

Polymerization
Quarterly, 2024
Volume 14, Number 1
Pages 41-54
ISSN: 2252-0449

Application of Emulsion and Admicellar Polymerization Processes in Textile Industry

Amirhosein Berendjchi and Ali Akbar Yousefi*

Department of Plastic Processing and Engineering, Faculty of Polymer Processing, Iran

Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box 14975-112, Tehran, Iran

Received: 27 February 2023, Accepted: 30 July 2023

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 avoid 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, new characteristics are added to the textiles and as a result, their applications are expanded in order to meet the needs of the customers. Emulsion polymerization has many applications in various fields, especially textile industries, due to its advantages such as simplicity of the production process, possibility of synthesizing polymers with high molecular weight and low energy consumption. Admicellar polymerization also provides the possibility of applying very thin polymeric coatings on various substrates. Therefore, due to the ease of the coating process, it has a great ability to improve the surface properties of textiles. Emulsion and admicellar polymerization processes are widely used in the textile industry for finishing the fibers, yarns and fabrics to improve the properties of textiles. In this article, the emulsion and admicellar polymerization processes is introduced. Then, 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 were reviewed.

Key Words

textiles,
finishing,
polymerization,
emulsion,
admicelle

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: a.yousefi@ippi.ac.ir

کاربرد فرایندهای پلیمر شدن امولسیون و ادمیسی در صنعت نساجی

امیرحسین برنج‌چی، علی اکبر یوسفی*

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه پلاستیک، صندوق پستی ۱۱۲-۱۴۹۷۵

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۸، پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۸

در حین فرایندهای ریسندگی الیاف، تولید نخ، بافندگی پارچه یا رنگرزی آن، عملیات تکمیلی مختلف انجام می‌گیرد تا ارزش افزوده محصول نهایی ارتقا یابد یا فرایندهای تولید آن با مشکلی مواجه نشود. انجام عملیات تکمیلی باعث می‌شود تا افزون بر ایجاد تغییرات در ساختار فیزیکی و شیمیایی نخ و پارچه، ویژگی‌های نوینی در آن‌ها ایجاد شده و در نتیجه دامنه کاربرد این محصولات برای رفع نیاز مشتری گسترده‌تر شود. فرایند پلیمر شدن امولسیون به دلیل مزیت‌هایی چون سادگی فرایند تولید، امکان تولید پلیمرهایی با وزن مولکولی زیاد و مصرف کم انرژی دارای کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلف، به‌ویژه صنایع نساجی است. فرایند پلیمر شدن ادمیسی نیز ایجاد انواع پوشش‌های پلیمری با ضخامت اندک روی انواع سطوح را امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین، به دلیل آسانی انجام فرایند پوشش‌دهی، قابلیت زیادی در اصلاح خواص سطحی منسوجات دارد. از فرایندهای پلیمر شدن امولسیونی و ادمیسی به‌طور گسترده در صنعت نساجی برای انجام عملیات تکمیلی الیاف، نخ و پارچه برای بهبود خواص منسوجات و ایجاد ویژگی‌های جدید در آن‌ها استفاده می‌شود. در این مقاله، ابتدا فرایندهای پلیمر شدن امولسیونی و ادمیسی معرفی می‌شوند. سپس، کاربرد آن‌ها در صنعت نساجی شامل عملیات تکمیل منسوجات مانند دافع آب کردن، ضد آتش کردن، رسانای الکتریکی کردن، ضد میکروب‌سازی، پرتوافکنی فرابنفش، معطر سازی و نیز تولید چسب‌های محلول در آب برای کاربرد در فرایندهای رنگرزی و چاپ پارچه مرور می‌شود.

چکیده



امیرحسین برنج‌چی



علی اکبر یوسفی

واژگان کلیدی

منسوجات،
تکمیل،
پلیمر شدن،
امولسیون،
ادمیسیل

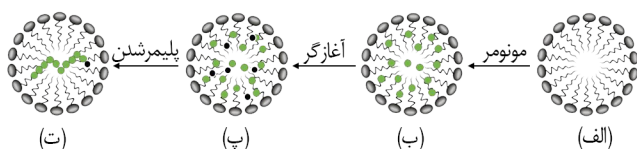
مقدمه

منشأ فرایند پلیمرشدن امولسیون مربوط به جنگ جهانی دوم و تلاش‌های انجام‌شده برای تولید لاستیک در پی کمبود منابع طبیعی برای تولید آن در طول دوران جنگ بازمی‌گردد [۱]. شیرابه لاستیک طبیعی نوعی امولسیون پایه‌آبی از ذرات پلی‌ایزوپرن است که به‌وسیله سطح‌فعال‌های طبیعی پایه‌پروتئینی در محلول معلق شده‌اند. در حالت کلی، پلیمر لاتکس سنتز شده از طریق فرایند پلیمرشدن امولسیونی، پراکنش پایه‌آبی از ذرات پلیمری است که با یک پایدارکننده کلوئیدی که اکثراً سطح‌فعال‌ها هستند در داخل محلول به‌صورت معلق درآمده‌اند [۱]. در اوایل، هدف مطالعات انجام‌شده درباره این فرایند، صرفاً تولید شیرابه‌های لاستیک مصنوعی مانند لاستیک استیرن بوتادی‌ان (SBR) بود، ولی به‌دلیل تطبیق‌پذیری زیاد فرایند پلیمرشدن امولسیونی، این روش به‌طور گسترده برای تولید انواع پلیمرها شامل الاستومرهای سنتزی، پلاستیک‌های حجیم و سایر لاتکس‌های پلیمری استفاده شد [۱]. در سال‌های اخیر، استفاده از این فرایند برای تولید کلوئیدهای پلیمری عامل‌دار رواج یافته است که برای کاربردهای بسیار خاص و در حوزه‌های صنایع الکترونیک یا زیست‌پزشکی استفاده می‌شوند. دلایلی را که برای استقبال گسترده از این فرایند پلیمرشدن می‌توان برشمرد، عبارت از کاهش دمای مورد نیاز برای پلیمرشدن، گرانروی کم شیرابه در غلظت‌های زیاد پلیمر، قابلیت کنترل اندازه و شکل ذرات زیرمیکرونی، سهولت در تفکیک پلیمر و شیرابه و نیز کاربری آسان شیرابه در کاربردهای مربوط به پوشش‌دهی است. یکی دیگر از مزیت‌های پلیمرشدن امولسیونی در مقایسه با پلیمرشدن رادیکال آزاد، امکان دستیابی به سرعت‌های بیشتر پلیمرشدن و تولید پلیمرهایی با وزن مولکولی بیشتر است. افزون بر این، با توجه به توجهات گسترده طی دهه‌های اخیر به مشکلات آلودگی محیط زیست و وضع قوانینی برای کنترل و کاهش آلاینده‌های محیط زیست، به‌ویژه ترکیبات فرار آلی (VOC)، رشد درخور توجهی در زمینه به‌کارگیری از فرایند پلیمرشدن امولسیونی و تولید شیرابه‌های پایه‌آبی و جایگزینی آن‌ها با سایر شیرابه‌ها برپایه حلال‌های آلی و شیمیایی مشاهده می‌شود [۱].

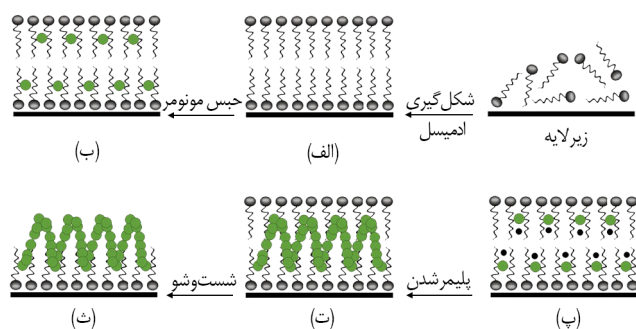
چنانچه پیش‌تر اشاره شد، در فرایند پلیمرشدن امولسیونی، ذرات پلیمری در محلول آبی حاوی مولکول‌های سطح‌فعال تولید می‌شوند. سطح‌فعال‌ها ترکیباتی هستند که معمولاً از یک سر آب‌دوست و یک زنجیر آب‌گریز تشکیل شده‌اند. در صورتی که این ترکیبات درون محلول قرار گیرند، خواص کشش سطحی آن را دچار تغییر می‌کنند [۲]. این ترکیبات که کاربردهای بسیار متنوعی

