

# کاربرد فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسلی در صنعت نساجی

امیرحسین برنج چی، علی اکبر یوسفی\*

پژوهشکده فرایند، گروه پلاستیک، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

## چکیده:

در حین فرایندهای ریسندگی الیاف، تولید نخ، بافندگی پارچه و یا رنگرزی آن، عملیات تکمیلی مختلفی انجام می‌گیرد تا ارزش افزوده محصول نهایی ارتقاء پیدا کرده و یا عملیات ریسندگی نخ، بافت و یا رنگرزی پارچه با مشکلی مواجه نگردد. انجام عملیات تکمیلی باعث می‌شود تا علاوه بر ایجاد تغییراتی در ساختار فیزیکی و شیمیایی نخ و پارچه، خصوصیات تازه‌ای در آنها ایجاد شده و در نتیجه دامنه کاربرد آنها در جهت رفع نیاز مشتری گسترده‌تر گردد. فرایند پلیمر شدن امولسیون به دلیل مزیت‌هایی همچون سادگی فرایند تولید، امکان تولید پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا و مصرف کم انرژی دارای کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلف به ویژه صنایع نساجی می‌باشد. فرایند پلیمر شدن ادمایسلی نیز امکان ایجاد انواع پوشش‌های پلیمری با ضخامت اندک بر روی انواع سطوح را مهیا کرده و بنابراین به دلیل سهولت در انجام فرایند پوشش‌دهی، قابلیت بالایی در اصلاح خواص سطحی منسوجات را دارد. از فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسلی به طور گسترده‌ای در صنعت نساجی برای انجام عملیات تکمیلی بر روی الیاف، نخ و پارچه در جهت بهبود خواص منسوجات و ایجاد خصوصیات تازه در آنها استفاده می‌شود. در این گزارش ابتدا توضیح مختصری در خصوص فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسلی ارائه شده و سپس به کاربرد آنها در صنعت نساجی شامل تکمیل های دفع آب، ضد آتش، رسانای الکتریکی، ضد میکروبی کردن، محافظت در برابر امواج ماوراء بنفش، معطر کردن منسوجات و همچنین تولید چسب های محلول در آب جهت کاربرد در فرایندهای رنگرزی و چاپ پارچه پرداخته خواهد شد.

کلمات کلیدی: منسوجات، تکمیل، سطح فعال، پلیمر شدن، امولسیون، ادمایسلی

Application of Emulsion and admicellar polymerization processes in Textile industry

Amirhosein Berendjchi, Ali Akbar Yousefi

Plastic Department, Process Research Institute, Iran Polymer and Petrochemical Institute,  
Tehran, Iran

## Abstract

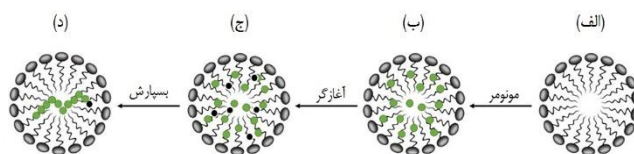
During the fiber and/or yarn spinning processes, sizing, weaving or dyeing of the textiles, various finishing treatments are performed on the fibers, yarns or fabrics to increase the added value of the final product or to prevent the technical problems during the textile production. Finishing treatments in addition to making changes in the physical and chemical structure of the yarn and fabric, would add new characteristics to the textiles and as a result, their applications are expanded in order to meet the needs of the customers. Emulsion polymerization due to many advantages such as the simplicity in the production, possibility of synthesizing polymers with higher molecular weight and low energy consumption has many applications in textile industry. Admicellar polymerization also provides the possibility of applying very thin polymeric coatings on various substrates, and therefore, it is potent to be applied on the textiles in order to improve or alter their surface properties. Emulsion and admicellar polymerization processes are widely used in the textile industry for finishing the fibers, yarns and fabrics. In this report, an introduction to the emulsion and admicellar polymerization processes is presented and finally, their applications in the textile industry finishing processes including water and fire repellent, electrical conductivity, antimicrobial, ultraviolet shedding, fragrance textiles as well as the production of water-soluble adhesives for use in fabrics dyeing and printing will be addressed accordingly.

Keywords: Textiles, Finishing, Surfactants, Polymerization, Emulsion, Admicelle.

## مقدمه:

منشاء فرایند پلیمر شدن امولسیون مربوط به جنگ جهانی دوم و تلاش‌های صورت گرفته برای تولید لاستیک در پی کمبود منابع طبیعی تولید آن در طول دوران جنگ بر می‌گردد [۱]. شیرابه لاستیک طبیعی یک امولسیون پایه آبی از ذرات پلی ایزوپرن است که به وسیله سطح فعال‌های طبیعی پایه پروتئینی در محلول معلق شده‌اند. در حالت کلی یک پلیمر لاتکس سنتز شده از طریق فرایند پلیمر شدن امولسیون، پراکنش پایه آبی از ذرات پلیمری است که به وسیله یک پایدارکننده کلوئیدی که اکثراً سطح فعال‌ها می‌باشند در داخل محلول به صورت معلق درآمده‌اند [۱]. در اوایل مطالعات صورت گرفته بر روی این فرایند، هدف صرفاً تولید شیرابه‌های لاستیک مصنوعی (به عنوان مثال لاستیک استایرن بوتادین - SBR) بود ولی به دلیل تطبیق پذیری بالای فرایند پلیمر شدن امولسیون، این روش به طور گسترده‌ای برای تولید انواع پلیمرها شامل الاستومرهای مصنوعی، پلاستیک‌های حجیم و سایر لاتکس‌های پلیمری مورد استفاده قرار گرفت [۱]. در سال‌های اخیر استفاده از این فرایند برای تولید کلونیدهای پلیمر عامل دار که برای کاربردهای بسیار خاص و در حوزه‌های صنایع الکترونیک و یا بیوپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند رواج یافته است. دلایلی را که برای استقبال گسترده از این فرایند پلیمر شدن می‌توان برشمرد عبارتند از: کاهش دمای مورد نیاز برای پلیمر شدن، ویسکوزیته پایین شیرابه در غلظت‌های بالای پلیمر، قابلیت کنترل اندازه و شکل ذرات زیرمیکرونی، سهولت در تفکیک پلیمر و شیرابه و همچنین کاربری آسان شیرابه در خصوص کاربردهایی که مربوط به پوشش‌دهی می‌باشند. در مقایسه با فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد، یکی دیگر از مزیت‌های فرایند پلیمر شدن امولسیون امکان دستیابی به سرعت‌های بالاتر پلیمر شدن و تولید پلیمرها با وزن مولکولی بالاتر است. به علاوه با توجه به توجهات گسترده‌ای که در طول دهه‌های اخیر در زمینه مشکلات آلودگی زیست‌محیطی و وضع قوانینی در جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های محیط زیست به ویژه ترکیبات فرار آلی (VOC) صورت گرفته است، رشد قابل توجهی در زمینه به کارگیری از فرایند پلیمر شدن امولسیون و تولید شیرابه‌های پایه آبی و جایگزینی آنها با سایر شیرابه‌ها بر پایه حلال‌های آلی و شیمیایی مشاهده می‌شود [۱].

چنانچه پیشتر اشاره شد در فرایند پلیمر شدن امولسیون، ذرات پلیمری در داخل یک محلول آبی که حاوی مولکول‌های سطح فعال است تولید می‌شوند. سطح فعال‌ها ترکیباتی هستند که معمولاً از یک سرآبدوست و یک زنجیره آبگریز تشکیل شده و در صورتیکه در داخل یک محلول قرار گیرند خواص کشش سطحی آنرا دچار تغییر می‌کنند [۲]. این ترکیبات که کاربردهای بسیار متنوعی در حوزه‌های مختلف دارند با توجه به ساختار قسمت آبدوست خود به سطح فعال‌های آنیونی، کاتیونی، نانونی و آمفوتری تقسیم‌بندی می‌شوند. چنانچه غلظت مولکول‌های سطح فعال در داخل محلول‌های آبی تغییر پیدا کند، آرایش یافتگی آنها حالت‌های مختلفی به خود گرفته و ساختارهای مختلفی در داخل محلول ایجاد می‌شود. یکی از متداول‌ترین ساختارهای سطح فعال‌ها، ساختار کروی ماندی است که میسل نامیده می‌شود [۳]. در فرایند پلیمر شدن امولسیون ابتدا مونومر (معمولاً آبگریز) در یک محلول فاز آبی که حاوی سطح فعال می‌باشد معلق می‌شود. در صورتیکه غلظت سطح فعال در داخل محلول آبی معادل با (و یا مقداری بیشتر از) غلظت تشکیل بحرانی میسل (CMC) باشد در اینصورت مولکول‌های سطح فعال تجمعات کروی ماندی به نام میسل تشکیل می‌دهند که معمولاً شامل ۵۰ تا ۱۰۰ مولکول سطح فعال است. در میسل، آرایش مولکول‌های سطح فعال به نحوی است که زنجیر آبگریز آنها به سمت قسمت مرکزی میسل بوده و سرهای آبدوست آنها در تماس با مولکول‌های آب می‌باشند (شکل ۱ - قسمت الف). در صورت وارد شدن مونومر به محلول پایه آبی که حاوی تجمعات میسلی است، در صورتیکه تنش برشی به این مخلوط اعمال گردد در نتیجه مونومر از طریق جذب توسط مولکول‌های سطح فعال به داخل میسل، پایدار شده و به صورت معلق در آب (با قطر تقریبی ۱۰ میکرومتر) در می‌آید. در این شرایط میسل اصطلاحاً متورم می‌گردد (شکل ۱ - قسمت ب). در مرحله بعدی و با افزودن آغازگر پلیمریزاسیون که به صورت محلول در آب می‌باشد ابتدا رادیکال‌های آزاد در داخل محلول آبی ایجاد شده و سپس این رادیکال‌ها به داخل میسل‌های متورم که حاوی مونومرها می‌باشند مهاجرت نموده (شکل ۱ - قسمت ج) و در نتیجه پلیمریزاسیون آغاز می‌شود (شکل ۱ - قسمت د). با شروع و ادامه یافتن فرایند پلیمریزاسیون، ذرات پلیمری پایدار شده در داخل میسل با قطر حدود ۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر تشکیل شده و همچنین مونومرهای بیشتری توسط میسل جذب شده و فرایند بسپارش ادامه پیدا می‌کند [۱].



