



## بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پارچه پنبه‌ای اصلاح شده با نانوساختار درخت‌سان پلی‌پروپیلن ایمین

سامرا سلیم‌پور، رضا محمد علی مالک\*

### چکیده:

در این تحقیق، نسل پنجم نانوساختار درخت‌سان پلی‌پروپیلن ایمین (G5-PPI) با استفاده از یک اتصال دهنده دی‌کربوکسیلیک اسید (گلو تار یک اسید) به پارچه پنبه‌ای اتصال یافت. نتایج مربوط به آنالیز FTIR پیوند استری تشکیل شده مابین گروه‌های اسیدی گلو تار یک اسید و گروه‌های هیدروکسیل کالای پنبه‌ای و گروه‌های آمیدی شکل گرفته مابین گروه‌های اسیدی اتصال دهنده و گروه‌های آمین انتهایی موجود در نانوساختار درخت‌سان را تأیید می‌کند. آنالیزهای عنصری (CHNSO) و میکروسکوپی الکترونی نشر میدانی (FE-SEM) حضور نانوساختار درخت‌سان G5-PPI بر سطح کالای پنبه‌ای را پس از دو مرتبه فرآیند شستشو نشان می‌دهد. علاوه بر این، خصوصیات فیزیکی (استحکام، ازدیاد طول، درجه سفیدی) و خصوصیات شیمیایی (میزان جذب رنگ‌زاهای دیسپرس، خاصیت آنتی‌باکتریالی مطابق استاندارد (PN-EN ISO 20645:2007) پارچه پنبه‌ای اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که استحکام و سفیدی نمونه‌ها پس از اتصال کمی تغییر می‌کند. اما میزان جذب رنگ‌زاهای دیسپرس و خاصیت آنتی‌باکتریالی کالا بهبود می‌یابد.

### مقدمه

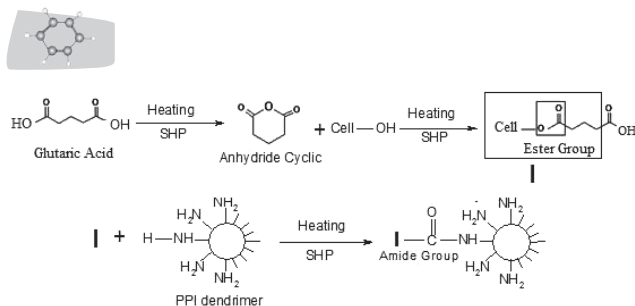
در سنتز ترکیبات آلی، طراحی نانو ساختارهای درخت‌سان موضوع نسبتاً جدیدی است. بگونه‌ای که در سه دهه گذشته، این ساختار بعنوان گروه چهارم ترکیبات پلیمری با چیدمان خاص مولکولی خود، یکی از شاخه‌های اساسی نانو تکنولوژی را تشکیل می‌دهند. اولین تلاش‌های موفقیت‌آمیز برای تولید و طراحی نانو ساختارهای درخت‌سان توسط وگنل (Vegtle) و همکارانش در سال ۱۹۷۸ میلادی صورت گرفت [۱]. این مولکولهای کوچک در ابتدا بنام مولکولهای دنبال هم رونده یا آبشاری (Cascade) نامیده شدند. چندین سال بعد، تومالیا (Tomalia) و همکارانش [۲] کلاس جدیدی از پلیمرهای آبشاری حاوی گروه‌های آمیدی را معرفی کردند که از مولکولهای نسبتاً کوچک در ساختارهای ماکرومولکولی تشکیل شده بودند. آنها این کلاس جدید ماکرومولکولی را دندریمر (Dendrimer) یا درخت‌سان نامیدند. درخت‌سان، یک کلمه یونانی است که از دو بخش دندروس (Dendros) به مفهوم درخت یا شاخه و مروس (Meros) به معنای جزء یا بخش تشکیل شده است [۳ و ۴]. درخت‌سان‌ها دارای یک هسته مرکزی با عوامل فعال متعدد هستند. از هسته مرکزی نیز بواسطه اتصالات کووالانته، انشعاباتی خارج می‌شوند که شاخه‌ها را بوجود می‌آورند. شاخه‌های اتصال دهنده درونی مجدداً با ترکیبات شاخه‌دار جدید واکنش داده و مرحله به مرحله بر هسته افزوده می‌شوند. به قرار گرفتن گروه‌های شاخه‌دار بر هسته در هر مرحله نسل (Generation) گفته می‌شود که با علامت اختصاری G نمایش داده می‌شود. در هر حال، ساختار منظم و پرشاخه، گروه‌های فعال انتهایی چندکاره، فضاهای خالی مابین شاخه‌ها (Dendritic boxes) امکان بکارگیری گروه‌های فعال و مختلف در هسته، قابلیت پذیرش مولکولهای میهمان و کپسوله کردن ذرات در اندازه‌های مختلف، رفتارهای ساختاری متنوع در محیط‌های گوناگون، قابلیت دیسپرس شدن، امکان حلالیت در محلول‌های مایبی خاص با در نظر گرفتن واکنش‌های درون و برون مولکولی، امکان سنتز از پایه‌های شیمیایی مختلف در محیط‌های همگن و ناهمگن و... از ویژگی‌های جالب و درخور توجه این پلیمرهاست که راه ورود به علوم مختلف را تسهیل