در حوزه‌های مختلف دارند، با توجه به ساختار قسمت آب‌دوست آن‌ها به سطح‌فعال‌های آنیونی، کاتیونی، نانویونی و دوخصلتی تقسیم‌بندی می‌شوند. چنانچه غلظت مولکول‌های سطح‌فعال در محلول‌های آبی تغییر پیدا کند، آرایش‌یافتگی آن‌ها حالت‌های گوناگون می‌یابد و ساختارهای مختلف در محلول ایجاد می‌شود. از متداول‌ترین ساختارهای سطح‌فعال‌ها، ساختار کروی مانند است که میسل نامیده می‌شود [۳]. در فرایند پلیمرشدن امولسیونی، ابتدا مونومر (معمولاً آب‌گریز) در محلول فاز آبی حاوی سطح‌فعال، معلق می‌شود. در صورتی که غلظت سطح‌فعال در داخل محلول آبی معادل با غلظت بحرانی میسل (CMC) یا بیش از آن باشد، در این صورت مولکول‌های سطح‌فعال انبوه‌های کروی‌مانندی به نام میسل تشکیل می‌دهند که معمولاً شامل ۵۰ تا ۱۰۰ مولکول سطح‌فعال است. در میسل، آرایش مولکول‌های سطح‌فعال به گونه‌ای است که زنجیر آب‌گریز آن‌ها به سمت قسمت مرکزی میسل بوده و سرهای آب‌دوست در تماس با مولکول‌های آب هستند (شکل الف). در صورت ورود مونومر به محلول پایه‌آبی حاوی انبوه‌های میسلی، با اعمال تنش برشی به مخلوط، مونومر از طریق جذب به‌وسیله مولکول‌های سطح‌فعال به داخل میسل، پایدار می‌شود و به‌شکل معلق در آب با قطر تقریبی $10\ \mu\text{m}$ درمی‌آید. در این شرایط، میسل اصطلاحاً متورم می‌شود (شکل ب). در مرحله بعدی با افزودن آغازگر پلیمرشدن به‌صورت محلول در آب، ابتدا رادیکال‌های آزاد محلول آبی ایجاد می‌شوند. سپس این رادیکال‌ها به درون میسل‌های متورم حاوی مونومرها، مهاجرت می‌کنند (شکل پ) و در نتیجه پلیمرشدن آغاز می‌شود (شکل ت). با شروع و ادامه یافتن فرایند پلیمرشدن، ذرات پلیمری پایدارشده درون میسل با قطر حدود $50\ \text{nm}$ تا $500\ \text{nm}$ تشکیل و مونومرهای بیشتری به‌وسیله میسل جذب می‌شوند. بدین ترتیب، فرایند پلیمرشدن ادامه پیدا می‌کند [۱].

در مقایسه با فرایند پلیمرشدن رادیکال آزاد، در فرایند پلیمرشدن امولسیونی، وزن مولکولی پلیمر سنتز شده معمولاً ۱۰ برابر بیشتر



شکل ۱- طرح‌واره فرایند پلیمرشدن امولسیونی شامل مراحل: (الف) شکل‌گیری میسل، (ب) حل‌پذیرسازی سطحی مونومر درون میسل، (پ) افزودن آغازگر و مهاجرت رادیکال‌های آزاد به درون میسل متورم و (ت) شکل‌گیری پلیمر درون میسل.



شکل ۲- شکل گیری فیلم پلیمری از طریق فرایند پلیمر شدن ادمیسیل شامل مراحل: (الف) شکل گیری ادمیسیل، (ب) حل پذیر سازی سطحی مونومر در ادمیسیل، (پ) افزودن آغازگر و مهاجرت رادیکال های آزاد به ادمیسیل، (ت) شکل گیری پلیمر درون ادمیسیل و (ث) شست و شوی نهایی.

تمایل دارند، در هسته آب گریز ادمیسیل قرار گیرند. این مرحله، حل پذیر سازی سطحی مونومر (monomer adsolubilization) نامیده می شود (شکل ۲ب).

۳- با افزودن آغازگر پلیمر شدن (ترجیحاً به صورت محلول در آب)، مشابه با فرایند پلیمر شدن امولسیون، رادیکال های آزاد شکل می گیرند و با ورود آن ها به ادمیسیل (شکل ۲پ)، فرایند پلیمر شدن آغاز شده و در نهایت لایه پلیمری در ادمیسیل تشکیل می شود (شکل ۲ت).

۴- در نهایت پس از پايان فرایند پلیمر شدن، خروج سطح پوشش یافته از محلول و شست و شوی نهایی آن، لایه بالایی ادمیسیل با شست و شو جدا شده و لایه نازک پلیمری بر سطح ایجاد می شود (شکل ۲ث).

کاربرد فرایندهای پلیمر شدن امولسیونی و ادمیسیل در صنعت نساجی

استفاده از فرایندهای پلیمر شدن امولسیونی و ادمیسیل در صنعت نساجی به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. سالانه محصولات بسیار زیادی در حوزه منسوجات و مواد کمکی و تعاونی با بهره گیری از این فرایندها روانه بازار می شوند. یکی از کاربردهای فرایند پلیمر شدن امولسیونی در صنعت نساجی در زمینه ساخت مواد تعاونی و کمکی، چسب های محلول در آب است. این چسب ها برای اتصال فیزیکی رنگ ها و رنگ دانه ها به منسوجات، افزایش ثبات شست و شویی رنگ ها یا سایر مواد تکمیلی بر سطح پارچه استفاده می شوند. سهم عمده ای از پوشاک به منسوجات پنبه ای اختصاص دارد و به دلیل آب دوستی آن ها فرایند رنگرزی

است. این مسئله به دلیل تفکیک زنجیرهای پلیمری در حال رشد، ایجاد رادیکال های آزاد درون محلول آبی و در نتیجه افزایش طول عمر رادیکال های آزاد است. به سبب آنکه پیش از اتمام فرایند پلیمر شدن، حداقل یک رادیکال آزاد درون میسل وجود دارد (شکل ۱ا)، رشد زنجیر پلیمری بیشتر بوده و پلیمر حاصل نسبت به فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد دارای وزن مولکولی بیشتری است. در فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد، معمولاً برای افزایش سرعت پلیمر شدن باید غلظت ماده آغازگر را افزایش داد. در نتیجه، میزان رادیکال های آزاد درون محلول افزایش پیدا می کند. این مسئله باعث می شود تا فرایند پلیمر شدن زودتر پایان یافته و وزن مولکولی پلیمر حاصل کاهش یابد. در فرایند پلیمر شدن امولسیونی، در اثر تفکیک و جداسازی پلیمرهایی که هر یک درون یک میسل رشد یافته اند و به تعویق افتادن اتصال دو پلیمر با یکدیگر و پايانش فرایند پلیمر شدن، با افزایش غلظت سطح فعال ها در محلول، دستیابی به سرعت پلیمر شدن زیاد امکان پذیر است. بنابراین، افزایش وزن مولکولی پلیمر حاصل در شرایط مشابه با فرایند پلیمر شدن رادیکال آزاد ممکن می شود [۴].

یکی دیگر از روش های نوین پوشش دهی سطوح با مواد پلیمری، فرایند پلیمر شدن ادمیسیل است. در حقیقت، این روش زیرشاخه ای از فرایند پلیمر شدن امولسیونی بوده و تنها تفاوت آن ایجاد پوشش بسیار نازکی بر سطح است. مشابه با فرایند پلیمر شدن امولسیونی، در این روش نیز از سطح فعال ها برای سنتز پلیمر بهره گیری می شود، ولی غلظت سطح فعال درون محلول مقداری کمتر از غلظت بحرانی تشکیل میسل است. این فرایند که نوعی پلیمر شدن درجا به شمار می رود، شامل مراحل زیر است [۵، ۶] (شکل ۲):

۱- در غلظت مشخصی از سطح فعال که اصطلاحاً غلظت بحرانی ادمیسیل (CAC) نامیده می شود و دقیقاً پیش از CAC اتفاق می افتد، انبوهه هایی از مولکول های سطح فعال شکل می گیرد که ادمیسیل نامیده می شوند (شکل ۲الف). علت آرایش یافتگی خاص مولکول های سطح فعال در غلظت بحرانی ادمیسیل به حداقل رساندن کشش سطحی و کاهش میزان تماس زنجیرهای آب گریز مولکول سطح فعال با آب است. در ساختار ادمیسیل در لایه پایینی سرهای آب دوست مولکول های سطح فعال با سطح مورد پوشش دهی در تماس بوده و در لایه بالایی، جهت سرهای آب دوست به سمت محلول آبی است.