شکل ۱. طرح‌واره فرایند پلیمر شدن امولسیون شامل مراحل شکل‌گیری میسل (الف)، حبس مونومر داخل میسل (ب)، افزودن آغازگر و مهاجرت رادیکال‌های آزاد به داخل میسل متورم شده (ج) و شکل‌گیری پلیمر در داخل میسل (د).

در مقایسه با فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد، در فرایند پلیمر شدن امولسیونی وزن مولکولی پلیمر سنتز شده معمولاً ۱۰ برابر بیشتر است. این مسئله به دلیل تفکیک زنجیرهای پلیمری در حال رشد و همچنین ایجاد رادیکال‌های آزاد در داخل محلول آبی و در نتیجه افزایش طول عمر رادیکال‌های آزاد می‌باشد. به دلیل آنکه پیش از اتمام فرایند پلیمر شدن، حداقل یک رادیکال آزاد در داخل میسل وجود دارد (شکل ۱ - قسمت د) در نتیجه رشد زنجیر پلیمری بیشتر بوده و پلیمر حاصله نسبت به فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد دارای وزن مولکولی بالاتری می‌باشد. در فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد، معمولاً برای بالا بردن نرخ پلیمر شدن می‌بایست غلظت ماده آغازگر را افزایش داد که در نتیجه میزان رادیکال‌های آزاد در داخل محلول افزایش پیدا کرده و این مسئله باعث می‌گردد تا فرایند پلیمر شدن زودتر خاتمه پیدا کرده و در نتیجه وزن مولکولی پلیمر حاصله کاهش یابد. در فرایند پلیمر شدن امولسیونی، به دلیل تفکیک و جداسازی پلیمرهایی که هر کدام در داخل یک میسل رشد یافته‌اند و در نتیجه به تعویق افتادن اتصال دو پلیمر با یکدیگر و خاتمه فرایند پلیمر شدن، با افزایش غلظت سطح فعال‌ها در داخل محلول امکان دستیابی به نرخ بالای پلیمر شدن و در نتیجه افزایش وزن مولکولی پلیمر حاصله در شرایط مشابه با فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد وجود دارد [۴].

یکی دیگر از روش‌های نوین پوشش‌دهی سطوح با مواد پلیمری، فرایند پلیمر شدن ادمایسلی می‌باشد. در حقیقت این روش زیرشاخه‌ای از فرایند پلیمر شدن امولسیونی بوده و تنها تفاوت آن ایجاد پوششی بسیار نازک بر روی سطح است. مشابه با فرایند پلیمر شدن امولسیونی، در این روش نیز از سطح فعال‌ها برای سنتز پلیمر بهره‌گیری می‌شود ولی غلظت سطح فعال در

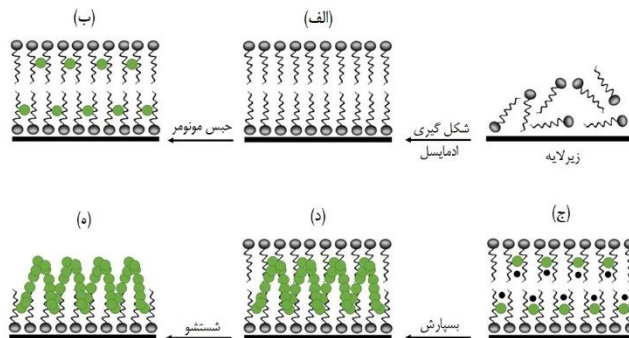
داخل محلول مقداری کمتر از غلظت بحرانی تشکیل میسر است. این فرایند که نوعی پلیمر شدن درجا به شمار می رود شامل مراحل زیر است [۶و۵] (شکل ۲):

۱ - در غلظت مشخصی از سطح فعال که اصطلاحاً غلظت بحرانی تشکیل ادمایسل (CAC) نامیده شده و دقیقاً پیش از غلظت بحرانی تشکیل میسر اتفاق می افتد تجمعاتی از مولکول‌های سطح فعال که ادمایسل نامیده می شوند شکل می گیرد (شکل ۲ - قسمت الف). علت آرایش یافتگی خاص مولکول‌های سطح فعال در غلظت بحرانی ادمایسل به حداقل رساندن کشش سطحی و کاهش میزان تماس زنجیرهای آبگریز مولکول‌های سطح فعال با آب است. در ساختار ادمایسل در لایه پایینی سرهای آبدوست مولکول‌های سطح فعال با سطح مورد پوشش دهی در تماس بوده و در لایه بالایی جهت سرهای آبدوست به سمت محلول آبی است.

۲ - به دلیل آبگریز بودن هسته ادمایسل (زنجیرهای آبگریز سطح فعال در این ناحیه با یکدیگر وارد واکنش می شوند) در صورت افزودن ترکیبات آبگریز (همچون مونومرها) به داخل محلول آبی، این ترکیبات تمایل دارند که در داخل هسته آبگریز ادمایسل قرار گیرند. این مرحله "حبس مونومر" نامیده می شود (شکل ۲ - قسمت ب).

۳ - با افزودن آغازگر پلیمر شدن (ترجیحاً به صورت محلول در آب است)، مشابه با فرایند پلیمر شدن امولسیون، رادیکال‌های آزاد شکل گرفته و با ورود آنها به داخل ادمایسل (شکل ۲ - قسمت ج)، فرایند پلیمر شدن آغاز شده و در نهایت لایه‌ای پلیمری در داخل ادمایسل تشکیل می شود (شکل ۲ - قسمت د).

۴ - در نهایت پس از اتمام فرایند پلیمر شدن و خروج سطح پوشش داده شده از داخل محلول و شستشوی نهایی آن، لایه بالایی ادمایسل بواسطه شستشو جدا شده و در نتیجه لایه نازک پلیمری بر روی سطح ایجاد می شود (شکل ۲ - قسمت ه).



شکل ۲. شکل گیری فیلم پلیمری از طریق فرایند پلیمر شدن ادمایسل شامل مراحل شکل گیری ادمایسل (الف)، حبس مونومر در داخل ادمایسل (ب)، افزودن آغازگر و مهاجرت رادیکال‌های آزاد به داخل ادمایسل (ج)، شکل گیری پلیمر داخل ادمایسل (د) و شستشوی نهایی (ه).

### کاربرد فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسل در صنعت نساجی:

در صنعت نساجی استفاده از فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسل به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته و سالانه محصولات بسیار زیادی در حوزه منسوجات و همچنین مواد کمکی و تعاونی با بهره‌گیری از این فرایندها روانه بازار می‌گردد. با توجه به اهمیت این فرایندها، در ادامه مروری بر کاربرد فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسل در حوزه صنعت نساجی ارائه می‌گردد.

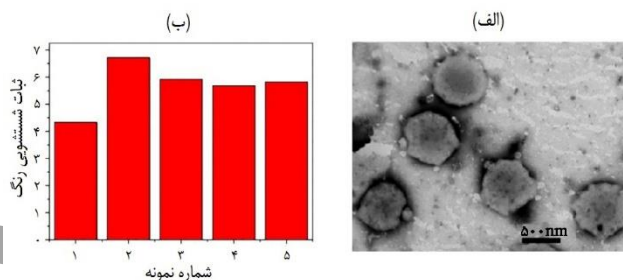
یکی از کاربردهای فرایند پلیمر شدن امولسیون در صنعت نساجی در حوزه ساخت مواد تعاونی و کمکی از جمله چسب‌های محلول در آب است. این چسب‌ها برای اتصال فیزیکی رنگ‌ها و پیگمنت‌ها به منسوجات و یا بالاتر بردن ثبات شستشویی رنگ‌ها و یا سایر مواد تکمیلی بر روی سطح پارچه مورد استفاده قرار می‌گیرند. منسوجات پنبه‌ای سهم عمده پوشاک را به خود اختصاص داده و به دلیل آبدوست بودنشان فرایند رنگ‌رزی آنها بسیار ساده می‌باشد. به دلیل هزینه پایین، برای رنگ‌رزی این دسته از منسوجات اکثراً از رنگ‌زاهای مستقیم استفاده می‌شود ولی یکی از مشکلات اصلی رنگ‌زاهای مستقیم، ثبات شستشویی نسبتاً پایین آنها است. جهت رفع این مشکل یا از سایر رنگ‌زاهای با ثبات بالاتر (نظیر رنگ‌زاهای راکتیو)

استفاده شده (که در اینصورت هزینه تولید بالاتر می‌رود) و یا برای افزایش ثبات شستشویی رنگ‌های مستقیم از عملیات بعد رنگری استفاده می‌شود. از طرفی در حوزه محصولات نوین نساجی نظیر پوشاک ضد میکروبی نیز از این چسب‌ها برای افزایش ثبات نانوذرات ضد میکروبی (نظیر نانوذرات نقره و یا مس) بر روی پارچه به طور گسترده‌ای استفاده می‌گردد. یکی دیگر از کاربردهای این چسب‌ها، رنگری الیاف آبگریز (نظیر الیاف پلی اتیلنی و یا پلی پروپیلنی) و اتصال فیزیکی رنگ و پیگمنت به آنها می‌باشد.