بخشیده‌اند. در این تحقیق، بر آن شدیم تا از ویژگی‌های منحصر بفرد این نانو ساختارهای درخت‌سان بر روی کالای پنبه‌ای که به وفور در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهره بگیریم. پس از اتصال نانو ساختار G5-PPI بر پارچه پنبه‌ای، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کالای اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت.

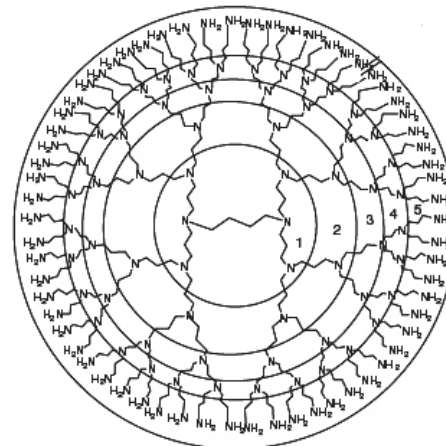
### روش تحقیق

نانوساختار درخت‌سان G5-PPI (شکل ۱) توسط شرکت هلندی Symo-Chem BV اهدا شد و بدون هیچگونه خالص‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. مواد شیمیایی نظیر کاتالیزور سدیم هیپوفسفیت (SHP) و اتصال دهنده گلو تار یک اسید ( $C_5H_6O_4$ ) با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. در سرتاسر این تحقیق از پارچه پنبه‌ای آهارگیری شده با وزن ۱۰۰ گرم بر مترمربع استفاده شد. رنگ‌زاهای دیسپرس EX-42 (C.I. Disperse Red 1, C.I. Disperse Yellow 42) مورد استفاده نیز از شرکت EX-ciba خریداری شدند. باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس (Staphylococcus aureus) توسط آزمایشگاه میکروبی‌شناسی دانشکده پزشکی دانشگاه شهید پزشکی اهدا و ماده مغذی آگار مولر هینتون (Muller-Hinton Agar) مورد نیاز برای کشت باکتری نیز از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

ابتدا پارچه پنبه‌ای در محلولی حاوی گلو تار یک اسید (GA) و سدیم هیپوفسفیت با نسبت مولی (۰/۲۷۰۰/۵۴) به مدت دو دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس، نمونه‌ها با نسبت برداشت (۱۰۰±۲٪) پد و در استنتر با دمای ۸۰°C به مدت ۵ دقیقه خشک شدند. پس از آن نمونه‌ها در دمای ۱۷۰°C به مدت ۴ دقیقه تحت عملیات پخت قرار گرفتند. به منظور جداسازی اسید و کاتالیزور اضافی، نمونه‌ها به مدت دو دقیقه زیر شیر آب روان قرار گرفتند و مجدداً خشک گردیدند [۵]. در مرحله بعد نمونه‌های اتصال یافته با اسید، در محلول حاوی G5-PPI و سدیم هیپوفسفیت با نسبت مولی (۱:۲) به مدت یکساعت قرار گرفتند. مجدداً پروسه خشک شدن و پخت نمونه‌ها مطابق شرایط ذکر شده صورت گرفت.



