باکتری بسیار عالی در برابر طیف وسیعی از میکروب‌ها می‌باشند. آنها حاویِ هالوژن اکسایشی می‌باشند که می‌توانند جهتِ غیرفعال‌کردن میکروارگانیسم‌ها، بصورت مستقیم به غشای سلولیِ میکروبی منتقل شود. ترکیبات N-هالامین می‌توانند حاوی یک یا بیشتر پیوندهای کوالانسی نیتروژن-هالوژن باشند، که حاصل از هالوژناسیون گروه‌های ایمید، آمید، آمین هستند. اخیراً یک سری از N-هالامین سیلوکسان‌ها تهیه شده و جهت تولید منسوجات سلولزی ضدمیکروب، روی پارچه‌های پنبه‌ای روکش شده بودند. به عنوان مثال ۳-(۳-تری‌اتوکسی‌سیلیل-پروپیل)-۹،۹،۷،۷-

تترامتیل-۸،۳،۱-تری‌آزااسپیرو [۵،۴] دکان-۴،۲-دیون سنتز شده و به سطوح سلولزی و ذرات ژل سیلیکا پیوند داده شده بود و منومر حاصل با فرمولاسیون پلی‌اورتان کوپلیمریزه شد. مواد عمل‌آوری‌شده در برابر باکتری گرم-مثبت استافیلوکوک اورئوس و گرم-منفی اشریشیا کولی O157:H7، ضد باکتری بودند.

۴-(۳-تری اتوکسی سیلیل پروپیل)-۶،۶،۲،۲-تترامتیل پی پریدین و ۳-تری اتوکسی سیلیل پروپیل-۵،۵،۲،۲-تترامتیل‌ایمیدآزولیدین-۴-یک نیز برای فراهم کردنِ فعالیت ضدباکتری روی سطوح مختلف از جمله سلولز، ذرات شن و سرامیک‌ها، استفاده شده بود.

ترکیبات آمیونیوم نوع چهارم (QAC) که دارای زنجیرهای ۱۲ تا ۱۸ اتم کربن هستند، بطور گسترده‌ای به عنوان عوامل ضدمیکروب استفاده شده بودند. هرچند، نمک‌های آمونیوم دارای تأثیر ضدباکتری نسبتاً کمتری در مقایسه با ترکیبات N-هالامین می‌باشند. آنها به سوی دیواره‌های سلولی حاویِ فسفات باکتری از طریق برهم‌کنش یونی جذب می‌شوند و به دیوارهٔ سلولی نفوذ می‌کنند و سپس به غشای سیتوپلاسمی حمله می‌کنند، که سببِ تراوش یا نشتِ اجزاء درون‌سلولی می‌شود. یک سری از کوپلیمرها که با واحدهای N-هالامین سیلوکسان و نمک آمونیوم نوع چهارم ترکیب شده بودند، برای ایجاد منومر سیلوکسان محلول در آب تهیه شده بودند. پلی (۶،۶،۲،۲-تترامتیل-۴-پی‌پریدیل متااکریلات-کو-نمک پتاسیم اکریلیک اسید) و پلی (۶،۶،۲،۲-تترامتیل-۴-پی-پریدیل متااکریلات-کو-تری‌متیل-۲-متااکریلوکسی-اتیل‌آمونیوم کلرید) تهیه شدند و بطور موفقیت‌آمیزی روی پارچهٔ پنبه‌ای از طریق تکنیک اتصال لایه به لایه روکش شدند. کوپلیمرهای N-هالامین سیلوکسان و نمک سیلوکسان آمونیوم نوع چهارم با استفاده از ۵،۵-دی‌متیل‌هیدانتوئین و تری‌متیل‌آمین به عنوان گروه‌های عاملی، تهیه شده بودند. امّا هیچ گزارشی در مورد هم‌افزاییِ ترکیبات آمونیوم نوع چهارم و N-هالامین بواسطهٔ افزودنِ QAC در روکش‌های N-هالامین وجود نداشت.

در این خصوص، ۵،۵-دی‌متیل-۳- (۳'-تری اتوکسی سیلیل پروپیل) هیدانتوئین (SPH) (شکل۱) و ۳-(تری متوکسی سیلیل) پروپیل-اکتادسیل دی‌متیل آمونیوم کلرید (SPODA) (شکل ۱) بطور جداگانه سنتز شدند. ترکیبات سنتزشده بصورت تکی و ترکیبی، به منظور تولید سلولز ضدمیکروبی روی پنبه روکش شدند. پارچه‌های پنبه‌ای با محلول مخلوط با استفاده از روش pad-dry (PD) و روش pad-dry-cure (PDC) روکش‌دهی شدند. تأثیر دو روشِ روکش‌دهی روی خواص سطحی پنبهٔ روکش‌دهی‌شده و اثردهیِ ضدباکتری، مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌های پنبه‌ای عمل‌آوری‌شده با N-هالامین و نمک آمونیوم نوع چهارم برای فعالیت ضدمیکروبی در برابر باکتری‌های گرم-مثبت و گرک-منفی به ترتیب استافیلوکوک اورئوس و اشریشیا کولی O157:H7 تحت آزمایش قرار گرفتند. همیاری نمک آمونیوم نوع چهارم افزوده به روکش‌های N-هالامین در بهبود اثردهیِ ضدباکتری نیز بررسی شد.