۲- به سبب آب گریزی هسته ادمیسیل (زنجیرهای آب گریز سطح فعال در این ناحیه با یکدیگر واکنش می دهند)، در صورت افزودن ترکیبات آب گریز (مانند مونومرها) به محلول آبی، این ترکیبات

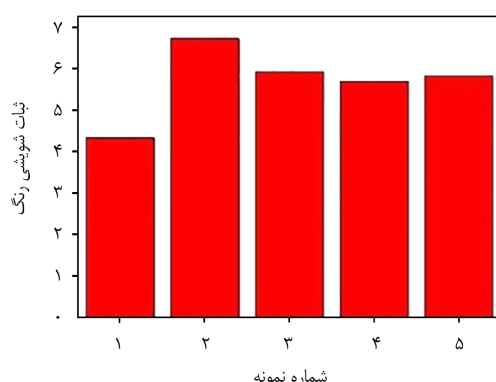
شد. ادعا شد، ثبات شست و شویی منسوجات رنگ شده در صورت استفاده از این چسبها بهبود می یابد. ادعای اصلی مطرح شده در این پژوهش، مزیت فرایند پلیمرشدن امولسیونی و رفع برخی از مشکلات فرایندی و زیست محیطی چسبهای پایه پلیمری است که با روشهایی غیر از این فرایند ساخته می شوند. برخی از مشکلات مطرح شده در این پژوهش عبارت از دمای پخت نسبتاً زیاد، زیردست نسبتاً زبر پارچه، آزاد شدن فرمالدهید و گرفتگی منافذ افشانک یا شابلون در فرایندهای چاپ منسوجات با بهره گیری از چاپ جوهرافشان هستند [۷].

Gao و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بهره گیری از پلیمرشدن امولسیونی شیرابه کوپلیمری کاتیونی را تهیه کردند (شکل ۳ الف). کاربرد این شیرابه به عنوان چسب پیونددهنده برای رنگرزی الیاف پنبه ای با رنگدانه ها اشاره شده است. به دلیل بار مثبت شیرابه کوپلیمری و بار منفی گروه های هیدروکسیل پنبه، برهم کنش های یونی گسترده الیاف و شیرابه شکل می گیرد. علاوه بر افزایش جذب رنگدانه، میزان چسبندگی آن بر سطح پارچه افزایش و در نتیجه ثبات شست و شویی و سایشی پارچه رنگرزی شده به میزان درخور توجهی ارتقا یافته است. در حین ساخت چسب و در طول فرایند پلیمرشدن امولسیونی از مونومر شبکه ای کننده هیدروکسی اتیل آکریلات استفاده شد. اثر ایجاد پیوندهای عرضی میان گروه های هیدروکسیل مونومر و هیدروکسیل سلولوز نیز مطالعه شد. در این پژوهش ادعا شده که پلیمرشدن امولسیونی روش ساده و تطبیق پذیری برای ساخت چسبهای پیونددهنده کاتیونی است. این چسبها، افزون بر بهبود زیردست پارچه و نرم کردن آن باعث افزایش استحکام منسوج نیز می شوند [۸]. در شکل ۳ ب

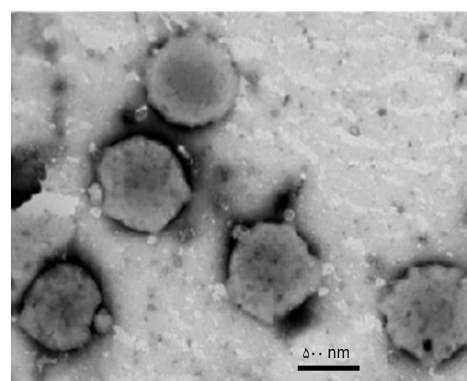
این منسوجات بسیار ساده است. به دلیل هزینه کم، برای رنگرزی این دسته از منسوجات اکثراً از رنگزاهای مستقیم استفاده می شود، ولی یکی از مشکلات اصلی این رنگزاهای، ثبات شست و شویی نسبتاً کم آنهاست. برای رفع این مشکل، از سایر رنگزاهای با ثبات بیشتر نظیر رنگزاهای واکنشی استفاده شده که در این صورت هزینه تولید بیشتر می شود یا برای افزایش ثبات شست و شویی رنگزاهای مستقیم، عملیات پس رنگرزی به کار می رود. از سویی، در حوزه محصولات نوین نساجی نظیر پوشاک ضد میکروب نیز از این چسبها برای افزایش ثبات نانوذرات ضد میکروب، نظیر نانوذرات نقره یا مس روی پارچه به طور گسترده استفاده می شود. یکی دیگر از کاربردهای این چسبها، رنگرزی الیاف آب گریز نظیر الیاف پلی اتیلنی یا پلی پروپیلنی و اتصال فیزیکی رنگ و رنگدانه به آنهاست.

برای تولید چسبها، عمدتاً از فرایند پلیمرشدن امولسیونی استفاده می شود. این چسبها معمولاً برپایه ترکیبات پلیمری یا کوپلیمری اتیل آکریلات، بوتیل آکریلات، استیرن-آکریلونیتریل، وینیل استات، بوتادیان و غیره است. با بهره گیری از فرایند پلیمرشدن امولسیونی و استفاده از سطح فعالها، مونومرهای یاد شده در محلول آبی با کمک میسلها به صورت تعلیق درمی آیند. با افزودن آغازگر، فرایند پلیمرشدن آغاز شده و در نهایت چسب محلول در آب تولید می شود.

در پژوهشی Abdou و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از فرایند پلیمرشدن امولسیونی و به کارگیری سطح فعال آنیونی سدیم دودسیل سولفات (SDS)، چسبهای پایه آکریلاتی با ذرات در ابعاد نانومتر تولید کردند. در این پژوهش، برای رنگرزی منسوجات صدفی پنبه ای و پلی استری با رنگدانه ها از این چسبها استفاده



(ب)



(الف)

شکل ۳- (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از چسب پیونددهنده تولیدی با روش پلیمرشدن امولسیونی، (ب) برآورد ثبات شست و شویی نمونه های پارچه پنبه ای رنگ شده با رنگدانه در شرایط (۱) بدون چسب و با چسب (۲) بدون ترکیب شبکه ای کننده، (۳) با ترکیب شبکه ای کننده، (۴) تجاری آنیونی و (۵) تجاری کاتیونی [۸].

نمودار مرتبط با ثبات شست‌وشویی منسوجات پنبه‌ای رنگ‌شده با رنگ‌دانه، با استفاده از چسب پیونددهنده و بدون آن نشان داده شده است.

ملاحظه می‌شود، استفاده از چسب اثر بسزایی بر افزایش ثبات شست‌وشویی رنگ‌دانه دارد. در صورت عدم استفاده از چسب، تنها پیوندهای واندروالس میان مولکول‌های رنگ‌دانه و سطح الیاف وجود دارد. بنابراین، ثبات شست‌وشویی رنگ در مقایسه با نمونه‌های رنگ‌شده با چسب کاهش پیدا می‌کند. در صورت افزودن چسب، برهم‌کنش یونی میان شیرابه و گروه‌های هیدروکسیل پنبه ایجاد می‌شود و در نتیجه استحکام رنگ‌دانه روی سطح پارچه افزایش پیدا می‌کند. نکته درخور توجه در این پژوهش، ثبات شست‌وشویی بیشتر نمونه رنگ‌شده با چسب ساخته‌شده با پلیمرشدن امولسیونی نسبت به نمونه‌های رنگ‌شده با چسب‌های تجاری آنیونی و کاتیونی است که نشان از مزیت فرایند پلیمرشدن امولسیونی دارد.

از چالش‌های 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 می‌شود. در این باره یکی از عوامل اصلی، ناهمواری و زبری پوشش ایجادشده روی منسوج است. هرچه لایه چسب ایجادشده روی پارچه دارای سطح صاف‌تر و هموارتری باشد، نرمی و زیردست پارچه کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از راهکارهای رفع این مشکل کنترل دقیق غلظت مواد اولیه هنگام سنتز چسب در فرایند پلیمرشدن امولسیونی و تولید ذرات کلئیدی با توزیع اندازه یکنواخت است. چنانچه ذرات چسب ابعاد نسبتاً یکسانی داشته باشند، پوشش ایجادشده دارای سطحی هموارتر می‌شود و زیردست پارچه کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نکته دیگر در حفظ حس راحتی پارچه پس از ایجاد لایه‌ای از چسب آکریلاتی، کاهش میزان مواد جامد یا کاهش غلظت چسب است. این مسئله باعث می‌شود، فضاهای خالی میان الیاف و نخ‌ها کمتر با ذرات جامد چسب پر شود. بنابراین، تبادل هوا در داخل پارچه راحت‌تر انجام می‌گیرد و ویژگی‌های تنفس‌پذیری و تبادل رطوبت و گرمای منسوج حفظ می‌شود.