شکل ۲. مکانیسم اتصال نانوساختار درخت‌سان G5-PPI به کالای پنبه‌ای.



شکل ۱. نانوساختار درخت‌سان G5-PPI

استحکام سنج مدل Instron 5566 مطابق استاندارد BS 2576 مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی خاصیت آنتی‌باکتریالی پارچه اتصال یافته به درخت‌سان G5-PPI مقاومت کالای پنبه‌ای در مقابل باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس (*Staphylococcus aureus*) مطابق استاندارد PN-EN ISO 20645:2007 مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا پلیت حاوی ماده مغذی آگار مولر هینتون با غلظت استاندارد از باکتری آغشته شد. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن درون پلیت، به مدت ۲۴ ساعت در آنکوباتور با دمای ۳۷°C قرار داده شدند. نهایتاً، میزان رشد باکتری در زیر و اطراف نمونه (ناحیه بازدارندگی یا Zone of inhibition) مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

مکانیسم اتصال نانو ساختار درخت‌سان G5-PPI به پارچه پنبه‌ای در شکل ۲ آمده است. در مرحله اول، گلووتاریک اسید طی یک واکنش استریفیکاسیون از طریق شکل‌گیری یک حلقه انیدریدی به کالای پنبه‌ای متصل می‌یابد [۵]. سپس، گروه کربوکسیلیک باقیمانده گلووتاریک اسید با گروه‌های انتهایی آمینوی موجود در نانوساختار G5-PPI واکنش می‌دهد (واکنش آمیداسیون) [۶].

مطابق شکل ۳، پیک‌های  $1725\text{cm}^{-1}$  و  $1654\text{cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به گروه‌های کربونیل موجود در پیوند استری و پیوند آمیدی است. سایر پیک‌ها مربوط به ساختار شیمیایی سلولز است. شکل ۴ تصاویر FE-SEM پارچه‌های پنبه‌ای اتصال یافته به نانوساختار درخت‌سان را پس از دو مرتبه فرآیند شستشو نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این تصاویر حضور نانوساختار G5-PPI را بر روی کالای پنبه‌ای تأیید می‌کند. علاوه بر این، جدول ۱، میزان استحکام، ازدیاد طول و درجه سفیدی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانیم استحکام کالاهای سلولزی در محیط‌های اسیدی به دلیل تخریب زنجیرهای پلیمریشان کاهش می‌یابد و حضور کاتالیزور فسفردار SHP نیز به فرآیند متصل شدن

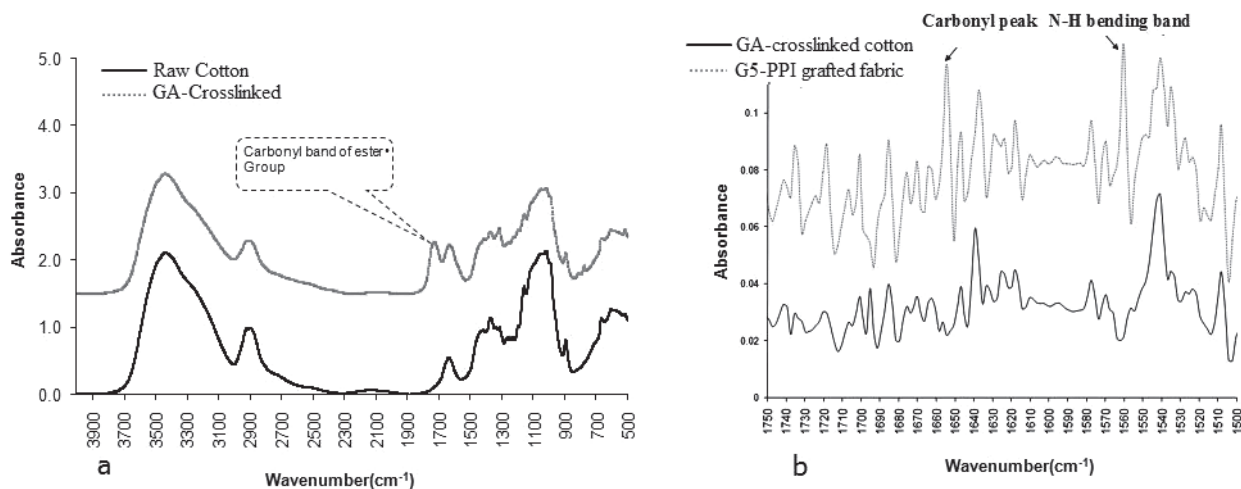
رنگریزی نمونه‌ها با رنگزاهای دیسپرس (1:50 L:R; 0.5% owf) بدون حضور هیچگونه ماده کمکی از دمای محیط آغاز و در دمای ۸۰°C به مدت ۳۰ دقیقه ادامه یافت. قدرت رنگی (K/S) نمونه‌ها مطابق معادله (۱) توسط دستگاه اسپکتروفتومتری انعکاسی Color Eye 7000/Gretag-Macbeth محاسبه شد [۶].