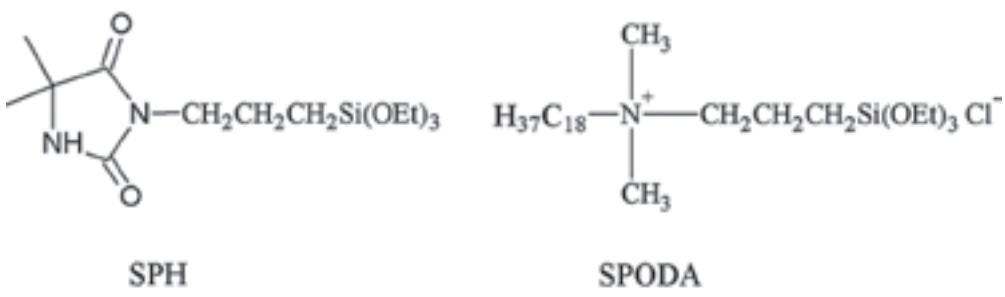
تجربیات

مواد:

پارچهٔ سفیدگری‌شدهٔ ۱۰۰ درصد پنبه از کمپانی رنگرزی و چاپ Zhejiang Guandog (چین) تهیه شد. ۵،۵-دی‌متیل‌هیدانتوئین از کمپانی Hebei Yaguang Fine Chemical تهیه شد. (۳-کلروپروپیل) تری‌اتوکسی‌سیلان و N,N-دی‌متیل اکتادسیل‌آمین از شرکت مواد شیمیاییِ J&K تهیه شدند. اتانول، هیدروکسید سدیم، N,N-دی‌متیل‌فرمامید (DMF)، یدید پتاسیم، اسید سولفوریک، و هیپوکلریت سدیم از کمپانی Sinopharm Chemical Reagent تهیه شدند. همهٔ مواد شیمیایی همانگونه که دریافت شدند مورد استفاده قرار گرفتند و هیچگونه خالص‌سازی بعدی انجام نشد. باکتری‌های بکاررفته در آزمایش استافیلوکوک اورئوس ATCC 6538 و اشریشیا کولی O157:H7 ATCC43895 (مجموعهٔ کشتِ American Type) بودند. آگار تریپتیکاز سوی (TSA) مورد استفاده، از Difco Laboratories بود.

تجهیزات

طیف‌های FTIR پنبه، پنبهٔ روکش‌دهی‌شده و پنبهٔ روکش‌شدهٔ کلرینه، توسط طیف‌سنجِ Nicolet Nexus 470 در بازهٔ cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ بواسطهٔ



شکل ۱- ساختارهای ترکیبات تحت مطالعه

۳۲ پویش در قدرت تفکیک 4 cm-1 ثبت شدند. میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی SU-1510 برای شناسایی مورفولوژی سطحی الیاف پنبهٔ کنترل یا مرجع و پنبهٔ روکش‌دهی‌شده استفاده شد.

سنتز ۵،۵-دی‌متیل-۳- (۳'-تری اتوکسی سیلیل پروپیل) هیدانتوئین (SPH)

۵،۵-دی‌متیل-۳-(۳'-تری‌اتوکسی‌سیلیل‌پروپیل) هیدانتوئین، با استفاده از روش گزارش‌شده در مقالات قبلی سنتز شد. بطور خلاصه، نمک سدیمِ ۵،۵-دی‌متیل‌هیدانتوئین توسط مخلوط‌کردنِ ۵،۵-دی‌متیل‌هیدانتوئین با مقدار اکی‌مولار یا هم‌مول از NaOH در اتانول و رفلاکس به مدت ۱۰ دقیقه تهیه شد. نمک‌ها توسط حذف حلّال تحت خلأ جدا شدند. بعد از خشکاندن به مدت ۲ روز در ۴۵ درجهٔ سانتیگراد، نمک شرح‌داده شده در بالا در DMF حل شد. سپس مقدار اکی‌مولار از (۳-کلروپروپیل)تری‌اتوکسی‌سیلان به محلول بالا اضافه شد و مخلوط در ۹۵ تا ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۱۶ ساعت هم زده شد. NaCl تولیدی توسط تصفیه یا فیلتراسیون حذف شد و حلّال DMF تحت خلأ زدوده شد.