جهت تولید چسب‌ها عمدتاً از فرایند پلیمر شدن امولسیون استفاده می‌شود. این چسب‌ها معمولاً بر پایه ترکیبات پلیمری و یا کوپلیمری پایه اتیل آکریلات، بوتیل آکریلات، استایرن - آکریلو - نیتریل، وینیل استات، بوتادین و غیره می‌باشد. با بهره‌گیری از فرایند پلیمر شدن امولسیون و استفاده از سطح فعال‌ها، مونومرهای مذکور در داخل یک محلول آبی و با کمک میسل‌ها تعلیق شده و با افزودن یک آغازگر فرایند پلیمر شدن آغاز شده و در نهایت چسب محلول در آب تولید می‌گردد. در یک پژوهش Abdou و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از فرایند پلیمر شدن امولسیون و به کارگیری از سطح فعال آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS) اقدام به تولید چسب‌های پایه آکریلاتی کرده‌اند که دارای ذرات در ابعاد نانومتری هستند. در این تحقیق برای رنگری منسوجات صد در صد پنبه‌ای و پلی استری با پیگمنت‌ها از این چسب‌ها استفاده شده و ادعا شده که ثبات شستشویی منسوجات رنگ شده در صورت استفاده از این چسب‌ها بهبود پیدا می‌کند. ادعای اصلی مطرح شده در این پژوهش، مزیت فرایند پلیمر شدن امولسیون و رفع برخی از مشکلات فرایندی و زیست‌محیطی چسب‌های پایه پلیمری است که با روش‌هایی غیر از فرایند پلیمر شدن امولسیون ساخته می‌شوند. برخی از مشکلات مطرح شده در این پژوهش عبارتند از: دمای پخت نسبتاً بالا، زیردست نسبتاً زبر پارچه، آزاد شدن فرمالدئید و گرفتگی منافذ نازل و یا شابلون در فرایندهای چاپ منسوجات با بهره‌گیری از چاپ جوهرافشان [۷]. Gao و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بهره‌گیری از پلیمر شدن امولسیون اقدام به تولید شیرابه کوپلیمری کاتیونی کرده‌اند (شکل ۳ قسمت الف). کاربرد این شیرابه به عنوان چسب پیوند دهنده برای رنگری الیاف پنبه‌ای با پیگمنت‌ها اشاره شده است. به دلیل بار مثبت شیرابه کوپلیمری و همچنین بار منفی گروه‌های هیدروکسیل پنبه، برهم کنش‌های یونی گسترده‌ای میان الیاف و شیرابه شکل گرفته و علاوه بر افزایش جذب



پیگمنت، میزان چسبندگی پیگمنت بر روی سطح پارچه افزایش پیدا کرده و در نتیجه ثبات شستشویی و سایشی پارچه رنگری شده به میزان قابل توجهی ارتقاء می‌یابد. همچنین در حین ساخت چسب و در طول فرایند پلیمر شدن امولسیون از یک مونومر شبکه‌ای کننده (هیدروکسی اتیل آکریلات) استفاده شده و تاثیر ایجاد پیوندهای عرضی میان گروههای هیدروکسیل مونومر و گروههای هیدروکسیل سلولز نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش ادعا شده که پلیمر شدن امولسیون روشی ساده و تطبیق‌پذیر برای ساخت چسب‌های پیوند دهنده کاتیونی بوده و این چسب‌ها علاوه بر بهبود زیردست پارچه و نرم کردن آن باعث افزایش استحکام منسوج نیز می‌شوند [۸]. در شکل ۳ (قسمت ب) نمودار مرتبط با ثبات شستشویی منسوجات پنبه‌ای رنگ شده با پیگمنت، با و بدون استفاده از چسب پیوند دهنده نشان داده شده است.



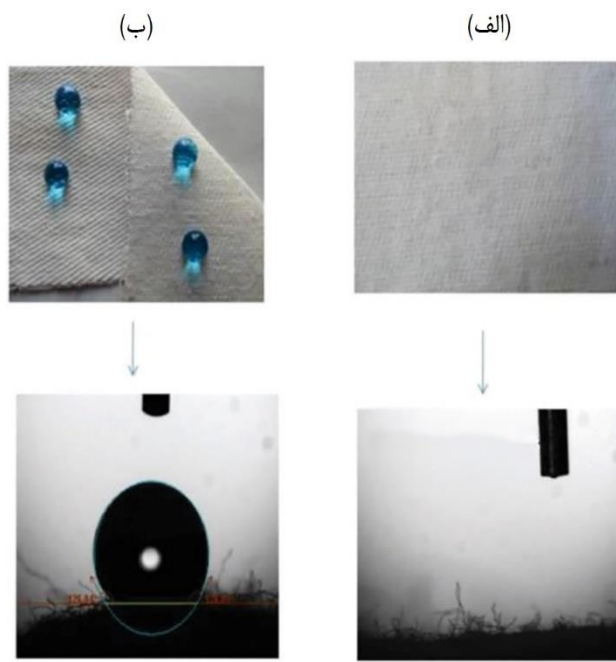
شکل ۳. (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از چسب پیوند دهنده تولید شده به روش پلیمر شدن امولسیون، (ب) برآورد ثبات شستشویی نمونه‌های پارچه پنبه‌ای رنگ شده با پیگمنت در شرایط بدون چسب (۱)، با چسب و بدون ترکیب شبکه‌ای کننده (۲)، همراه با ترکیب شبکه‌ای کننده (۳)، با چسب تجاری آنیونی (۴) و با چسب تجاری کاتیونی (۵) [۸].

ملاحظه می‌شود که استفاده از چسب تاثیر بسزایی بر روی افزایش ثبات شستشویی پیگمنت دارد. در صورت عدم استفاده از چسب تنها پیوندهای واندروالس میان مولکول‌های پیگمنت و سطح الیاف وجود داشته و بنابراین ثبات شستشویی رنگ در مقایسه با نمونه‌های رنگ شده با چسب کاهش پیدا می‌کند. در صورت افزودن چسب، برهم کنش یونی میان شیرابه و گروه‌های هیدروکسیل پنبه شکل گرفته و در نتیجه استحکام پیگمنت بر روی سطح پارچه افزایش پیدا می‌کند. نکته قابل توجه در این پژوهش، ثبات شستشویی بالاتر نمونه رنگ شده با چسب ساخته شده به وسیله پلیمر شدن امولسیون نسبت به نمونه‌های رنگ شده با چسب‌های تجاری آنیونی و کاتیونی است که نشان از مزیت فرایند پلیمر شدن امولسیون دارد.

یکی از چالش های اصلی در استفاده از ترکیبات آکریلاتی بر منسوجات، اثرگذاری لایه و استفاده از چسب بر زیردست کالا است که باعث سفت و سخت شدن آن می گردد. در این خصوص یکی از عوامل اصلی، ناهمواری و زبری پوشش ایجاد شده بر روی منسوج است. هرچه لایه چسب ایجاد شده بر روی پارچه دارای سطح صاف تر و هموارتری باشد در نتیجه نرمی و زیر دست پارچه کمتر تحت تاثیر قرار می گیرد. یکی از راهکارها جهت رفع این مشکل کنترل دقیق بر روی غلظت مواد اولیه هنگام سنتز چسب در فرایند پلیمرشدن امولسیون و تولید ذرات کلئیدی با توزیع اندازه یکنواخت می باشد. چنانچه ذرات داخل چسب دارای ابعاد نسبتاً یکسانی باشند در نتیجه پوشش ایجاد شده دارای سطحی هموارتر بوده و زیر دست پارچه کمتر تحت تاثیر قرار می گیرد. نکته دیگر در حفظ کردن حس راحتی پارچه پس از ایجاد لایه ای از چسب آکریلاتی، کاهش میزان مواد جامد (یا کاهش غلظت چسب) است که در نتیجه باعث می شود فضاهای خالی میان الیاف و نخ ها کمتر توسط ذرات جامد چسب پر شده و بنابراین تبادل هوا در داخل پارچه راحت تر انجام گرفته و خصوصیت تنفس پذیری و تبادل رطوبتی و حرارتی منسوج حفظ گردد.