یکی دیگر از مشخصه‌های اصلی کاربرد چسب‌های آکریلاتی روی منسوجات، ثبات سایشی مناسب آن‌هاست. چسب‌های پایه‌آکریلاتی در صورت اعمال بر سطح منسوجات به دلیل درهم‌پیچیدگی زنجیرهای پلیمری پلی‌آکریلات از ثبات سایشی قابل‌قبولی برخوردارند. همچنین گزارش شده است، به‌علت افزایش سختی خمشی الیافی که با چسب‌های آکریلاتی پوشش‌دهی شده‌اند،

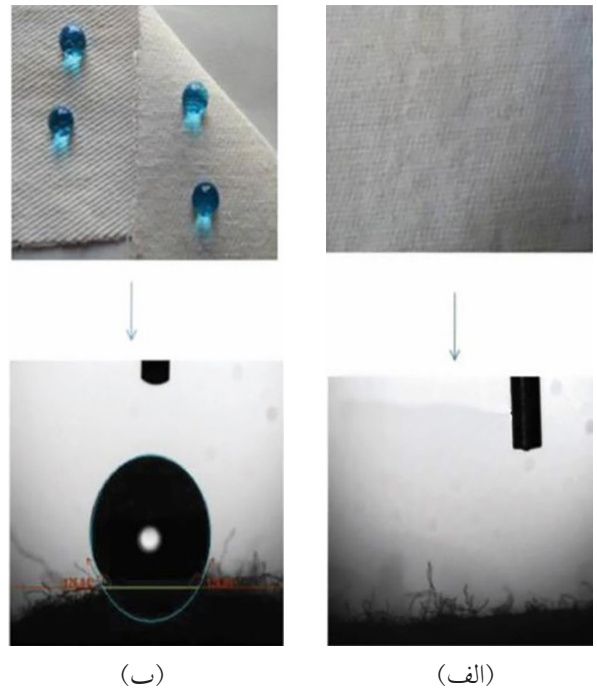
ثبات سایشی منسوجات بهبود یافته و میزان پرزدهی پارچه به میزان درخور توجهی کاهش می‌یابد [۹].

Lee و همکاران (۲۰۰۶) با مقایسه عملکرد چسب‌های پلی‌یورتانی و پلی‌آکریلاتی، ثبات سایشی و شست‌وشویی منسوج پنبه‌ای پوشش‌یافته با میکروکپسول‌های معطر را مطالعه کردند. در این پژوهش گزارش شده است، چسب پلی‌آکریلاتی عملکرد بسیار مناسب‌تری را در مقایسه با چسب پلی‌یورتانی در زمینه بهبود ثبات شست‌وشویی و سایشی پارچه پنبه‌ای تکمیل‌شده نشان می‌دهد. به‌طوری که پارچه پس از ۲۵ بار چرخه شست‌وشو همچنان معطر می‌ماند و ثبات سایشی آن نسبت به پارچه عمل‌آوری‌نشده ۱۵۷ درصد بهبود پیدا می‌کند [۹].

در مباحث مربوط به تکمیل پارچه، آب‌گریز کردن منسوجات از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین فرایندهای تکمیل پارچه است. در این حوزه، از هر دو فرایند پلیمرشدن امولسیونی و ادمیسی به‌طور گسترده برای آب‌گریز کردن پارچه می‌شود. ایجاد پوششی از ترکیبات آب‌گریز روی منسوج از متداول‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها برای ضدآب کردن پارچه است. در این زمینه، استفاده از ترکیبات فلئوئوردار به دلیل کشش سطحی بسیار کم آن‌ها دارای ارجحیت است.

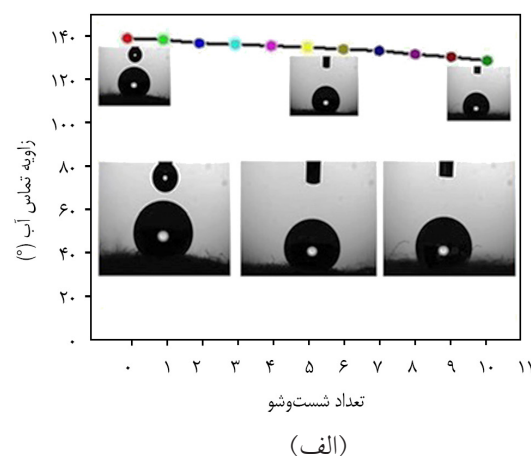
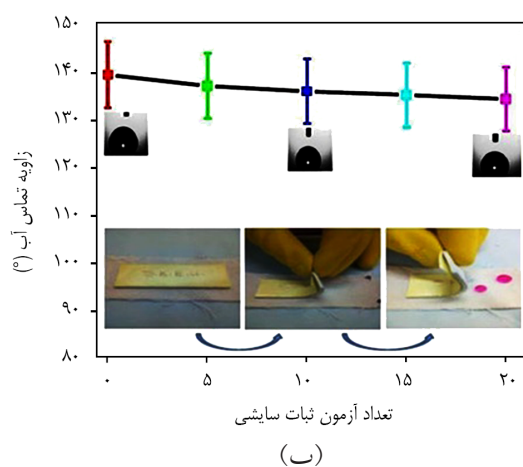
Maity و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه دو روش پوشش‌دهی الیاف پنبه‌ای با ترکیبات فلئوئوردار پرداخته‌اند. در این پژوهش، میزان آب‌گریزی الیاف پنبه‌ای که به‌طور مستقیم با ترکیبات فلئوئوردار پوشش یافته‌اند یا از طریق پلیمرشدن ادمیسی، پوشش نازکی از یک فلئوئوروپلیمر روی سطح آن‌ها ایجاد شده با هم مقایسه شده‌اند. گزارش شده که زاویه تماس قطره آب با سطح پارچه در این دو روش به ترتیب 117° و 125° است. پس از انجام مطالعات دقیق روی سطح الیاف، مشخص شد که آب‌گریزی بیشتر پارچه پنبه‌ای پوشش‌یافته با پلیمرشدن ادمیسی به‌علت ناهمواری و تخلخل بیشتر پوشش فلئوئوروپلیمری روی سطح الیاف است [۱۰]. در حقیقت، در اثر ناهمواری‌های میکرومقیاس الیاف پنبه‌ای و ناهمواری نانومقیاس پوشش ایجادشده با پلیمرشدن ادمیسی، ساختار چندبعدی و بسیار ناهمواری روی سطح ایجاد شده که براساس معادلات ترشوندگی سطوح Cassie, Baxter و Wenzel، میزان آب‌گریزی پارچه پنبه‌ای تا حدود ۷٪ بهبود یافته است.

Mondal و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از فرایند پلیمرشدن ادمیسی، پوشش نازکی از پلیمر فلئوئوردار را روی پارچه پنبه‌ای ایجاد کرده و سپس سطح منسوج را با اکتافلئوئوروفیل آکریلات آب‌گریز کردند. آن‌ها گزارش کردند، منسوج پارچه‌ای تکمیل‌شده، دارای خواص آب‌گریزی (زاویه تماس 126°) و روغن‌گریزی است



شکل ۴- تصاویر پارچه‌های: (الف) پنبه‌ای خام و (ب) پوشش‌یافته با فلوئوروپلیمر با روش پلیمرشدن ادمیسل. تصاویر بالا عکس قطره‌های آب قرارگرفته روی پشت و روی پارچه‌ها برای بررسی کیفی نشان داده شده است. تصاویر پایین طی اندازه‌گیری زاویه تماس با قرارگیری یک قطره آب به حجم $10 \mu\text{L}$ روی پارچه‌ها به وسیله دوربین دیجیتال تهیه شده است [۱۱].

(شکل ۴). در این پژوهش، به نقش ویژه پلیمرشدن ادمیسل در ایجاد سطح ناهموار روی پارچه پنبه‌ای و در نتیجه ارتقای خاصیت آب‌گریزی اشاره شده است [۱۱].



شکل ۵- تغییرات زاویه تماس آب: (الف) پس از هر بار شست‌وشو و (ب) طی آزمون ثبات سایشی برای نمونه‌های پارچه پنبه‌ای پوشش‌یافته با تری‌فلوئورواتیل آکریلات با روش پلیمرشدن ادمیسل [۱۲].