$$K/S = (1-R)^2/2R \quad (1)$$

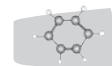
طیف FTIR حاصل از دستگاه Nicolet 670 Nexus گروه‌های استری شکل گرفته مابین کالای پنبه‌ای و اتصال دهنده گلووتاریک اسید و گروه‌های آمیدی حاصل از اتصال G5-PPI به گلووتاریک اسید را نشان می‌دهد. علاوه بر این، حضور نانوساختار درخت‌سان G5-PPI بر سطح کالای پنبه‌ای پس از دو مرتبه فرآیند شستشو، با آنالیز عنصری (توسط Hitachi Elementar, Vario El) و تصاویر میکروسکوپی FE-SEM حاصل از دستگاه S-4160 تأیید شد. میزان سفیدی نمونه‌ها مطابق فرمول CIE 1982 (معادله (۲)) توسط دستگاه اسپکتروفتومتری انعکاسی Carry 100-Varian بدست آمد.

$$W.I = Y + 800(X_n - X) + 1700(Y_n - Y) \quad (2)$$

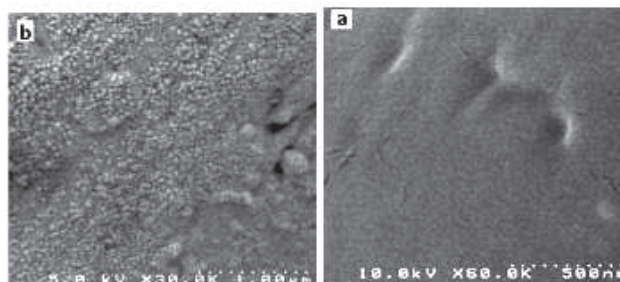
استحکام و ازدیاد طول نمونه‌های اتصال یافته به نانو ساختار G5-PPI نیز توسط دستگاه



شکل ۳. طیف FTIR: (a) پارچه پنبه‌ای اتصال یافته به گلووتاریک اسید (b) گلووتاریک اسید اتصال یافته به G5-PPI



می‌باشد. علاوه بر این، با توجه به فراوانی عنصر نیتروژن در ساختار G5-PPI، حضور این عنصر پس از دو مرتبه فرآیند شستشو بر روی کالا، نشان‌دهنده اتصال آن بر روی کالای پنبه‌ای است. بر اساس تحقیقات محققین دیگر [۹] مشخص شده است که نمکهای آمونیوم کوآترنری و بیوپلیمرهایی نظیر کیتوسان به دلیل طبیعت پلی کاتیونی خود مقاومت مناسبی در برابر رشد باکتریها دارند. به دلیل فراوانی گروههای نیتروژن در نانو ساختار درختسان G5-PPI، مقاومت پارچه پنبه‌ای اصلاح شده با این نانو ساختار در برابر باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس مطابق با استاندارد PN-EN ISO 20645:2007 مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). مطابق با این استاندارد چنانچه در زیر اطراف نمونه هیچگونه رشد باکتری مشاهده نشود، نمونه دارای خاصیت آنتی باکتریالی قابل قبولی است.