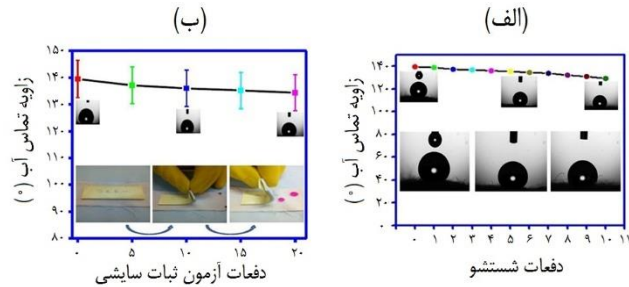
یکی دیگر از مشخصه های اصلی کاربرد چسب های آکریلاتی بر روی منسوجات، ثبات سایشی مناسب آنها می باشد. به دلیل درهم پیچیدگی زنجیرهای پلیمری پلی آکریلات، چسب های پایه آکریلاتی در صورت اعمال بر روی سطح منسوجات از ثبات سایشی قابل قبولی برخوردارند. همچنین گزارش شده که به علت بالاتر رفتن سختی خمشی الیافی که با چسب های آکریلاتی پوشش دهی شده اند، ثبات سایشی منسوجات بهبود پیدا کرده و میزان پرزدهی پارچه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد [۹]. Lee و همکاران (۲۰۰۶) با مقایسه عملکرد چسب های پلی یورتانی و پلی آکریلاتی، ثبات سایشی و شستشویی منسوج پنبه ای پوشش داده شده با میکروکپسول های معطر را مورد مطالعه قرار داده اند. در این پژوهش گزارش شده که چسب پلی آکریلاتی عملکرد بسیار مناسب تری را در مقایسه با چسب پلی یورتانی در زمینه بهبود ثبات شستشویی و سایشی پارچه پنبه ای تکمیل شده از خود نشان داده به طوری که پارچه بعد از ۲۵ بار سیکل شستشو همچنان معطر بوده و ثبات سایشی آن نسبت به پارچه عمل نشده با چسب آکریلاتی ۱۵۷ درصد بهبود پیدا می کند [۹].

در مباحث مربوط به تکمیل پارچه، آبگریز کردن منسوجات یکی از مهمترین و پرکاربردترین فرایندهای تکمیلی بر روی پارچه بوده و در این حوزه به طور گسترده‌ای از هر دو فرایند پلیمر شدن امولسیون و ادمایسلی برای آبگریز کردن پارچه استفاده شده است. جهت ضد آب کردن پارچه، یکی از متداول‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها ایجاد پوششی از ترکیبات آبگریز بر روی منسوج است و در این زمینه استفاده از ترکیبات فلورینه به دلیل کشش سطحی بسیار پایین آنها دارای ارجحیت است. Maity و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه دو روش پوشش‌دهی الیاف پنبه‌ای با ترکیبات فلورینه پرداخته‌اند. در این تحقیق میزان آبگریزی الیاف پنبه‌ای در صورتی که به صورت مستقیم با ترکیبات فلورینه پوشش‌دهی شده و یا از طریق فرایند پلیمر شدن ادمایسلی، پوشش نازکی از یک فلوروپلیمر بر روی سطح آن ایجاد شود با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته و گزارش شده که زاویه تماس قطره آب با سطح پارچه در دو روش مذکور به ترتیب ۱۱۷ و ۱۲۵ درجه است. پس از انجام مطالعات دقیق بر روی سطح الیاف مشخص شد که آبگریزی بالاتر پارچه پنبه‌ای پوشش داده شده از طریق پلیمر شدن ادمایسلی به علت ناهمواری بالاتر و تخلخل بیشتر پوشش فلوروپلیمری بر روی سطح الیاف است [۱۰]. در حقیقت به دلیل ناهمواری‌های میکرومقیاس الیاف پنبه‌ای و ناهمواری نانومقیاس پوشش ایجاد شده از طریق پلیمر شدن ادمایسلی، ساختار چند بعدی و بسیار ناهمواری بر روی سطح ایجاد شده که بر اساس معادلات مربوط به ترشوندگی سطوح که توسط Baxter, Cassie و Wenzel ارائه شده است، میزان آبگریزی پارچه پنبه‌ای تا حدود ۷ درصد بهبود پیدا کرده است. Mondal و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از فرایند پلیمر شدن ادمایسلی، پوشش نازکی از یک پلیمر فلورینه را بر روی پارچه پنبه‌ای ایجاد کرده و سپس سطح منسوج را با اکتافلوروفنیل آکریلات آبگریز نموده است. گزارش شده که منسوج پارچه‌ای تکمیل شده، هم دارای خصوصیت آبگریزی (زاویه تماس ۱۲۶ درجه) و هم دارای خصوصیت روغن‌گریزی می‌باشد (شکل ۴). در این تحقیق به نقش ویژه فرایند پلیمر شدن ادمایسلی در ایجاد سطحی ناهموار بر روی پارچه پنبه‌ای و در نتیجه ارتقاء خصوصیت آبگریزی اشاره شده است [۱۱].



شکل ۴. تصاویر پارچه‌های پنبه‌ای خام (الف) و پوشش داده شده با فلوروپلیمر با روش پلیمر شدن ادمایسلی (ب). در تصاویر بالا جهت بررسی کیفی، قطرات آب بر روی پشت و روی پارچه‌ها انداخته شده و تصاویر آنها نشان داده شده و در تصاویر پایین جهت اندازه‌گیری زاویه تماس، یک قطره آب به حجم ۱۰ میکرولیتر بر روی پارچه‌ها قرار گرفته و تصویری از آن توسط دوربین دیجیتال گرفته شده است [۱۱].

در پژوهش دیگری که توسط Mondal و همکاران به چاپ رسیده است (۲۰۱۹)، ادعا شده که منسوج پنبه‌ای پوشش داده شده با پلیمر تری فلورواتیل آکریلات از طریق فرایند پلیمر شدن ادمایسلی خواص آبگریزی قابل قبولی داشته (زاویه تماس ۱۳۵ درجه) و پوشش ایجاد شده بر روی آن دارای ثبات شستشویی و سایشی فوق‌العاده‌ای است. پس از ۱۰ بار شستشو، منسوج پنبه‌ای همچنان آبگریز بوده و زاویه تماس آب با سطح آن در حدود ۱۳۰ درجه (شکل ۵) و بعد از ۲۰ چرخه آزمون ثبات سایشی (هر چرخه از آزمون شامل چسباندن یک نوار چسب قوی بر روی پارچه و سپس برداشتن آن از روی منسوج است) خصوصیت آبگریزی پارچه هیچ تغییری پیدا نمی‌کند [۱۲].



شکل ۵. تغییرات زاویه تماس آب بعد از هربار شستشو (الف) یا آزمون ثبات سایشی (ب) برای نمونه‌های پارچه پنبه‌ای پوشش داده

شده با تری فلورواتیل آکریلات به روش پلیمر شدن ادمایسلی [۱۲].

در برخی از گزارشات، به معایبی از ترکیبات فلورینه نظیر ایجاد حساسیت‌های پوستی و به مخاطره انداختن سلامت پوست مصرف‌کننده لباس اشاره شده است. در این خصوص یکی از راهکارها علی‌رغم کشش سطحی بالاتر و در نتیجه آبگریزی کمتر، استفاده از واکس‌ها و ترکیبات پارافینی به عنوان جایگزین ترکیبات فلورینه است. از مشکلات این ترکیبات، عدم حلالیت آنها در آب و در نتیجه مشکلات فرایندپذیری آنها و ایجاد پوششی نایکنواخت بر روی پارچه (در فرایندهای پوشش‌دهی مرطوب) است. جهت رفع این مشکل استفاده از فرایند پلیمر شدن امولسیون‌ی و معلق‌سازی آنها در محلول‌های آبی به کمک سطح فعال‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Kim و همکاران (۲۰۱۶) پنج ترکیب پارافینی غیر فلورینه و با طول متفاوت زنجیره آلکیل را با استفاده از فرایند پلیمر شدن امولسیون‌ی سنتز نموده و از آنها برای آبگریز کردن پارچه‌های پلی‌استری، نایلونی و پنبه‌ای استفاده کرده‌اند. در این پژوهش با مقایسه ترکیبات مختلف، طول بهینه زنجیره آلکیل مابین ۱۶ و ۱۸ (کشش سطحی ۲۰-۲۱ میلی نیوتن بر متر) و زاویه تماس قطره آب ۱۳۰ درجه گزارش شده است [۱۳]. در پژوهش دیگری که توسط Huang و همکاران (۲۰۰۴) به چاپ رسیده، برای آبگریز کردن منسوجات پلی‌استری از نانوکوپلیمرهای فلوروآکریلاتی و سنتز آنها با پلیمر شدن امولسیون‌ی استفاده شده است. در این تحقیق برای معلق‌سازی مونومرهای

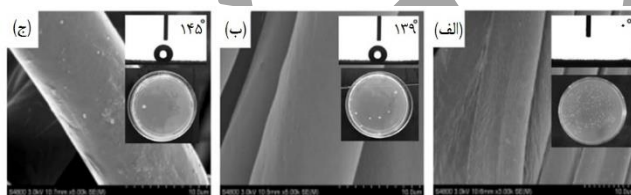
فلوروآکریلاتی از استتاریل تری متیل آمونیوم کلراید استفاده شده و ادعا شده که میزان آبگریزی پارچه پس از سنتز کوپلیمر با استفاده از پلیمر شدن امولسیون از سایر ترکیبات تجاری آبگریز بالاتر است [۱۴].