Mondal و همکاران در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۹ دریافتند، منسوج پنبه‌ای پوشش‌یافته با پلیمر تری‌فلوئورواتیل آکریلات با فرایند پلیمرشدن ادمیسل، خواص آب‌گریزی قابل قبولی دارد (زاویه تماس 135°). این پوشش از ثبات شست‌وشویی و سایشی فوق‌العاده‌ای برخوردار است. پس از ۱۰ بار شست‌وشو، منسوج پنبه‌ای همچنان آب‌گریز و زاویه تماس آب با سطح آن در حدود 130° (شکل ۵) بود. پس از ۲۰ چرخه، ویژگی‌های آب‌گریزی پارچه در آزمون ثبات سایشی هیچ تغییری نکرد [۱۲]. یادآوری می‌شود، هر چرخه از آزمون شامل چسباندن یک نوار چسب قوی روی پارچه و سپس برداشتن آن از روی منسوج است در برخی از گزارش‌ها، به معایبی از ترکیبات فلوئوردار نظیر ایجاد حساسیت‌های پوستی و به‌مخاطره انداختن سلامت پوست مصرف‌کننده لباس اشاره شده است. در این باره، یکی از راهکارها با وجود کشش سطحی بیشتر و در نتیجه آب‌گریزی کمتر، استفاده از موم‌ها و ترکیبات پارافینی به‌عنوان جایگزین ترکیبات فلوئوردار است. از مشکلات این ترکیبات، حل‌ناپذیری در آب است که مشکلات فرایندپذیری و ایجاد پوشش غیریکنواخت روی پارچه در استفاده از پلیمرشدن امولسیون و معلق‌سازی آن‌ها در محلول‌های آبی به‌کمک سطح‌فعال‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Kim و همکاران در سال ۲۰۱۶، ۵ ترکیب پارافینی غیرفلوئوردار را با طول‌های متفاوت زنجیر آلکیل با استفاده از پلیمرشدن امولسیون سنتز کردند. آن‌ها از این ترکیبات برای آب‌گریز کردن پارچه‌های پلی‌استری، نایلونی و پنبه‌ای استفاده کردند. در این پژوهش با مقایسه ترکیبات مختلف، طول بهینه زنجیر آلکیل بین ۱۶ و ۱۸

(کشش سطحی ۲۱-۲۰ mN/m) و زاویه تماس قطره آب ۱۳۰° گزارش شده است [۱۳].

در پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۴، Huang و همکاران برای آب‌گریز کردن منسوجات پلی‌استری از نانوکوپلیمرهای فلوئوروآکریلاتی و سنتز آن‌ها با پلیمرشدن امولسیونی استفاده کردند. در این مطالعه، برای معلق‌سازی مونومرهای فلوئوروآکریلاتی از استتاریل تری‌متیل آمونیوم کلرید استفاده و ادعا شده است، میزان آب‌گریزی پارچه پس از سنتز کوپلیمر با پلیمرشدن امولسیونی از سایر ترکیبات تجاری آب‌گریز بیشتر است [۱۴].

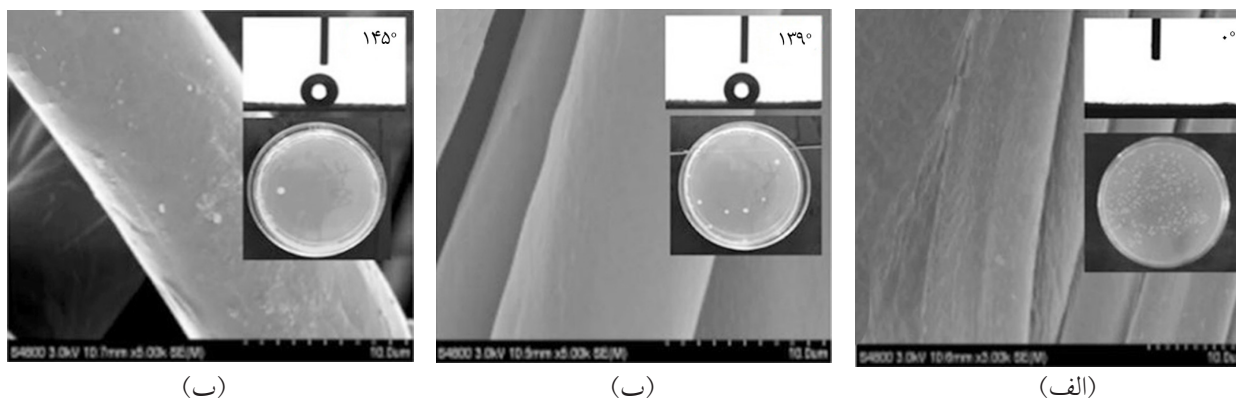
افزون بر ترکیبات موم‌مانند، استفاده از ترکیبات سیلیکونی نیز دارای مزیت است. Tragoonwichian و همکاران در سال ۲۰۱۱، با استفاده از پلیمرشدن ادمیسی و مونومرهای سیلیکونی همراه با دو سطح فعال کاتیونی و آنیونی سیلیکونی اقدام به آب‌گریز کردن پارچه پنبه‌ای کردند. در این پژوهش، از مونومرهای متاکریلوکسی متیل تری‌متیل سیلان و متاکریلوکسی پروپیل پتامتیل دی‌سیلوکسان استفاده شد. نتایج نشان داد، سطح فعال‌های کاتیونی به میزان بیشتری روی سطح پارچه پنبه‌ای جذب شده‌اند و پوشش بسیار نازکی از پلیمر سیلیکونی روی منسوج ایجاد می‌شود. همچنین، استفاده از مونومر متاکریلوکسی متیل تری‌متیل سیلان به خواص آب‌گریزی بیشتر (زاویه تماس بیش از ۱۱۰°) منجر می‌شود [۱۵].

در حوزه منسوجات پزشکی و ضدمیکروب نیز استفاده از پلیمرشدن امولسیونی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Naz و همکاران در سال ۲۰۱۸ برای ضدمیکروب کردن منسوج پنبه-پلی‌استر از محلول‌های پلی‌یورتان پایه‌کیتوسانی محلول در آب استفاده کردند. این محلول‌ها با استفاده از پلیمرشدن امولسیونی سنتز شده و سپس با استفاده از روش غوطه‌وری و فشرده‌سازی روی منسوجات پنبه-پلی‌استر پوشش‌دهی شدند. آن‌ها نتیجه

گرفتند، پوشش اعمالی باعث شده است تا منسوجات پنبه-پلی‌استر، خواص ضدمیکروب بسیار عالی را در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت نشان دهند [۱۶]. Ren و همکاران در سال ۲۰۱۸ با فرایند پلیمرشدن ادمیسی، پوشش نازک پلیمری برپایه N-هالامین را روی سطح پارچه پلی‌استری ایجاد و نوعی منسوج ضدمیکروب قوی تولید کردند. خواص ضدمیکروب منسوج پلی‌استری در برابر هر دو نوع باکتری گرم مثبت و گرم منفی بسیار مطلوب گزارش شده است [۱۷].

Du و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز از پلیمرهای N-هالامین و فرایند پلیمرشدن امولسیونی برای ضدمیکروب کردن بی‌بافت‌های پلی‌پروپیلنی استفاده کردند. در این پژوهش، از مونومرهای وینیل استات و متاکریل‌آمید، آغازگر پرسولفات آمونیوم و سطح فعال سدیم دودسیل سولفات برای سنتز پلیمر N-هالامینی استفاده شد. درنهایت، پوشش نازکی روی سطح منسوج بی‌بافت پلی‌پروپیلن ایجاد شد. خواص ضدمیکروب این منسوج در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی عالی ارزیابی شده است [۱۸].

Zhou و همکاران در سال ۲۰۲۰، شیرابه‌های پلی‌آکریلات ضدمیکروب و ضدآب را با استفاده از پلیمرشدن امولسیونی تولید کردند. این شیرابه حاوی نقره و ترکیبات فلوئوردار، برای تکمیل منسوجات استفاده می‌شود. همان‌طور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) در شکل ۶ نشان داده شده است در قسمت الف، الیاف خام پنبه‌ای هیچ‌گونه خواص ضدمیکروب یا آب‌گریزی نشان نداده‌اند و در ظرف رشد باکتری، تمام کلونی‌های باکتریایی رشد کرده‌اند. در شکل ۶ب، الیاف فقط با پلی‌آکریلات فلوئوردار پوشش‌دهی شدند. به‌علت خواص ضدمیکروبی اتم فلوئور، میزان رشد باکتری نسبت به الیاف خام کاهش درخور توجهی داشته است. در شکل ۶پ، الیاف پوشش‌یافته با پلی‌آکریلات فلوئوردار