سنتز ۳- (تری‌متوکسی‌سیلیل) پروپیل‌اکتادسیل دی‌متیل آمونیوم کلرید (SPODA):

۳- (تری‌متوکسی‌سیلیل) پروپیل‌اکتادسیل دی‌متیل آمونیوم کلرید با استفاده از روش گزارشی در مقالات قبلی سنتز شد. بطور خلاصه، N,N-دی‌متیل‌اکتادسیل آمین، DMF، یدید پتاسیم و (۳-کلروپروپیل) تری‌اتوکسی‌سیلان در یک بالن تحت جو نیتروژن افزوده شدند. دمای واکنش در ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد تنظیم شده بود. مخلوط به مدت ۲۴ تا ۳۶ ساعت هم زده شد. بعد از تکمیل واکنش، حلّال و واکنش‌دهنده‌های اضافی تبخیر شدند. محصول موردنیاز سپس جدا شد.

روش‌های روکش‌دهی

دو روشِ مورد استفاده در این آزمایش، فرایند Pad–Dry (PD) و فرایند سنتی Pad–Dry–Cure (PDC) بودند.

در فرایند Pad-Dry، نمونه‌های پنبه در غلظت معینی از محلول SPH، محلول SPODA و محلول مخلوط SPH و SPODA به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. دو مرتبه غوطه‌وری در محلول و دو مرحله فشرده‌شدن در لابه‌لای غلتک‌ها، به منظور ایجادِ برداشت مرطوب ۱۰۰ درصد وزنی استفاده شدند. بعد از فرایند پد کردن، نمونه‌های روکش‌دهی‌شده، به مدت ۱ ساعت در ۹۵ درجهٔ سانتیگراد خشکانده شدند. سپس نمونه‌ها در ۰/۵ درصد محلول دترجنت به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شدند و به دنبال آن آبکشی‌های متعدد با آب به منظور حذف هرگونه روکشِ پیونددادهٔ بطور ضعیف، انجام شد. سپس نمونه‌ها در دمای محیط خشک شدند. از آنجایی که برای خشک‌شدن نمونه‌های فشرده‌شده در فرایند Pad-Dry، ۱ ساعت زمان نیاز است، که در تکمیل نساجی عملی نمی‌باشد، فرایند Pad-Dry-Cure در روکش‌دهی پارچهٔ پنبه‌ای امتحان شد. در فرایند Pad-Dry-Cure، روش‌های غوطه‌وری و پد کردن مشابه فرایند Pad-Dry هستند. بعد از پدکردن، نمونه‌ها در ۹۵ درجهٔ سانتیگراد به مدت ۹۰ ثانیه خشک شدند و سپس به مدت ۶۰ ثانیه در ۱۵۰ درجهٔ سانتیگراد تحت پخت قرار گرفتند. روش‌های شستشو و خشک‌شدنِ بعدی مشابه فرایند pad-dry بودند.

روش کلرینه‌سازی

نمونه‌های پنبه‌ای روکش‌شده با SPH، در محلول ۵ درصدِ شستشو یا سفیگری خانگی (pH با استفاده از H_2SO_4 ۱ نرمال در ۷ تنظیم شد) با هم زدن در دمای اتاق به مدت ۶۰ دقیقه، غوطه‌ور شدند. بعد از کلرینه‌سازی، نمونه‌ها به منظور حذف کلر آزاد کاملاً با آب یون‌زدوده شسته شدند. سپس نمونه‌های کلرینه به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۵ درجهٔ سانتیگراد خشکانده شدند و برای آزمایش بعدی در دسیکاتور ذخیره شدند.

تیتراسیون تحلیلی

روش تیتراسیون یدومتری/تیوسولفات برای تعیین بارگذاری کلر اکسایشیِ نمونه‌های روکش‌دهی‌شده استفاده شد. حدود ۰/۱ گرم نمونه‌های کلردار شده، در محلول آب معلق شدند؛ و سپس ۰/۵ گرم یدید پتاسیم و ۱ میلی‌لیتر محلول ۱ درصدِ آبی نشاسته به محلول اضافه شد. محلول با تیوسولفات سدیم ۰/۰۰۱ نرمال تیتر شد. درصد وزنی Cl^+ روی نمونه‌ها با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$R\% = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

که در اینجا N و V، به ترتیب نرمالیته (eqv/L) و حجمِ $Na_2S_2O_3$ (L) مصرفی در تیتراسیون هستند؛ و W، وزن بر حسب گرم نمونهٔ پنبه‌ای می‌باشد.

تست ضدمیکروب

هر دو نمونهٔ عمل‌آوری‌شده با SPH و SPODA، با باکتری‌های استافیلوکوک اورئوس (ATCC 6538) و اشریشیا کولی O157:H7 (ATCC 43895)، با استفاده از روش تست اصلاح‌شدهٔ AATCC 100-1999، به چالش کشیده شدند. ۲۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون یا تعلیق باکتریایی، که در PH = ۷ بافر شده بود، به مرکزِ قسمتی از نمونهٔ روکش‌شده با مساحت ۶/۴۵ cm^2 در یک پتری‌دیش استریل افزوده