علاوه بر ترکیبات واکس مانند، استفاده از ترکیبات سیلیکونی نیز دارای مزیت است. Tragoonwichian و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از پلیمر شدن ادمایسلی و مونومرهای سیلیکونی، همراه با دو سطح فعال کاتیونی و آنیونی سیلیکونی اقدام به آبگریز کردن پارچه پنبه‌ای کرده‌اند. در این پژوهش از مونومرهای متاکریلوکسی متیل تری متیل سیلان و متاکریلوکسی پروپیل پنتا متیل دی سیلوکسان استفاده شده و گزارش شده که سطح فعال‌های کاتیونی به میزان بیشتری بر روی سطح پارچه پنبه‌ای جذب شده و پوشش بسیار نازکی از پلیمر سیلیکونی بر روی منسوج ایجاد می‌گردد. همچنین استفاده از مونومر متاکریلوکسی متیل تری متیل سیلان منجر به خواص آبگریزی بالاتری (زاویه تماس بالای ۱۱۰ درجه) می‌شود [۱۵].

در حوزه منسوجات پزشکی و ضد میکروبی نیز استفاده از پلیمر شدن امولسیون بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Naz و همکاران (۲۰۱۸) برای ضد میکروبی کردن منسوج پنبه/پلی استری از محلول‌های پلی یورتان پایه کایتوزانی و محلول در آب استفاده کرده‌اند. این محلول‌ها با استفاده از پلیمر شدن امولسیون سنتز شده و سپس با استفاده از روش غوطه‌وری و فشرده‌سازی بر روی منسوجات پنبه/پلی استر پوشش‌دهی شده‌اند. ادعا شده که پوشش اعمالی باعث شده تا منسوجات پنبه/پلی استری خصوصیت ضد میکروبی بسیار عالی را در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت از خود نشان دهند [۱۶].

Ren و همکاران (۲۰۱۸) با فرایند پلیمر شدن ادمایسلی، پوشش نازک پلیمری بر پایه N-هالامین را روی سطح پارچه پلی استری ایجاد و یک منسوج ضد میکروبی قوی را تولید کرده‌اند. خصوصیت ضد میکروبی منسوج پلی استری در برابر هر دو نوع باکتری گرم مثبت و گرم منفی بسیار مطلوب گزارش شده است [۱۷]. Du و همکاران (۲۰۱۶) نیز از پلیمرهای N-هالامین و فرایند پلیمر شدن امولسیون جهت ضد میکروبی کردن بی‌بافت‌های پلی پروپیلنی استفاده نموده‌اند. در این پژوهش از مونومرهای وینیل استات و متاکریلامید، آغازگر پرسولفات آمونیوم و سطح فعال سدیم دودسیل سولفات جهت سنتز پلیمر N-هالامینی استفاده شده و در نهایت پوششی نازک بر روی سطح منسوج بی‌بافت پلی پروپیلن ایجاد شده است. خواص

ضدمیکروبی این منسوج در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی عالی ارزیابی شده است [۱۸]. Zhou و همکاران (۲۰۲۰) شیرابه‌های پلی آکریلاتی ضدمیکروبی و ضد آب را با استفاده از پلیمر شدن امولسیون تولید کرده‌اند. این شیرابه حاوی نقره و ترکیبات فلورینه بوده و برای تکمیل منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده، در قسمت (الف) الیاف خام پنبه‌ای هیچ گونه خواص ضدمیکروبی و یا آبگریزی را از خود نشان نداده و در بشقاب مخصوص رشد باکتری، کلونی‌های باکتریایی تماماً رشد کرده‌اند. در قسمت (ب) الیاف فقط با پلی آکریلات فلورینه پوشش دهی شده و به علت اینکه اتم فلورین دارای خصوصیت ضدمیکروبی است، میزان رشد باکتری نسبت به الیاف خام کاهش قابل توجهی داشته است. در قسمت (ج)، الیاف پوشش داده شده با پلی آکریلات فلورینه حاوی نقره، خصوصیت ضدمیکروبی فوق‌العاده‌ای داشته و علاوه بر آن خصوصیت ضدآبی نیز نسبت به قسمت (ب) افزایش داشته است [۱۹].



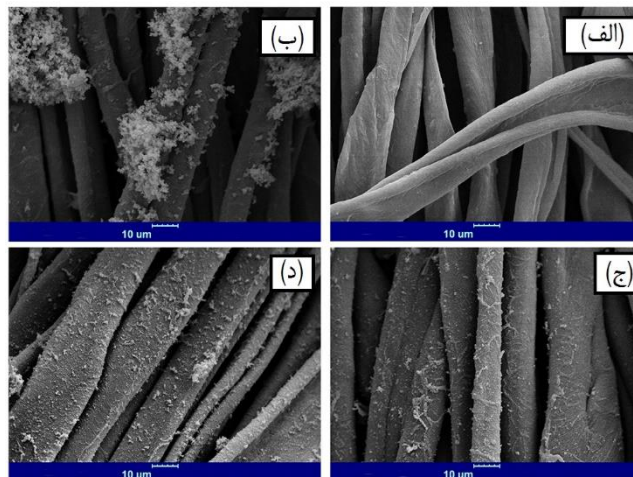
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) الیاف پنبه‌ای، زاویه تماس قطره آب با سطح الیاف و بشقاب کشت

باکتری‌های گرم منفی در آزمون ضدمیکروبی برای نمونه‌های خام (الف) و عمل شده با شیرابه‌های پلی آکریلاتی حاوی ترکیبات فلورینه (ب) و فلور/نقره (ج) [۱۹].

تمامی منسوجات علی‌رغم دارا بودن گروه‌های فعال در ساختار خود فاقد هدایت الکتریکی بوده و اساساً عایق جریان الکتریکی هستند. در برخی از کاربردهای به خصوص (نظیر لباس‌های مورد استفاده در پمپ بنزین و یا البسه کار در کارخانه‌های تولید کننده تجهیزات الکترونیکی و یا منسوجات هوشمند رسانا) خصوصیت هدایت الکتریکی برای پارچه بسیار ضروری می‌باشد. در حوزه رسانا کردن منسوجات از فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و به خصوص پلیمر شدن ادمایسلی بسیار بهره‌گیری شده است. مزیت فرایند پلیمر شدن ادمایسلی در این حوزه به دلیل ایجاد پوششی نازک در سطح پارچه می‌باشد که باعث می‌گردد علاوه بر حفظ خصوصیات فیزیکی پارچه (نظیر زیر دست، حس تنفس‌پذیری و راحتی

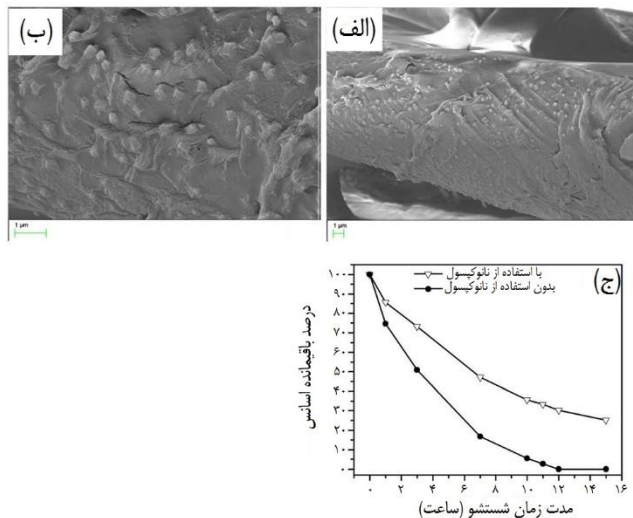
پارچه و ...) قابلیت هدایت جریان الکتریکی بر روی سطح آن ایجاد شده و بتوان از منسوج در کاربردهای جدید (منسوجات هوشمند) استفاده کرد. Yan و همکاران (۲۰۱۸) غشاءهای نانولیفی پلی استری رسانا را با استفاده از فرایند الکترورسی و ترکیب محلول پایه پلی لاکتیک اسید با پلیمر رسانای پلی آنیلین که با استفاده از فرایند پلیمر شدن امولسیون سنتز شده را تولید کرده‌اند. میزان هدایت الکتریکی نانوالیاف الکترورسی شده در این پژوهش در حدود  $10^{-3} * 9/1$  زیمنس بر سانتی متر گزارش شده است [۲۰]. Liang و همکاران (۲۰۱۳) با بهره گیری از پلیمر شدن ادمایسلی و ترکیب سطح فعال‌های آنیونیک و کاتیونیک به همراه مونومر پیروول، اقدام به تولید منسوج رسانای پنبه‌ای با مقاومت سطحی ۱۴ اهم بر مربع کرده‌اند [۲۱]. در پژوهش دیگری که توسط Yang و Wang (۲۰۱۹) گزارش شده، کامپوزیت‌های رسانای پیروول/سلولز بر روی الیاف فلکس بوسیله پلیمر شدن ادمایسلی پلی وینیل الکل تولید شده است. مقاومت سطحی الیاف حاصله در این گزارش در حدود ۲۰ اهم بر متر مربع است [۲۲]. Berendjchi و Khajavi (۲۰۱۷) با بهره گیری از پلیمر شدن ادمایسلی، هدایت الکتریکی منسوجات پنبه‌ای پوشش داده شده با پلی پیروول را تا ۴۹ درصد افزایش داده‌اند. در این پژوهش ابتدا سطح الیاف پنبه با ترکیب ۳-کلرو-۲-هیدروکسی تری متیل آمونیوم کلراید کاتیونی شده و سپس به کمک سطح فعال آنیونی سدیم دودسیل سولفات و حبس مونومر پیروول در داخل ادمایسل و سپس انجام فرایند پلیمر شدن ادمایسلی، پوشش نازکی از پلی پیروول بر روی سطح پارچه ایجاد شده است (شکل ۷). در این گزارش به نقش بسیار مهم فرایند پلیمر شدن ادمایسلی در ایجاد منسوجات پنبه‌ای بسیار رسانا اشاره شده و نویسندگان این تحقیق مدعی شده‌اند که در صورت پوشش دهی الیاف پنبه‌ای با پلی پیروول بدون استفاده از فرایند پلیمر شدن ادمایسلی پوششی نایکخواخت بر روی الیاف تشکیل شده (شکل ۷ قسمت ب) ولی در صورت به کارگیری از پلیمر شدن ادمایسلی (شکل ۷ قسمت‌های ج و د) پوششی کاملاً یکپارچه تمامی سطح الیاف را دربر گرفته و بنابراین هدایت الکتریکی پارچه به طرز قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند [۲۳].