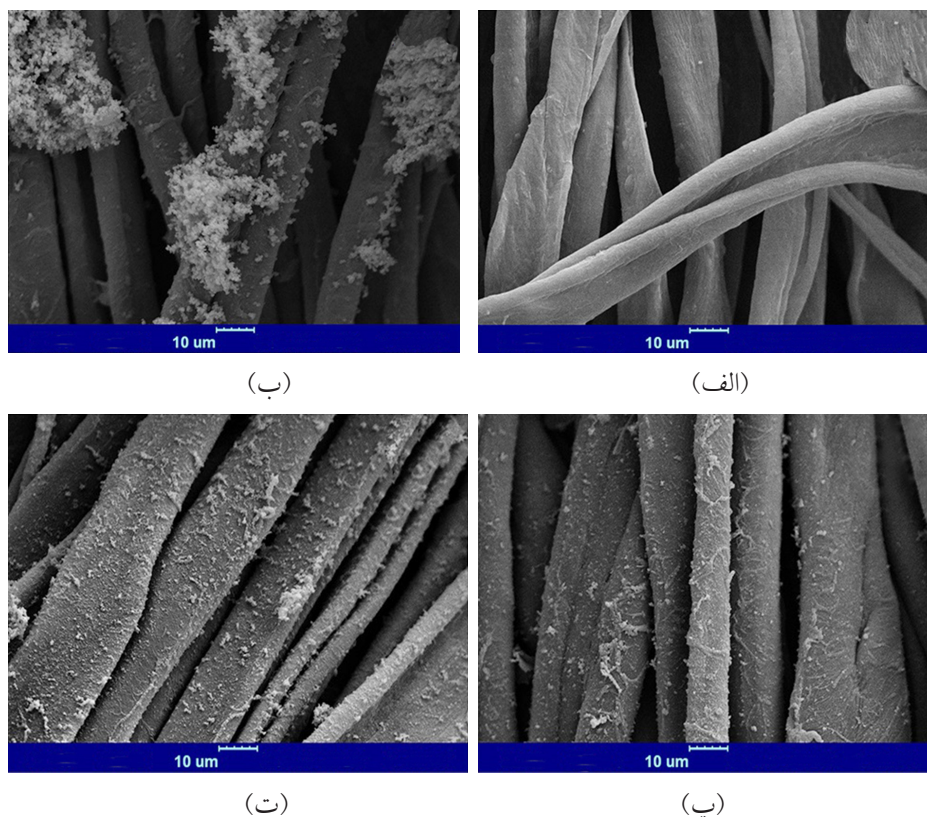


شکل ۶- تصاویر SEM الیاف پنبه‌ای، زاویه تماس قطره آب با سطح الیاف و ظرف کشت باکتری‌های گرم منفی در آزمون ضدمیکروبی برای: (الف) نمونه‌های خام و عمل‌آوری شده با (ب) شیرابه‌های پلی‌آکریلات حاوی ترکیبات فلوئوردار و (پ) فلوئور-نقره [۱۹].

حاوی نقره، خواص ضد میکروب فوق‌العاده‌ای نشان داده و خواص ضدآب آن‌ها نیز نسبت به قسمت ب افزایش داشته است [۱۹]. تمام منسوجات با وجود گروه‌های فعال در ساختار آن‌ها فاقد رسانندگی الکتریکی بوده و اساساً عایق جریان الکتریسیته هستند. در برخی از کاربردهای ویژه، نظیر لباس‌های کار در پمپ بنزین و کارخانه‌های تولیدکننده تجهیزات الکترونیکی یا منسوجات هوشمند رسانا، خواص رسانندگی الکتریکی برای پارچه بسیار ضروری است. در حوزه رساناکردن منسوجات از پلیمرشدن امولسیون، به‌ویژه پلیمرشدن ادمیسی بسیار بهره‌گیری شده است. مزیت پلیمرشدن ادمیسی، ایجاد پوشش نازکی بر سطح پارچه است که باعث می‌شود، افزون بر حفظ خواص فیزیکی پارچه نظیر زبردست، حس تنفس‌پذیری و راحتی پارچه، قابلیت رسانش جریان الکتریکی روی سطح آن ایجاد شود و بتوان از منسوج در کاربردهای جدید (منسوجات هوشمند) استفاده کرد.

Yan و همکاران در سال ۲۰۱۸، غشاهای نانولیفی پلی‌استری رسانا را با استفاده از فرایند الکتروریسی و ترکیب محلول پایه پلی‌لاکتیک اسید با پلیمر رسانای پلی‌آنیلین سنتز شده با پلیمرشدن امولسیونی، تولید کردند. در این پژوهش، میزان رسانندگی الکتریکی

نانوالیاف الکتروریسی شده در حدود $9/1 \times 10^{-3}$ S/cm گزارش شده است [۲۰]. Liang و همکاران در سال ۲۰۱۳ با بهره‌گیری از پلیمرشدن ادمیسی و ترکیب سطح‌فعال‌های آنیونی و کاتیونی به همراه مونومر پیرول، منسوج رسانای پنبه‌ای با مقاومت سطحی $14 \Omega/m^2$ را تولید کردند [۲۱]. در پژوهش دیگر Wang و Yang سال ۲۰۱۹، کامپوزیت‌های رسانای پیرول-سلولوز را روی الیاف فلکس با پلیمرشدن ادمیسی پلی‌وینیل الکل تولید کردند. مقاومت سطحی الیاف حاصل در این پژوهش در حدود $20 \Omega/m^2$ بود [۲۲]. Berendjchi و Khajavi در سال ۲۰۱۷ با بهره‌گیری از پلیمرشدن ادمیسی، رسانندگی الکتریکی منسوجات پنبه‌ای پوشش‌یافته با پلی‌پیرول را تا ۴۹٪ افزایش دادند. در این پژوهش، ابتدا سطح الیاف پنبه با ترکیب ۳-کلرو-۲-هیدروکسی تری‌متیل آمونیوم کلرید، کاتیونی شد. سپس به کمک سطح‌فعال آنیونی سدیم دودسیل سولفات و حل‌پذیرسازی سطحی مونومر پیرول در ادمیسل و پلیمرشدن ادمیسی، پوشش نازکی از پلی‌پیرول روی سطح پارچه ایجاد شد (شکل ۷). در این پژوهش به نقش بسیار مهم فرایند پلیمرشدن ادمیسی در ایجاد منسوجات پنبه‌ای بسیار رسانا اشاره شده است. پژوهشگران دریافتند، در صورت پوشش‌دهی الیاف



شکل ۷- تصاویر SEM: (الف) الیاف پنبه‌ای، (ب) پوشش‌یافته با پلی‌پیرول، (پ) پنبه طبیعی پلیمرشده ادمیسی و (ت) پنبه طبیعی پیش‌کاتیونی شده و پلیمرشده ادمیسی [۲۳].

میکروکپسول‌ها (شکل ۹ ب و پ)، به‌ترتیب قابلیت حفظ ۶/۵۷ و ۲۸/۵۹ J/g گرما را داشتند [۲۵].

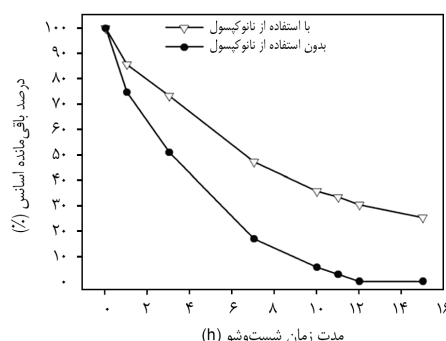
یکی دیگر از کاربردهای بالقوه پلیمرشدن ادمیسی در عملیات تکمیل ضدآتش‌کردن منسوجات است. منسوجات ساخته‌شده از الیاف مصنوعی همچون پلی‌اولفین، پلی‌استر یا نایلون بسیار اشتعال‌پذیرند. منسوجات پلی‌اولفینی، به‌ویژه پلی‌پروپیلن، به‌علت ساختار کاملاً هیدروکربنی آلیفاتیک در اثر قرارگیری در معرض گرما به‌سرعت آتش می‌گیرند. آن‌ها با تولید مقادیر نسبتاً اندکی دود، بدون باقی‌گذاشتن هیچ نوع خاکستری می‌سوزند. دمای اشتعال خودبه‌خود این منسوجات در حدود ۵۷۰ °C است و تجزیه آن‌ها در مقایسه با چوب و سایر مواد سلولوزی با سرعت زیادی انجام می‌شود [۲۶]. بنابراین، ضدآتش‌کردن منسوجاتی که در معرض دماهای نسبتاً زیاد قرار می‌گیرند، به‌ویژه منسوجات ساخته‌شده از الیاف مصنوعی، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

Rafikov و همکاران در سال ۲۰۲۲، در حین فرایند آهارزنی نخ پنبه‌ای با ترکیب پلی‌آکریل آمید، کلاژن، اوره و بوریک اسید با نشاسته (ماده مخصوص آهارزنی) نخ ضدآتش تولید کردند. در این مطالعه، برای تولید مخلوط پلی‌آکریل آمید-کلاژن از پلیمرشدن امولسیون استفاده شد. درنهایت با مخلوط‌کردن اوره و بوریک اسید با این ترکیب، محلول چسب‌مانند غلیظ به‌دست آمده و برای ضدآتش‌کردن، نخ پنبه‌ای با موفقیت پوشش‌دهی شد. آن‌ها دریافتند، ترکیب پلی‌آکریل آمید-کلاژن باعث کاهش قابلیت دودکردن و افزایش مقاومت گرمایی الیاف به‌طور چشمگیر می‌شود [۲۷]. در پژوهش مشابهی Nabijun و همکاران در سال ۲۰۱۷، ابتدا کلاژن را از پوست چهارپایان استخراج و سپس با پلیمرشدن امولسیونی محلول حاوی پلی‌آکریلات-کلاژن تهیه و از آن برای ضدآتش‌کردن منسوجات استفاده کردند [۲۸].