شـد. نمونـهٔ هماننـد دوم روی نمونـهٔ اول قـرار داده شـد و تعلیـق باکتریایـی را پوشـش داد. نمونه‌هـا بـا زمـان تمـاس ۵، ۱۰ و ۳۰ دقیقـه در معـرض باکتـری قـرار گرفتنـد. بعـد از فراینـد غیرفعالسـازی، نمونه‌هـا جهـتِ حـذف تمـام کلـر اکسایشـی، در لوله‌هـای اسـتریلِ حـاوی ۵ میلی‌لیتـر تیوسـولفات سـدیم ۰/۰۲ نرمـال قـرار داده شـدند. محلول‌هـای دفع‌شـده بـا ۱۰۰ میلی‌مـولار بافـر فسـفات، PH = ۷، رقیـق شـدند و روی آگار سـوی تریپتیـکاز (Trypticase soy) قـرار داده شـدند. بعـد از قرارگیـری در انکوباتـور بـه مـدت ۲۴ سـاعت در ۳۷ درجـهٔ سـانتیگراد، کلنی‌هـای باکتـری بـه منظـور تعییـن اثربخشـیِ ضدباکتـری، شـمرده شـدند.

رطوبت بازیافتهٔ نمونه‌های روکش‌دهی‌شده

رطوبـت بازیافتـهٔ نمونه‌هـای پنبـه‌ای، بـا اسـتفاده از روش خشـکاندن آونـی آزمایـش شـد. نمونه‌هـای پنبـه‌ای بـه مـدت ۲۴ سـاعت در شـرایط اتـاق (۲۵ درجـهٔ سـانتیگراد، ۶۵ درصـد رطوبـت نسـبی) قـرار داده شـدند. سـپس نمونه‌هـا بـه مـدت ۹۰ دقیقـه در ۳ ± ۱۰۵ درجـهٔ سـانتیگراد خشـکانده شـدند. رطوبت‌هـای بازیافتـهٔ نمونه‌هـا بـا اسـتفاده از رابطـهٔ زیـر محاسـبه شـد:

$$Cl^{+}\% = \frac{N \times V \times 35.45}{W \times 2} \times 100$$

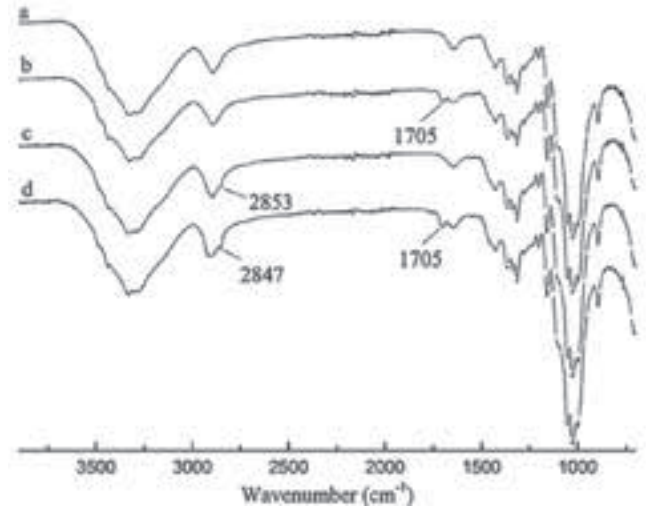
کـه در اینجـا R، رطوبـت بازیافتـه می‌باشـد، و W_1 و W_2، بـه ترتیـب وزن مرطـوب و وزن خشـک (گـرم) نمونه‌هـای پنبـه هسـتند.

نتایج و بحث

بررسی نمونه‌های پنبهٔ روکش‌دهی‌شده

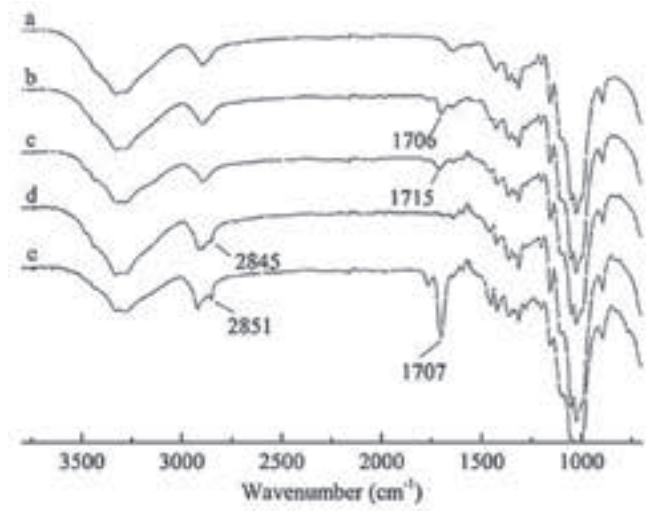
طیف‌هـای FTIR مربـوط بـه پنبـه، پنبـهٔ روکش‌دهی‌شـده بـا SPH، پنبـهٔ روکش‌دهی‌شـده بـا SPODA و پنبـهٔ روکـش‌داده شـده بـا SPH و SPODA بـا اسـتفاده از فراینـد Pad-Dry در شـکل ۲ نشـان داده شـده‌اند. بانـد ارتعاشـیِ مشـخصهٔ پنبـهٔ روکش‌دهی‌شـده بـا SPH در $1705\ cm^{-1}$ در شـکل ۲.b، ظاهـر شـد، کـه مربـوط بـه حالـت ارتعاشـی کربونیـلِ SPH می‌باشـد. ایـن بانـد در شـکل ۲.a بـرای پنبـه مشـاهده نشـد. بانـد ارتعاشـی مشـخصهٔ پنبـهٔ روکـش‌داده شـده بـا SPODA در شـکل ۲.c در $2853\ cm^{-1}$ ظاهـر شـد، کـه مربـوط بـه حالت‌هـای ارتعاشـی متیـل SPODA می‌باشـد. ایـن بانـد در شـکل ۲.a مشـاهده نشـد. باندهـای جدیـد در ۱۷۰۵ و ۲۸۴۷ کـه در شـکل ۲.d بـرای پنبـهٔ روکش‌دهـی شـده بـا SPH و SPODA مشـاهده می‌شـوند، مربـوط بـه حالت‌هـای ارتعاشـی کربونیـلِ SPH و حالت‌هـای ارتعاشـی متیـلِ SPODA می‌باشـند.