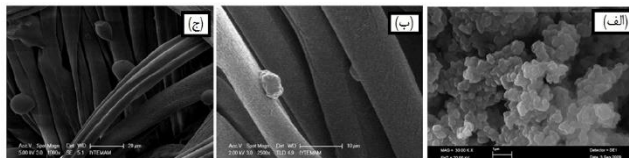
شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) الیاف پنبه ای خام (الف) و پوشش داده شده با پلی پیرول به صورت عادی (ب) و با استفاده از فرایند پلیمر شدن امولسیون روی الیاف پنبه عادی (ج) و کاتیونی شده (د) [۲۳].

تولید نانو کپسول‌ها و به کارگیری از آنها برای تکمیل منسوجات نیز از دیگر کاربردهای پلیمر شدن امولسیون در صنعت نساجی می‌باشد. در پژوهشی که توسط Liu و همکاران (۲۰۱۸) انجام شده، نانو کپسول معطری که دارای پوسته سخت کوپلیمری استایرن/متیل متاکریلات و مغزی پلی بوتیل آکریلات اصلاح شده با ترکیب پلی سیلوکسانی می‌باشد، با استفاده از پلیمر شدن امولسیون و سطح فعال‌های آنیونی (سدیم دودسیل بنزن سولفونات و سدیم دودسیل بنزن سولفات) ساخته شده است. کاربرد این نانو کپسول برای معطر کردن انواع منسوجات بوده و بنابراین در داخل آن انواع ترکیبات روغنی و اسانس‌های معطر محبوس شده است. در این گزارش ادعا شده که حتی پس از ۱۵ ساعت شستشوی پارچه، میزان اسانس و یا روغن معطر بر روی منسوج در حدود ۲۳ درصد است که نشان از ثبات شستشویی بالای نانو کپسول تولید شده با استفاده از فرایند پلیمر شدن امولسیون دارد. در شکل ۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی از سطح الیاف پنبه‌ای پوشش دهی شده با نانو کپسول و همچنین نمودار کاهش میزان اسانس معطر از سطح پارچه پس از شستشو نشان داده شده است [۲۴].



شکل ۸. (الف و ب) تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) الیاف پنبه‌ای پوشش داده شده با نانوکپسول حاوی اسانس معطر که با پلیمر شدن امولسیون سنتز شده‌اند، (ج) نمودار میزان باقی مانده اسانس معطر پارچه‌های پنبه‌ای که بدون به کارگیری از نانوکپسول و یا با نانوکپسول پوشش‌دهی شده و سپس تحت زمان‌های مختلف شستشو شده‌اند [۲۴].

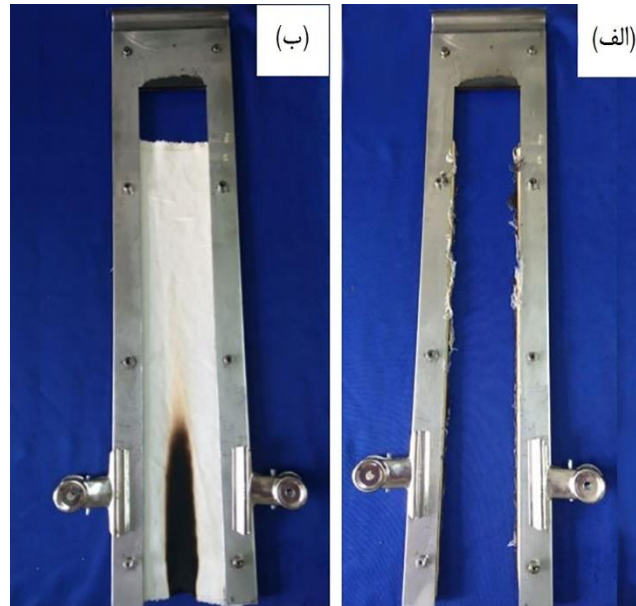
Alay و همکاران (۲۰۱۰) جهت تولید پارچه‌های عایق حرارتی که جهت ساخت کاپشن و سایر محصولات مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرند از پوشش‌دهی پارچه‌های صددردصد پنبه‌ای و همچنین پنبه/پلی‌استری با میکروکپسول‌های پلی‌اکریلاتی استفاده کرده‌اند. این میکروکپسول‌ها با استفاده از پلیمر شدن امولسیون و سپس مونومر بوتیل آکریلات در داخل میسل‌های سطح فعال نانیونی (Triton x-100) ساخته شده است (شکل ۹ - قسمت الف). پس از پوشش‌دهی پارچه‌های پنبه‌ای و پنبه/پلی‌استری با این میکروکپسول‌ها (شکل ۹ - قسمت ب و ج)، این منسوجات به ترتیب قادر به حفظ ۶/۵۷ و ۲۸/۵۹ ژول بر گرم حرارت در داخل خود هستند [۲۵].



شکل ۹. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM) میکروکپسول‌های پلی‌اکریلاتی ساخته شده با پلیمر شدن امولسیون (الف) و الیاف پنبه‌ای (ب) و پلی‌استری (ج) پوشش داده شده با میکروکپسول‌ها [۲۵].

یکی دیگر از کاربردهای بالقوه پلیمر شدن ادمایسلی در تکمیل ضدآتش منسوجات است. منسوجات ساخته شده از الیاف مصنوعی همچون پلی اولفین، پلی استر و یا نایلون بسیار اشتعال پذیر هستند. منسوجات پلی اولفینی (به ویژه پلی پروپیلن) به علت ساختار تماماً هیدروکربنی آلیفاتیک در اثر قرارگیری در معرض حرارت به سرعت آتش گرفته و با تولید مقادیر نسبتاً اندکی دود و بدون باقی گذاشتن هیچ نوع خاکستری دچار سوختن می شوند. درجه حرارت اشتعال خود به خودی این منسوجات در حدود ۵۷۰ درجه سانتیگراد بوده و نرخ تجزیه آنها در مقایسه با چوب و دیگر مواد سلولزی با سرعت زیادی انجام می شود [۲۶]. بنابراین تکمیل ضدآتش منسوجاتی که در معرض درجه حرارت های نسبتاً بالا قرار می گیرند (به خصوص منسوجات ساخته شده از الیاف مصنوعی) از اهمیت به سزایی برخوردار است. Rafikov و همکاران (۲۰۲۲) در حین فرایند آهارزنی نخ پنبه ای، با ترکیب پلی آکریلامید، کلاژن، اوره و اسید بوریک با نشاسته (ماده مخصوص آهارزنی) اقدام به تولید نخ دفاع آتش کرده اند. در این تحقیق برای تولید مخلوط پلی آکریلامید/کلاژن از پلیمر شدن امولسیون استفاده شده و در نهایت با مخلوط کردن اوره و اسید بوریک با این ترکیب، یک محلول چسب مانند غلیظ به دست آمده و برای ضدآتش کردن نخ پنبه ای با موفقیت بر روی آن پوشش دهی شده است. ادعا شده که ترکیب پلی آکریلامید/کلاژن باعث کاهش دودپذیری و افزایش مقاومت حرارتی الیاف به صورت چشمگیری می شود [۲۷]. در تحقیقی مشابه، Nabijun و همکاران (۲۰۱۷) ابتدا کلاژن را از پوست چهارپایان استخراج کرده و سپس با پلیمر شدن امولسیونی اقدام به ساخت محلول حاوی پلی آکریلات/کلاژن کرده و از آن برای دفاع آتش کردن منسوجات استفاده کرده اند [۲۸]. Xue و همکاران (۲۰۱۶) ابتدا شیرابه پلی آکریلاتی را از طریق پلیمر شدن امولسیونی تولید کرده و از آن در تکمیل دفع آتش منسوجات به عنوان چسب برای اتصال موثر پلی فسفات آمونیوم به پارچه استفاده کرده اند. چنانچه در شکل ۱۰ نشان داده شده، پس از اجرای آزمون شعله عمودی که در آن نمونه پارچه ای در داخل یک فک قرار گرفته و پس از قرارگیری در معرض آتش، میزان پیشروی شعله در پارچه به صورت عمودی مورد اندازه گیری قرار می گیرد، در خصوص نمونه خام، پارچه به طور کامل آتش گرفته و

خاکستر می شود ولی در نمونه پوشش داده شده با پلی فسفات آمونیوم که از طرق پلی آکریلات به سطح پارچه متصل شده، آتش قادر به پیشروی در پارچه نبوده و نمونه به خوبی دارای خصوصیت دفع کنندگی آتش است [۲۹].