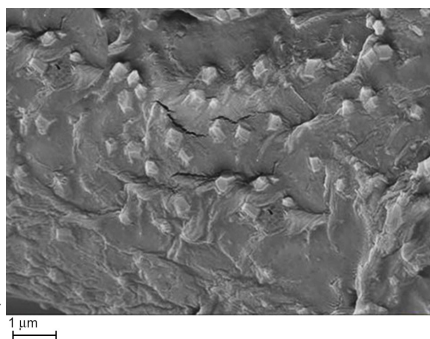
پنبه‌ای با پلی‌پیرول بدون استفاده از پلیمرشدن ادمیسی، پوشش غیریکنواختی روی الیاف تشکیل شده است (شکل ۷ ب). در صورت به‌کارگیری پلیمرشدن ادمیسی (شکل ۷ پ و ت)، پوشش کاملاً یکپارچه تمام سطح الیاف را دربرمی‌گیرد و بنابراین رسانندگی الکتریکی آن به‌طور درخور توجهی افزایش پیدا می‌کند [۲۳].

تولید نانوکپسول‌ها و به‌کارگیری آن‌ها برای تکمیل منسوجات نیز از دیگر کاربردهای پلیمرشدن امولسیونی در صنعت نساجی است. در پژوهش Liu و همکاران در سال ۲۰۱۸، نانوکپسول معطر با پوسته سخت کopolymer استیرن-متیل‌متاکریلات و هسته پلی‌بوتیل آکریلات اصلاح‌شده با ترکیب پلی‌سیلوکسان با استفاده از پلیمرشدن امولسیونی و سطح‌فعال‌های آنیونی سدیم دودسیل بنزن سولفونات و سدیم دودسیل بنزن سولفات ساخته شد. کاربرد این نانوکپسول برای معطرکردن انواع منسوجات بوده و بنابراین در آن انواع ترکیبات روغنی و اسانس‌های معطر محبوس شده است. نتایج نشان داد، حتی پس از ۱۵ h شست‌وشوی پارچه، میزان اسانس یا روغن معطر روی منسوج در حدود ۲۳٪ است. این مسئله نشانگر ثبات شست‌وشویی زیاد نانوکپسول تولیدی است. در شکل ۸، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی از سطح الیاف پنبه‌ای پوشش‌یافته با نانوکپسول و نمودار کاهش میزان اسانس معطر در سطح پارچه پس از شست‌وشو نشان داده شده است [۲۴].

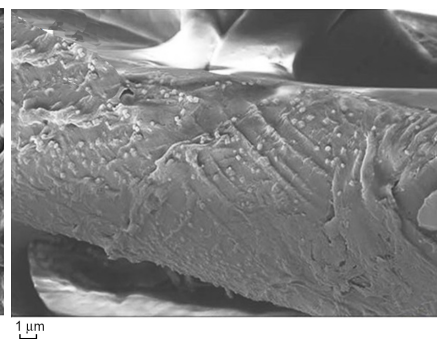
Alay و همکاران در سال ۲۰۱۰ برای تولید پارچه‌های عایق گرمای استفاده‌شده در تهیه کاپشن و سایر محصولات مشابه از پوشش‌دهی پارچه‌های صددرصد پنبه‌ای و پنبه-پلی‌استر با میکروکپسول‌های پلی‌آکریلاتی استفاده کردند. این میکروکپسول‌ها با پلیمرشدن امولسیونی و حل‌پذیرسازی سطحی مونومر بوتیل آکریلات در میسل‌های سطح‌فعال آنیونی (Triton x-100) ساخته شد (شکل ۹ الف). این منسوجات پس از پوشش‌دهی با این



(پ)

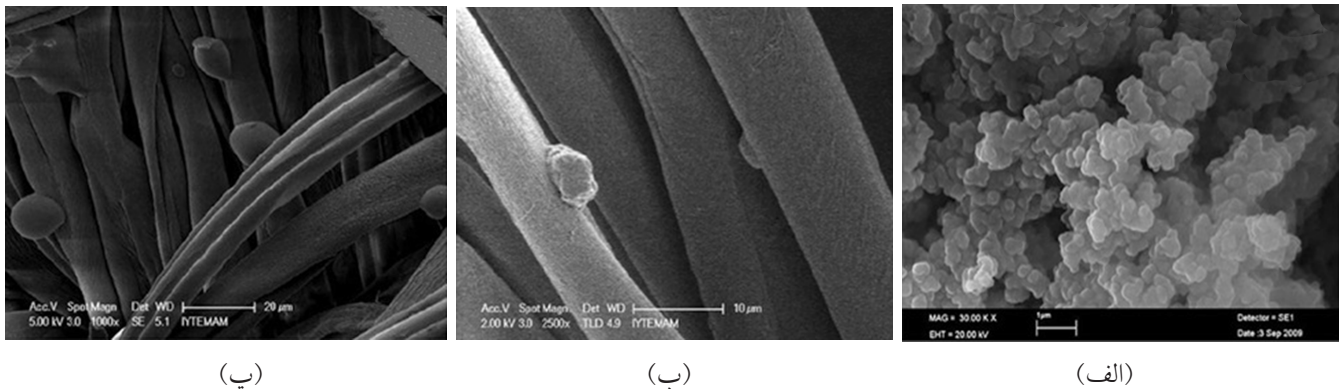


(ب)



(الف)

شکل ۸- (الف) و (ب) تصاویر SEM الیاف پنبه‌ای پوشش‌یافته با نانوکپسول حاوی اسانس معطر و پلیمرشده امولسیونی، (پ) نمودار درصد باقی‌مانده اسانس معطر پارچه‌های پنبه‌ای پوشش‌یافته با نانوکپسول و بدون آن در برابر زمان شست‌وشو [۲۴].



(الف)

(ب)

(پ)

شکل ۹- تصاویر SEM میکروکپسول‌های پلی‌آکریلاتی ساخته‌شده با پلیمرشدن امولسیونی: (الف) الیاف پنبه‌ای، (ب) پلی‌استری و (پ) پوشش‌یافته با میکروکپسول‌ها [۲۵].

به ۴۰ (ویژگی حفاظتی بسیار عالی) برای پارچه پوشش‌یافته ارتقا یافت که نشانگر خواص حفاظتی فوق‌العاده پارچه است [۳۰]. Xu و همکاران (۲۰۲۱) برای تکمیل چندمنظوره پارچه پنبه‌ای از تولید میکروکپسول‌ها با روش پلیمرشدن امولسیونی و سپس غوطه‌وری پارچه درون آن استفاده کرده‌اند. میکروکپسول ساخته‌شده حاوی عصاره توت‌فرنگی و مواد جاذب امواج فرابنفش (با نام تجاری U1130) بود که با نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید نیز پوشش‌یافته است. رزین سیلیکونی نیز به‌طور هم‌زمان در حین تولید میکروکپسول با پلیمرشدن امولسیونی به محلول افزوده و سپس پارچه درون آن غوطه‌ور شده است. به‌دلیل وجود عصاره توت‌فرنگی، پارچه معطری

Xue و همکاران در سال ۲۰۱۶، ابتدا شیرابه پلی‌آکریلاتی را با پلیمرشدن امولسیونی تولید کرده و از آن در عملیات تکمیل ضدآتش کردن منسوجات به‌عنوان چسب برای اتصال مؤثر پلی‌فسفات آمونیوم به پارچه استفاده کردند. در شکل ۱۰ دیده می‌شود، پس از اجرای آزمون شعله عمودی، پارچه به‌طور کامل آتش می‌گیرد و خاکستر می‌شود. در این آزمون، نمونه پارچه‌ای در فک قرار می‌گیرد و پس از قرارگیری در معرض آتش، میزان پیش‌روی شعله در پارچه به‌طور عمودی اندازه‌گیری می‌شود. در نمونه پوشش‌یافته با پلی‌فسفات آمونیوم که از طریق پلی‌آکریلات به سطح پارچه متصل شده، آتش در پارچه پیش‌روی نکرده و نمونه به‌خوبی دارای ویژگی دفع آتش است [۲۹].