طیف‌هـای FTIR پنبـه، پنبـهٔ روکـش‌داده شـده بـا SPH، پنبـهٔ کلرینـهٔ روکش‌دهـی شـده بـا SPH، پنبـهٔ روکـش‌داده بـا SPODA، پنبـهٔ روکش‌شـده بـا SPH و SPODA با اسـتفاده از فراینـد Pad-Dry-Cure در شـکل

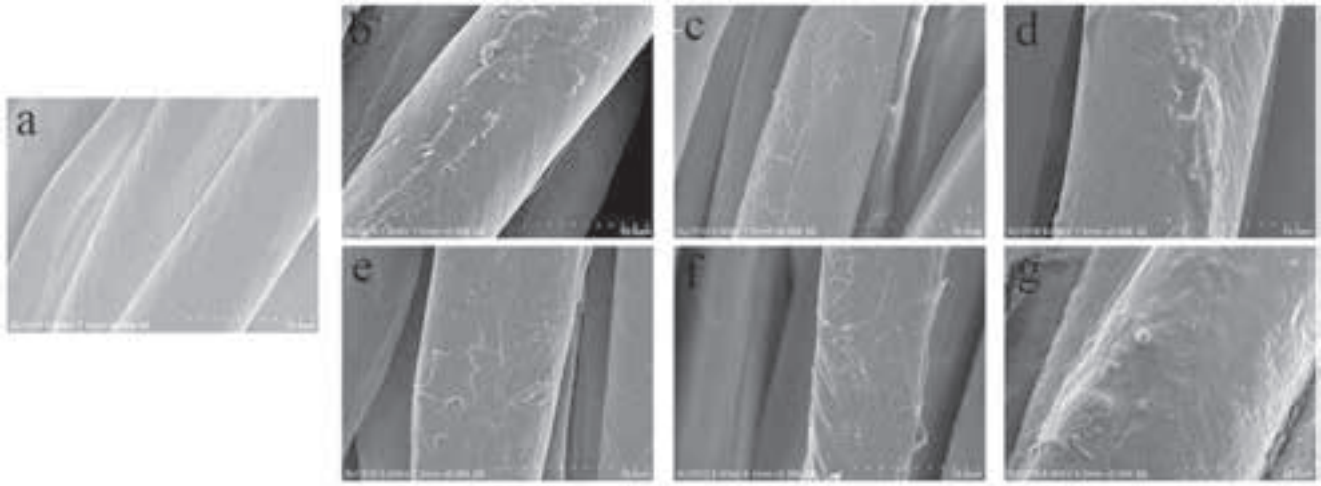


شکل ۲- طیف‌های FTIR نمونه‌های روکش‌شده با استفاده از فرایند pad-dry: (a) پنبه، (b) پنبه + SPH، (c) پنبه + SPODA، (d) پنبه + SPH + SPODA.

۳ نشـان داده شـده‌اند. بانـد ارتعاشـی مشـخصهٔ پنبـهٔ روکش‌دهی‌شـده بـا SPH در شـکل ۳.b در $1706\ cm^{-1}$ ظاهـر شـد، کـه مربـوط بـه حالـت ارتعاشـی کربونیـلِ SPH می‌باشـد. ایـن بانـد در شـکل ۳.a مربـوط بـه پنبـه مشـاهده نشـد. بعـد از کلـردار کردن، بانـد ارتعاشـی از ۱۷۰۶ بـه $1715\ cm^{-1}$ شـیفت پیـدا کـرد، کـه بـه دلیـل اثـر الکترون-کشـندگیِ کلـر اکسایشـی می‌باشـد. بانـد ارتعاشـی مشـخصهٔ پنبـهٔ روکـش‌داده شـده بـا SPODA در شـکل ۳.d در $2845\ cm^{-1}$ ظاهـر شـد، کـه مربـوط بـه حالت‌هـای ارتعاشـی گـروه متیـل SPODA می‌باشـد. ایـن بانـد در شـکل ۳.a مشـاهده نشـد. باندهـای جدیـد در ۱۷۰۷ و $2851\ cm^{-1}$ کـه در شـکل ۳.e بـرای پنبـهٔ روکش‌شـده بـا SPH و SPODA مشـاهده می‌شـوند، مربـوط بـه حالـت ارتعاشـی کربونیـلِ SPH و حالت‌هـای ارتعاشـی متیـلِ SPODA هسـتند. عکس‌هـای SEM سـطوح الیـاف پنبـهٔ عمل‌نشـده و عمل‌آوری‌شـده در