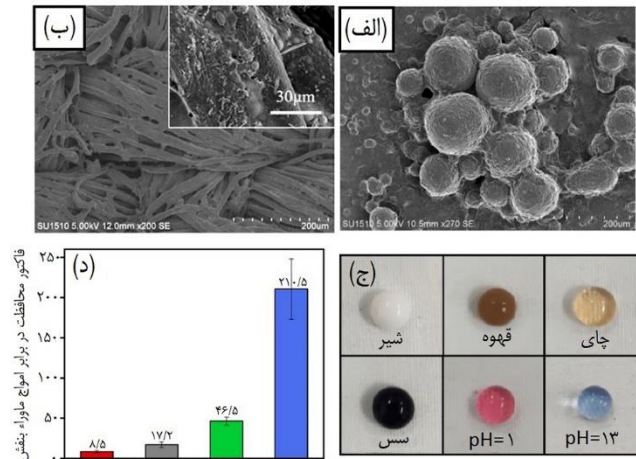


شکل ۱۰. تصاویر یک دوربین دیجیتال از منسوجات نایلونی خام (الف) و پوشش داده شده با شیرابه پلی آکریلاتی حاوی پلی فسفات آمونیوم [۲۹].

از دیگر کاربردهای فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسلی در تکمیل های نوین صنعت نساجی، ایجاد پارچه های محافظ در برابر امواج ماوراء بنفش است. این امواج علاوه بر اینکه در صورت برخورد با منسوجات و با مرور زمان باعث کاهش خواص مکانیکی و استحکام پارچه می شوند، در صورت تماس با پوست کننده باعث ایجاد مشکلات حساسیت و یا بیماری های پوستی و در بدترین حالت ابتلا به سرطان پوست می شوند. از اینرو تکمیل پارچه و ایجاد خواص محافظتی در برابر این امواج بسیار کاربردی و حائز اهمیت است. Tragoonwichian و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از پلیمریزاسیون ادمایسلی و به کمک سطح فعال سدیم دودسیل بنزن سولفونات و حبس مونومر بر پایه بنزوفنون در داخل ادمایسل ها بر روی سطح پارچه و در نهایت ایجاد پوششی نازک از پلی بنزوفنون باعث ایجاد منسوجات پنبه ای محافظ در برابر امواج ماوراء بنفش شده اند. پس از انجام فرایند پلیمریزاسیون ادمایسلی و ایجاد پوشش پلی بنزوفونی بر روی پارچه، فاکتور محافظت در برابر اشعه ماوراء بنفش از ۴ برای پارچه خام به ۴۰ (خصوصیت محافظتی بسیار عالی) برای پارچه پوشش

داده شده ارتقاء می‌یابد که نشان‌دهنده خواص محافظتی فوق‌العاده پارچه است [۳۰]. Xu و همکاران (۲۰۲۱) برای تکمیل چندمنظوره پارچه پنبه‌ای از تولید میکروکپسول‌ها به روش پلیمر شدن امولسیون و سپس غوطه‌وری پارچه در داخل آن استفاده کرده‌اند. میکروکپسول ساخته شده حاوی عصاره توت‌فرنگی و مواد جذب‌کننده امواج ماوراء بنفش (با نام تجاری U1130) است که با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم نیز پوشش‌دهی شده و همزمان در حین تولید میکروکپسول به روش پلیمر شدن امولسیون، رزین سیلیکونی نیز در داخل محلول افزوده و سپس پارچه در داخل آن غوطه‌ور شده است. به دلیل حضور عصاره توت‌فرنگی، پارچه معطری تولید شده که تا ۸۵ روز قادر به ره‌ایش تدریجی عصاره توت‌فرنگی و بوی معطر بوده و از طرفی به دلیل حضور سیلیکون، دارای خاصیت ابرآبگریزی با زاویه تماس ۱۵۹ درجه است. سومین و مهم‌ترین خصوصیت پارچه، خواص محافظتی بسیار عالی در برابر امواج ماوراء بنفش با معیار ۲۵۰ به علت حضور دی‌اکسید تیتانیوم در داخل پوشش می‌باشد [۳۱]. چنانچه در شکل ۱۱ نشان داده شده، در قسمت (الف) میکروکپسول‌ها که به روش پلیمر شدن امولسیون تولید شده‌اند دارای شکل مدور بوده و دارای اندازه‌ای در حدود ۵ تا ۲۰ میکرومتر هستند. سطح نسبتاً زیر میکروکپسول‌ها به علت حضور نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم است که کاملاً بر روی سطح میکروکپسول به طور یکنواخت توزیع و پوشش‌دهی شده‌اند. در قسمت (ب) و بر اساس تصویر میکروسکوپ الکترونی، پوشش‌دهی الیاف پنبه‌ای با میکروکپسول‌ها به تصویر کشیده شده است. بر اساس تصاویر قسمت (ج) ملاحظه می‌شود که پارچه علاوه بر خصوصیت ضدآبی، در برابر سایر مایعات نظیر شیر، چای، قهوه، سس و محلول‌های کاملاً قلبایی و اسیدی خصوصیت دفع‌کنندگی دارد که نشان‌دهنده مزیت فرایند پلیمر شدن امولسیون است. بر اساس نمودار قسمت (د) نیز کاملاً مشخص است که پارچه پنبه‌ای پوشش داده شده با میکروکپسول از قابلیت بسیار بالایی در محافظت از مصرف‌کننده لباس در برابر امواج ماوراء بنفش برخوردار است. نکته قابل توجه در نمودار قرمز رنگ است که در آن پارچه صرفاً با ترکیب جاذب امواج ماوراء بنفش پوشش‌دهی شده و فاکتور محافظتی آن بسیار پایین است. هنگامیکه این ماده طی فرایند پلیمر شدن امولسیون در داخل میکروکپسول حبس شده و سپس بر روی پارچه پوشش‌دهی می‌شود، به دلیل ره‌ایش تدریجی این ترکیب و همچنین حضور

نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم که خود دارای خصوصیت جذب امواج ماوراء بنفش بوده و بر روی سطح میکروکپسول قرار گرفته‌اند، فاکتور محافظتی پارچه به نحو قابل ملاحظه‌ای ارتقاء پیدا می‌کند.



شکل ۱۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی: (الف) میکروکپسول‌های حاوی عصاره توت فرنگی و ماده جاذب امواج ماوراء بنفش (U1130) که با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم پوشش داده شده و با روش پلیمر شدن امولسیون سنتز شده‌اند، (ب) پارچه پنبه‌ای پوشش داده شده با میکروکپسول و رزین سیلیکونی، (ج) تصاویر پارچه پنبه‌ای شرح داده شده در قسمت (ب) که در برابر انواع مایعات خصوصیت دفع‌کنندگی دارد، (د) نمودار فاکتور محافظت در برابر امواج ماوراء بنفش (UPF) برای منسوجات پنبه‌ای پوشش داده شده بدون میکروکپسول (قرمز)، با میکروکپسول و بدون نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم (خاکستری)، با میکروکپسول و بدون U1130 (سبز) و با میکروکپسول‌های حاوی عصاره توت فرنگی، U1130 و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم [۳۱].

## نتیجه‌گیری:

در این پژوهش مرور مختصری بر کاربردهای فرایندهای پلیمر شدن امولسیونی و ادمایسلی در صنعت نساجی انجام شد. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های فرایندی در صنعت نساجی مربوط به تکمیل الیاف، نخ و یا پارچه است که از طرفی باعث رفع مشکلات تکنیکی در جهت ساخت محصول نهایی شده و یا با ایجاد ویژگی‌های جدیدی در آن، ارزش افزوده محصول را افزایش می‌دهد. در این زمینه از فرایندهای پلیمر شدن امولسیونی و ادمایسلی به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. در زمینه

مواد تعاونی و کمکی، فرایند پلیمر شدن امولسیون برای ساخت شیرابه‌ها و چسب‌ها کاربرد زیادی دارد. مصرف این چسب‌ها یا در زمینه بهبود قوام نخ و جلوگیری از پارگی آن در حین فرایند بافندگی پارچه و یا افزایش استحکام و ثبات مواد تکمیلی مورد استفاده بر روی پارچه است. در این خصوص اکثراً تولید چسب‌های پلی‌آکریلاتی با استفاده از پلیمر شدن امولسیون بسیار رواج دارد. در زمینه سایر فرایندهای تکمیلی بر روی پارچه نیز از پلیمر شدن امولسیون به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. در این زمینه، بیشترین کاربرد مربوط به تولید میکروکپسول‌ها و یا نانوکپسول‌ها جهت افزایش اثر دوام مواد تکمیلی بر روی پارچه می‌باشد. در این فرایند معمولاً ماده تکمیلی مورد نظر در داخل یک پوسته پلیمری حبس شده و پس از پوشش‌دهی کپسول بر روی پارچه، با گذشت زمان و در پس از پوشیدن لباس، در اثر اعمال فشار به کپسول و شکسته شدن غشاء پلیمری، ماده تکمیلی آزاد شده و اثر آن بر روی پارچه ایجاد می‌گردد. از این فرایند معمولاً در ساخت منسوجات معطر استفاده می‌شود. همچنین سایر فرایندهای تکمیلی که بر روی پارچه انجام شده و در آن از پلیمر شدن امولسیون استفاده می‌شود را می‌توان به تکمیل‌های ضد میکروبی کردن، آبگریز نمودن، محافظت در برابر امواج ماوراء بنفش و هادی جریان الکتریکی کردن منسوجات نام برد. چنانچه اصلاح خصوصیات سطحی پارچه مدنظر باشد، استفاده از فرایند پلیمر شدن ادمایسلی بسیار رواج داشته و در این خصوص انواع تکمیل‌های نوین بر روی سطح منسوجات نظیر ضد میکروبی کردن، ایجاد خصوصیت دفع آتش، ارتقاء هدایت الکتریکی و ایجاد خصوصیت سدکنندگی در برابر امواج ماوراء بنفش بدون تحت تاثیر قرار گرفتن زیر دست پارچه و یا قابلیت تنفس پذیری آن با استفاده از این فرایند امکان پذیر است. به دلیل مزیت‌های فراوانی نظیر هزینه پایین، سادگی فرایند و تطبیق پذیری بالا انتظار می‌رود در آینده شاهد رشد چشمگیر فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمایسلی در صنعت نساجی جهت تکمیل منسوجات و معرفی محصولات جدیدی در صنعت پوشاک بر پایه این فرایندها باشیم.