شکل ۴. تصاویر FE-SEM پارچه پنبه‌ای (a) خام و (b) اتصال یافته با نانو ساختار G5-PPI پس از دو مرتبه شستشو.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نسل پنجم نانو ساختار درختسان G5-PPI با استفاده از ماده اتصال‌دهنده گلوتاریک اسید به پارچه پنبه‌ای اتصال یافت و پس از آن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استحکام و سفیدی نمونه‌ها پس از اتصال کمی کاهش یافته اما میزان جذب رنگزای دیسپرس افزایش می‌یابد. علاوه بر این، خاصیت آنتی باکتریالی کالا پس از اتصال بهبود یافته است که این امر را می‌توان با حضور گروههای آمین موجود در نانو ساختار درختسان مرتبط دانست.

### پی‌نوشت

مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

\*rmamalek@aut.ac.ir

زنجیرها به یکدیگر در دمای پخت کمک می‌کند [۸]. با نگاهی به نتایج این جدول می‌توان دریافت که اتصال‌دهنده گلوتاریک اسید تا حدودی باعث کاهش استحکام و ازدیاد طول نمونه‌ها می‌شود اما پس از اتصال با نانو ساختار درختسان G5-PPI کاهش محسوسی در این پارامترهای فیزیکی پدید نمی‌آید. علاوه بر این، تغییرات کمی در درجه سفیدی پارچه اتصال یافته با گلوتاریک اسید و G5-PPI نسبت به نمونه خام مشاهده می‌شود و یکی از دلایل مهم برای انتخاب گلوتاریک اسید به عنوان اتصال‌دهنده، عدم تغییر قابل ملاحظه در درجه سفیدی کالا است. جدول ۲ قدرت رنگی نمونه‌ها (K/S) و میزان نیتروژن موجود در آنها را قبل و بعد از فرآیند شستشو نشان می‌دهد.

واضح است که در شرایط عادی کالای پنبه‌ای آبدوست تمایل چندانی به جذب رنگزای بدون بار و آبگریز دیسپرس ندارد. اما با توجه به نتایج، میزان جذب رنگزای دیسپرس پس از اتصال نانو ساختار درختسان بر روی پارچه پنبه‌ای افزایش یافته است که این نتیجه مربوط به جایگیری مولکولهای رنگزا در فضاهای خالی مابین شاخه‌های G5-PPI است که دلیل آن قابلیت منحصر بفراین نانو ساختار در کپسوله کردن مولکولهای میهمان

جدول ۱. پارامترهای فیزیکی نمونه پارچه‌های اصلاح شده با نانو ساختار درختسان G5-PPI

نمونه	استحکام	ازدیاد طول (nm)	درجه سفیدی
پارچه پنبه‌ای خام	۴۵۵	۵۰	۶۲/۲
پارچه اتصال یافته با GA	۴۴۳/۶	۴۰	۵۹/۸
پارچه اصلاح شده با G5-PPI	۴۴۲/۱	۳۹	۵۵/۴

جدول ۲. قدرت رنگی (K/S) و میزان نیتروژن موجود در نمونه‌ها

نمونه	قدرت رنگی* (K/S)		میزان عنصر نیتروژن (%)	
	رنگزای زرد	رنگزای قرمز	قبل از شستشو	بعد از دو مرتبه شستشو
پارچه پنبه‌ای خام	۰/۷۱۲	۰/۷۸۷	۰/۰۶۴	۰/۰۳۲
پارچه اصلاح شده با G5-PPI	۰/۹۷۹	۰/۹۳۷	۰/۰۶۳۷	۰/۰۵۲۲

\* ابعاد نمونه‌ها در این آزمایش ۱×۲ اینچ مربع بود.

جدول ۳. نتایج تست آنتی باکتریال مطابق با استاندارد PN-EN ISO 20645:2007

نمونه (قطر نمونه ۵ میلی‌متر)	استافیلوکوکوس اورئوس	
	رشد در زیر نمونه	رشد در اطراف نمونه
پارچه پنبه‌ای خام	خیر	زیاد
پارچه اصلاح شده با G5-PPI	خیر	خیر