شکل ۳- طیف‌های FTIR نمونه‌های روکش‌شده با استفاده از فرایند pad-dry-cure: (a) پنبه، (b) پنبه + SPH، (c) پنبه + SPH.Cl، (d) پنبه + SPODA، (e) پنبه + SPH + SPODA.



شکل ٤- عکس‌های SEM سطوح الیاف پنبهٔ عمل‌نشده و عمل‌آوری‌شده: (a) پنبه، (b) پنبه + SPH فرایند PD، (c) پنبه + SPODA فرایند PD، (d) پنبه + SPH + SPODA فرایند PD، (e) پنبه + SPH فرایند PDC، (f) پنبه + SPODA فرایند PDC، (g) پنبه + SPH + SPODA فرایند PDC.

شکل ۴، با بزرگنمایی ۵۰۰۰ نشان داده شده‌اند. بطور آشکاری، الیاف پنبهٔ روکش‌دهی شده با SPH و SPODA (در شکل b-g.۴)، سطوح زبر و ناهمواری در مقایسه با پنبهٔ روکش‌نشده (شکل a.۴) داشتند. علاوه بر این، نمونه‌های پنبهٔ روکش‌شده با استفاده از فرایند Pad–Dry–Cure (شکل e-g.۴)، سطوح زبرتر و فیلم‌های ضخیم‌تری نسبت به نمونه‌های روکش‌شده با فرایند Pad-Dry (شکل b-d.۴) دارند. عکس‌های SEM نشان دادند که روکش‌دهی با SPH و SPODA، روی سطوح الیاف پنبه رخ داده است.

اثربخشی ضد باکتری:

نتایج آزمایش ضدباکتریِ نمونه‌های پنبهٔ روکش‌شده با SPH و SPODA در برابر استافیلاکوک اورئوس و اشریشیا کولی O157:H7 به ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. به روشنی می‌توان مشاهده کرد که همهٔ نمونه‌های کلردار نشده و نمونه‌های عمل‌آوری-شده با SPODA، تنها باعث درجهٔ کوچکی از کاهش باکتری شدند. از این گذشته، در مقایسه با ترکیبات N-هالامین، نمک‌های آمونیوم نوع چهارم دارای اثردهیِ غیرفعالسازی باکتریِ نسبتاً کمتری هستند. کاهش یا احیای استافیلوکوک اورئوس نسبت به اشریشیا کولی، مقداری بیشتر می‌باشد. در این آزمایش جهت مقایسه، بارگذاری کلر در ۰/۲۴ درصد وزنی Cl+ کنترل شد.

با توجه به روش روکش‌دهی Pad-Dry، در آزمایش ۱، نمونه‌های روکش‌شده با فقط SPH، تمام استافیلاکوک اورئوس و اشرشیا کولی را در طول ۳۰ دقیقه خنثی یا غیرفعال کردند، درحالیکه نمونه‌های کلردارِ روکش‌شده با SPH و SPODA تمام استافیلاکوک اورئوس و اشریشیا کولی را در ظرف ۱۰ دقیقه خنثی کردند. افزودن نمک آمونیوم نوع چهارم-SPODA کمکی به خنثی‌سازی باکتری نکرد. مقدار کمی تناقض در آزمایش ۲ مشاهده شد. نمونه‌های کلردار روکش‌دهی‌شده با SPH، $7/3$ log cfu/cm^2 از باکتری استافیلوکوک اورئوس را در ظرف ۱۰ دقیقه خنثی کردند، درحالیکه نمونه‌های کلردار روکش‌شده با SPH و SPODA، باعث کاهشِ log cfu/cm^2 ۴/۸۷ از باکتری استافیلوکوک اورئوس در طول ۵ دقیقه شدند و همهٔ باکتری را (۷/۳ log cfu/cm^2) در ظرف ۱۰ دقیقه خنثی کردند. این امر می‌تواند به دلیل دشواری اجرای آزمایش باکتری قابل‌تکثیر روی سطوح منسوجات باشد. با توجه به اشریشیا کولی O157:H7، افزودن نمک آمونیوم نوع چهارم (SPODA) اثر مثبت کمی روی فعالیت ضدباکتری داشت. مکانیزم ابتداییِ عملِ ضدباکتری برای زیست‌کُش‌های نوع چهارم، شکست غشای سلولی، و سپس نشت یا تراوش اجزای سلولی بحرانی می‌باشد، که منجر به عدم فعالیت