مراجع:

[١] Lovell P.A. and Schork, F.J., Fundamentals of Emulsion Polymerization. *Biomacromolecules*, **21**, 4396-4441, 2020.

[٢] Ahmady A.R., Hosseinzadeh P., Solouk A., Akbari S., Szulc A.M., and Brycki B.E., Cationic Gemini Surfactant Properties, Its Potential as a Promising Bioapplication Candidate, and Strategies for Improving Its Biocompatibility: A Review. *Adv. Colloid Interface Sci.*, **299**, 102581, 2022.

[٣] Zhu T., Zhou Z., Qu F., Liu B., and Van der Bruggen B., Separation Performance of Ultrafiltration During the Treatment of Algae-Laden Water in the Presence of an Anionic Surfactant. *Sep. Purif. Technol.*, **281**, 119894, 2022.

[٤] Gong L., Yang W., Sun Y., Zhou C., Wu F., and Zeng H., Fabricating Tunable Superhydrophobic Surfaces Enabled by Surface-Initiated Emulsion Polymerization in Water. *Adv. Funct. Mater.*, **121**, 2214947, 2023.

[٥] Wu S., Xiong Q., Li X., Chen D., and Liu B., Properties of Thermally Conductive Silicone Rubbers Filled with Admicellar Polymerized Polypyrrole-Coated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles. *J. Appl. Polym. Sci.*, **138**, 50205, 2021.

[٦] Söylemez M.A., and Kemaloğulları B.Ö., Surface Modification of Magnetic Nanoparticles via Admicellar Polymerization for Selective Removal of Tetracycline from Real Water Samples. *New J. Chem.*, **45**, 6415-6423, 2021.

[٧] Abdou L.A.W., El-Molla M.M., Hakeim O.A., El-Gammal M.S., and Shamey R., Synthesis of Nanoscale Binders Through Mini Emulsion Polymerization for Textile Pigment Applications. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **52**, 2195-2200, 2013.

[٨] Gao D., Feng J., Ma J., Lü B., Lin J., and Zhang J., Synthesis of Cationic Binder Through Surfactant-free Emulsion Polymerization for Textile Pigment Applications. *Prog. Org. Coat.*, **77**, 1834-1840, 2014.

[٩] Li S., Lewis J. E., Stewart N. M., Qian L., and Boyter H., Effect of Finishing Methods on Washing Durability of Microencapsulated Aroma Finishing. *J. Text. Inst.*, **99**, 177-183, 2008.



- [10] Maity J., Kothary P., O'Rear E. A., and Jacob C., Preparation and Comparison of Hydrophobic Cotton Fabric Obtained by Direct Fluorination and Admicellar Polymerization of Fluoromonomers. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **49**, 6075-6079, 2010.
- [11] Mondal S., Pal S., and Maity J., Transparent and Double Sided Hydrophobic Functionalization of Cotton Fabric by Surfactant-assisted Admicellar Polymerization of Fluoromonomers. *New J. Chem.*, **42**, 6831-6838, 2018.
- [12] Mondal S., Pal S., Chaudhuri A., and Maity J., Fabrication of Fluoropolymer-modified Hydrophobic Functionalization of Cotton Fabric by Admicellar Polymerization. *J. Text. Inst.*, **110**, 1747-1754, 2019.
- [13] Kim T., Kang H., and Yoon N., Synthesis of Non-fluorinated Paraffinic Water Repellents and Application Properties on Textile Fabrics. *Fibers Polym.*, **18**, 285-289, 2017.
- [14] Huang P.Y., Chao Y.C., and Liao Y.T., Preparation of Fluoroacrylate Nanocopolymer by Miniemulsion Polymerization Used in Textile Finishing. *J. Appl. Polym. Sci.*, **94**, 1466-1472, 2004.
- [15] Tragoonwichian S., Kothary P., Siriviriyannun A., Edgar A.O., and Yanumet N., Silicon-compound Coating for Preparation of Water Repellent Cotton Fabric by Admicellar Polymerization. *Colloids Surf., A*, **384**, 381-387, 2011.
- [16] Naz F., Zuber M., Zia K.M., Salman M., Chakraborty J., Nath I., and Verpoort F., Synthesis and Characterization of Chitosan-based Waterborne Polyurethane for Textile Finishes. *Carbohydr. Polym.*, **200**, 54-62, 2018.
- [17] Ren X., Kou L., Kocer H.B., Worley S.D., Broughton R.M., Tzou Y.M., and Huang T.S., Antimicrobial Modification of Polyester by Admicellar Polymerization. *J. Biomed. Mater. Res. B: Appl. Biomater.*, **89**, 475-480, 2009.
- [18] Du J., Luo X., Zhang L., Liu Y., Li R., Ren X., and Huang T.S., Emulsion Polymerization of N-halamine Polymer for Antibacterial Polypropylene. *Text. Res. J.*, **86**, 1597-1605, 2016.
- [19] Zhou J., Wang L., Zha X., and Li X., Synthesis of Ag/fluorine-containing Polyacrylate Latex Stabilized by Ag Nanoparticle Hybrid Amphiphilic Random Copolymer Micelles via

Pickering Emulsion Polymerization and Its Application on Fabric Finishing. *Cellulose*, **27**, 9123-9134, 2020.

[୧୦] Yan T., Zhang M., Jiang J., and Chen N., Synthesis of DBSA-doped Polyaniline by Emulsion Polymerization and PANI/PLA Electrospun Fiber Membrane Conductivity. *J. Text. Inst.*, **110**, 274-281, 2019.

[୧୧] Liang G., Zhu L., Xu J., Fang D., Bai Z., and Xu W., Investigations of Poly(pyrrole)-coated Cotton Fabrics Prepared in Blends of Anionic and Cationic Surfactants as Flexible Electrode. *Electrochim. Acta*, **103**, 9-14, 2013.

[୧୨] Yang H.T., and Wang L.J., Preparation of Conductive PPy/cellulose Composite Fabric by Using Admicellar Polymerization. *Adv. Mat. Res.*, **113**, 2030-2034, 2010.

[୧୩] Khajavi R., and Berendjchi A., Improvement in Admicellar Polymerization of Polypyrrole on Cotton Fabric Using Precationization to Achieve High Electrical Conductivity. *Adv. Polym. Technol.*, **36**, 230-235, 2017.

[୧୪] Liu C., Liang B., Wang Y., Li Y., and Shi G., Core-shell Nanocapsules Containing Essential Oil for Textile Application. *J. Appl. Polym. Sci.*, **135**, 45695, 2018.

[୧୫] Alay S., Göde F., and Alkan C., Synthesis and Thermal Properties of Poly(n-butyl acrylate)/n-Hexadecane Microcapsules Using Different Cross-linkers and Their Application to Textile Fabrics. *J. Appl. Polym. Sci.*, **120**, 2821-2829, 2011.

[୧୬] Yusuf M., A Review on Flame Retardant Textile Finishing: Current and Future Trends. *Curr. Smart Mater.*, **3**, 99-108, 2018.

[୧୭] Rafikov A.S., Yuldosheva O.M.K., Karimov S.K., Khakimova M.S., Abdusamatova D.O., and Doschanov M.R., Three in One: Sizing, Grafting and Fire Retardant Treatment for Producing Fire-resistant Textile Material. *J. Ind. Text.*, **51**, 8925S-8946S, 2022.

[୧୮] Nabijon N., Ahmed M.R., Adkham R.A.F.I.K.O.V., and Heng, Q., Extraction of Collagen from Cattle Skin and Synthesis of Collagen Based Flame Retardant Composition and Introduction into Cellulosic Textile Material by Graft Copolymerization. *Asian J. Chem.*, **29**, 2470-2474, 2017.

[۲۹] Xue C.H., Zhang L., Wei P., and Jia S.T., Fabrication of Superhydrophobic Cotton Textiles with Flame Retardancy. *Cellulose*, **23**, 1471-1480, 2016.

[۳۰] Tragoonwichian S., Edgar A.O., and Yanumet N., Admicellar Polymerization of 2-hydroxy-4-acryloyloxybenzophenone: The Production of UV-protective Cotton. *Colloids Surf., A*, **329**, 87-94, 2008.

[۳۱] Xu C., Hu J., Chen Y., Yang Q., Zhang Y., Wang C., and Chen K., Rapid Synthesis of Strawberry Microcapsules via Pickering Emulsion Photo Polymerization for Use in Multifunctional Fabric Coatings. *Prog. Org. Coat.*, **152**, 106110, 2021.

پایگاه  
مجلات  
فصلنامه