جدول ۱- اثردهی‌های ضدباکتری در برابر استافیلوکوک اورئوس

Sample	Contact time (min)	PD process[a]		PDC process[b]
		Exp 1	Exp 2	
Cotton + SPH[c]	30	0.02	1.38	0.05
Cotton + SPH-Cl[d]	5	3.33	7.30	0.39
	10	3.75	7.30	0.97
	30	7.05	7.30	4.35
Cotton + SPODA	5	0.25	1.64	0.03
	10	0.26	1.73	0.17
	30	0.28	1.77	0.28
Cotton + SPH-Cl[d] +SPODA	5	4.27	4.87	0.82
	10	7.05	7.30	1.77
	30	7.05	7.30	2.84

a غلظت‌های مایع تلقیح استافیلوکوک اورئوس در آزمایش ۱ و آزمایش ۲، ۷/۰۵ و ۷/۳۰ log بودند.
b غلظت‌های مایع تلقیح استافیلوکوک اورئوس log ۷/۲۶ بودند.
c نمونه‌های مرجع کلردار نشده.
d نمونه‌های کلرینه یا کلردار شده حاوی بارگذاری Cl^+ برابر wt% ۰/۰۱ ± ۰/۲۴ هستند.

یـا خنثی‌سـازی سـلولی می‌شـود. درحالیکـه مکانیـزم عمـل ضدباکتـری زیسـت‌کُش‌های N–هالامیـن، شـامل انتقـال مسـتقیم هالـوژن اکسایشـی بـه سـلول می‌باشـد و خنثی‌سـازی سـلولی توسـط اکسـایش بـه وقـوع می‌پیونـدد. هنگامـی کـه از N–هالامیـن و نمـک آمونیـوم نـوع چهـارم بـا هـم اسـتفاده می‌کنیـم، اثربخشـی ضدباکتـری می‌توانـد بـرای باکتـری گـرم منفـی اشریشـیا کولـی، کـه دیـوارهٔ سـلولی پیچیده‌تـری از باکتـری گـرم مثبـت اسـتافیلوکوک اورئـوس دارد، بهبـود یابـد.

در مقایسـه بـا فراینـد روکش‌دهـی Pad-Dry، نمونه‌هـای کلـردار روکش‌شـده بـا SPH و SPODA در ۱۵۰ درجـهٔ سـانتیگراد در فراینـد pad–dry-cure، اثردهـی ضدباکتـری نسـبتاً کمتـری از خـود نشـان دادنـد. نمونه‌هـای کلـردار روکش‌دهـی شـده بـا فقـط SPH، می‌تواننـد تنهـا سـبب ۴/۳۵ و ۰/۴۶ log cfu/cm^2 کاهـش باکتـری در طـول ۳۰ دقیقـه، بـه ترتیـب بـرای اسـتافیلوکوک اورئـوس و اشریشـیا کولـی شـوند.

افـزودنِ SPODA در نمونه‌هـای کلـردار روکش‌شـده بـا SPH، افزایـش قابل‌توجهـی در اثردهـی ضدباکتـری نشـان نـداد. عکس‌هـای SEM سـطوح نمونه‌هـای عمل‌آوری‌شـده نشـان داد کـه فیلم‌هـای ضخیم‌تـرِ تشـکیلی روی سـطوح پنبـه در هنـگام پخـت در ۱۵۰ درجـهٔ سـانتیگراد، می‌توانـد سـبب افزایـش در آبگریـزی نمونه‌هـای پنبـه‌ای و درنتیجـه کاهـش تمـاس بـا سـلول‌ها و کاهـش نـرخ غیرفعالسـازی باکتـری شـود. رطوبـت بازیافتـهٔ نمونه‌هـای عمل‌آوری‌شـده در جـدول ۳ نشـان داده شـده‌اند. می‌تـوان بـه وضـوح مشـاهده کـرد کـه رطوبت‌هـای بازیافتـهٔ نمونه‌هـای عمل‌آوری‌شـده در ۱۵۰ درجـهٔ سـانتیگراد اندکـی کمتـر از نمونه‌هـای عمل‌آوری‌شـده در ۹۵ درجـهٔ سـانتیگراد بودنـد، کـه منجـر بـه افزایـش در آبگریـزی نمونه‌هـا می‌شـود. در مطالعـهٔ قبلـی، ایـن امـر نشـان داده شـد کـه آبگریـزی پارچـه می‌توانـد تمـاس بیـن سـلول‌ها و

جدول ۲- اثردهی‌های ضدباکتری در برابر اشریشیا کولی O157:H7

Sample	Contact time (min)	PD process[a]		PDC process[b]
		Exp 1	Exp 2	
Cotton + SPH[c]	30	0.01	0.16	0.06
Cotton + SPH-Cl[d]	5	0.30	0.44	0.14
	10	2.45	0.72	0.37
	30	7.04	7.43	0.46
Cotton + SPODA	5	0.18	0.92	0.17
	10	0.21	0.89	0.32
	30	0.27	1.09	0.52
Cotton + SPH-Cl[d] + SPODA	5	1.07	0.52	0.06
	10	7.04	0.79	0.24
	30	7.04	7.43	3.37

a غلظت‌های مایع تلقیح اشریشیا کولی در آزمایش ۱ و آزمایش ۲، ۷/۰۴ و ۷/۴۳ log بودند.
b غلظت‌های مایع تلقیح اشریشیا کولی log ۷/۴۳ بودند.
c نمونه‌های مرجع کلردار نشده.
d نمونه‌های کلرینه یا کلردار شده حاوی بارگذاری Cl^+ برابر ۰/۰۱ wt% ± ۰/۲۴ هستند.

جدول ۳- رطوبت‌های بازیافتهٔ معمولی نمونه‌های عمل‌آوری‌شده

Process	Cotton[a] + SPH-Cl	Cotton + SPODA	Cotton + SPH-Cl + SPODA
PD	7.7	7.8	7.7
PDC	7	7.1	7.4

a رطوبت بازیافتهٔ پارچهٔ پنبهٔ خام ۷/۹ درصد می‌باشد.

کلـر اکسایشـی را کاهـش دهـد و فعالیـت ضدباکتـری را در برابـر باکتریهـا کاهـش دهـد. همچنیـن، انـرژی سـطحی کـم و مورفولـوژی یـا زبـری نمونه‌هـای روکش‌شـده، روی تمـاس باکتـری و نمونـه تأثیـر دارد.

نتیجه‌گیری

۵،۵- دی‌متیل-۳-(۳'-تـری اتوکسـی سـیلیل پروپیل) هیدانتوئیـن (SPH) و ۳- (تـری متوکسـی سـیلیل پروپیـل) اکتادسـیل دی‌متیـل آمونیـوم کلریـد (SPODA) سـنتز شـدند و بـا اسـتفاده از دو روشِ پد-خشـک (pad-dry) و پد-خشـک-پخت (pad-dry-cure) روی پارچـهٔ پنبـه‌ای روکش‌دهـی شـدند. بررسـی‌های سـاختاری و سـطحی پارچه‌هـای پنبـه‌ای روکش‌شـده، بـه ترتیـب بـا اسـتفاده از FTIR و SEM انجـام شـدند. پارچه‌هـای عمل‌آوری‌شـده تحـت فراینـد پد-خشـک-پخت، سـطوح زبرتـر و خشـن‌تر و فیلم‌هـای ضخیم‌تـری نسـبت بـه نمونه‌هـای روکش‌دهی‌شـده تحـت فراینـد پد-خشـک نشـان دادنـد. نمک‌هـای آمونیـوم نـوع چهـارم، در خنثی‌سـازی و غیرفعال‌کـردن باکتـری، نسـبت بـه ترکیبـات N–هالامیـن کمتـر مؤثـر هسـتند.

نمونه‌هـای کلرینـهٔ روکش‌دهی‌شـده بـا هـر دو ترکیبِ SPH و SPODA، بـا اسـتفاده از فراینـد پد-خشـک توانسـتند حـدود ۷ log cfu/cm^2 از باکتری استافیلوکوک اورئـوس را در ظـرف ۵ تـا ۱۰ دقیقـه و حـدود ۷ log cfu/cm^2 از باکتـری اشریشـیا کولـی را در ظـرف ۱۰ تـا ۳۰ دقیقـه خنثـی یـا غیرفعال کننـد. افـزودن نمک‌هـای نـوع چهـارم در روکش‌هـای N–هالامیـن، اثردهـیِ ضدباکتـری را در برابـر باکتـری گرم-منفـی اشریشـیا کولـی بهبـود بخشـیدند. ایـن امـر نشـان داد کـه نمـک آمونیـوم نـوع چهـارم-SPODA و ترکیبـات N–هالامیـن در روکش‌هـای ضدمیکروبـی سـازگار هسـتند. هرچنـد، نمونه‌هـای کلرینـهٔ روکش‌شـده بـا SPH و SPODA در ۱۵۰ درجـهٔ سـانتیگراد در فراینـد پد-خشـک-پخت، اثردهـی ضدباکتـری نسـبتا کمتـری نسـبت بـه نمونه‌هـای روکش‌شـده بـا فراینـد پد-خشـک داشـتند و همـکاری SPODA در نمونه‌هـای کلرینـهٔ روکش‌دهی‌شـده بـا SPH، تنهـا بهبـود کمـی در اثردهـی ضدباکتـری نشـان داد. آبگریـزی بالاتـر سـطح نمونه‌هـای پنبـه‌ای روکش‌شـدهٔ عمل‌آوری‌شـده در ۱۵۰ درجـهٔ سـانتیگراد، تمـاس بیـن سـلول‌ها و کلـر اکسایشـی را کاهـش می‌دهـد و فعالیـت ضدباکتـری را در برابـر باکتـری کـم می‌کنـد.