از کاربردهای دیگر فرایندهای پلیمرشدن امولسیونی و ادمیسی در تکمیل‌های نوین صنعت نساجی، ایجاد پارچه‌های محافظ در برابر امواج فرابنفش است. برخورد این امواج با منسوجات با مرور زمان باعث کاهش خواص مکانیکی و استحکام آن‌ها می‌شوند و در صورت تماس با پوست مصرف‌کننده باعث ایجاد مشکلاتی چون حساسیت یا بیماری‌های پوستی و در بدترین حالت ابتلا به سرطان پوست می‌شوند. از این رو، تکمیل پارچه و ایجاد خواص حفاظت در برابر این امواج بسیار کاربردی و حائز اهمیت است.

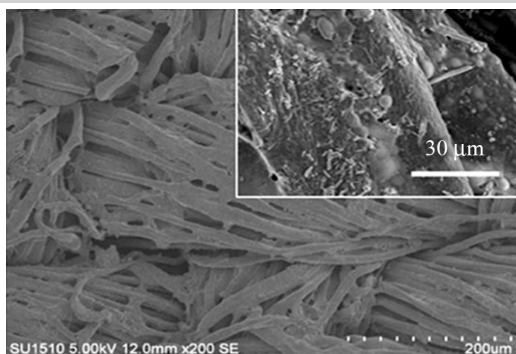
Tragoonwichian و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از پلیمرشدن ادمیسی و به‌کمک سطح‌فعال سدیم دودسیل بنزن سولفونات و حل‌پذیرسازی سطحی مونومر برپایه بنزوفنون درون ادمیسل‌ها روی سطح پارچه و در نهایت ایجاد پوشش نازکی از پلی‌بنزوفنون، منسوجات پنبه‌ای محافظ در برابر امواج فرابنفش ایجاد کردند. پس از انجام پلیمرشدن ادمیسی و ایجاد پوشش پلی‌بنزوفنونی روی پارچه، ضریب حفاظت در برابر تابش فرابنفش از ۴ برای پارچه خام



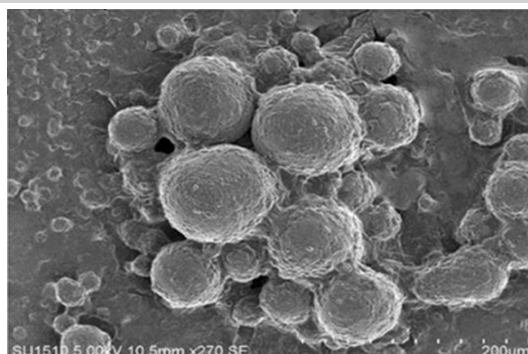
(الف)

(ب)

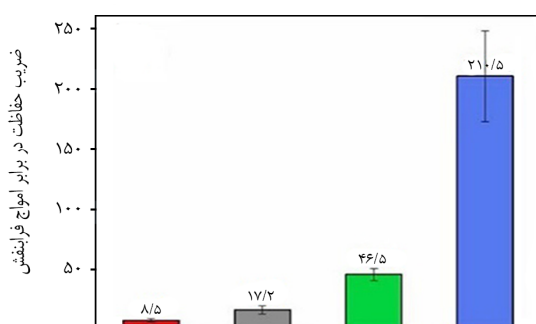
شکل ۱۰- تصاویر دیجیتال از منسوجات: (الف) نایلونی خام و (ب) پوشش‌یافته با شیرابه پلی‌آکریلاتی حاوی پلی‌فسفات آمونیوم [۲۹].



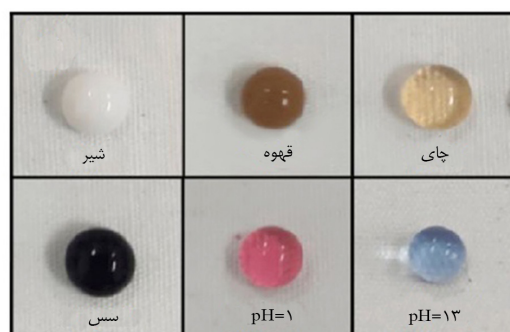
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۱۱- تصاویر SEM: (الف) میکروکپسول‌های حاوی عصاره توت فرنگی و ماده جاذب امواج فرابنفش (U1130) پوشش‌یافته با نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید سنتز شده به روش پلیمرشدن امولسیونی، (ب) پارچه پنبه‌ای پوشش‌یافته با میکروکپسول و رزین سیلیکونی، (پ) همان پارچه با خاصیت دفع انواع مایعات، (ت) نمودار ضریب حفاظت در برابر امواج فرابنفش (UPF) منسوجات پنبه‌ای پوشش‌یافته بدون میکروکپسول (قرمز)، با میکروکپسول و بدون نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید (خاکستری)، با میکروکپسول و بدون U1130 (سبز) و با میکروکپسول‌های حاوی عصاره توت فرنگی، U1130 و نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید [۳۱].

دفع‌کنندگی دارد که نشانگر مزیت فرایند پلیمرشدن امولسیونی است.

براساس نمودار شکل ۱۱ ت نیز کاملاً مشخص است، پارچه پنبه‌ای پوشش‌یافته با میکروکپسول از قابلیت بسیار زیادی برای محافظت از مصرف‌کننده لباس در برابر امواج فرابنفش برخوردار است. نکته درخور توجه در نمودار قرمز رنگ است که در آن پارچه صرفاً با ترکیب جاذب امواج فرابنفش پوشش‌دهی شده و ضریب حفاظت آن بسیار کم است. هنگامی که این ماده طی فرایند پلیمرشدن امولسیونی در میکروکپسول، حل‌پذیرسازی سطحی شده و سپس روی پارچه پوشش‌یافته می‌شود، به دلیل رهایش تدریجی این ترکیب و وجود نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید روی سطح میکروکپسول، ضریب حفاظت پارچه به‌نحو درخور ملاحظه‌ای ارتقا پیدا می‌کند، زیرا این نانوذرات خاصیت جذب امواج فرابنفش دارند.

تولید شد که تا ۸۵ روز قابلیت رهایش تدریجی عصاره توت فرنگی و بوی معطر را داشت. از سویی، پارچه به دلیل وجود سیلیکون دارای خاصیت ابرآبگریزی با زاویه تماس ۱۵۹° بود. سومین و مهم‌ترین ویژگی پارچه، خواص حفاظتی بسیار عالی در برابر امواج فرابنفش با معیار ۲۵۰ به علت وجود تیتانیم دی‌اکسید در پوشش است [۳۱]. چنانچه در شکل ۱۱ الف دیده می‌شود، میکروکپسول‌های تولیدی با روش پلیمرشدن امولسیونی، شکلی مدور با اندازه‌ای در حدود ۵ μm تا ۲۰ μm دارند. سطح نسبتاً زیر میکروکپسول‌ها به علت وجود نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید است که کاملاً بر سطح میکروکپسول به‌طور یکنواخت توزیع و پوشش‌دهی شده‌اند. براساس تصویر میکروسکوپ الکترونی شکل ۱۱ ب، پوشش‌دهی الیاف پنبه‌ای با میکروکپسول‌ها نشان داده شده است. در شکل ۱۱ پ نیز ملاحظه می‌شود، پارچه افزون بر ویژگی ضدآب، در برابر سایر مایعات نظیر شیر، چای، قهوه، سس و محلول‌های کاملاً قلیایی و اسیدی ویژگی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کاربردهای فرایندهای پلیمرشدن امولسیون و ادمیسی در صنعت نساجی به‌طور اجمالی مرور شد. از مهم‌ترین قسمت‌های فرایندی در صنعت نساجی عملیات تکمیل الیاف، نخ یا پارچه است. از سویی، عملیات باعث رفع مشکلات فنی در ساخت محصول نهایی می‌شود یا با ایجاد ویژگی‌های جدید در آن، ارزش افزوده محصول را افزایش می‌دهد. در این زمینه از فرایندهای پلیمرشدن امولسیون و ادمیسی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. مواد کمکی و تعاونی در فرایند پلیمرشدن 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 یا افزایش استحکام و ثبات مواد تکمیلی استفاده‌شده روی پارچه است. در این باره اکثراً تولید چسب‌های پلی‌آکریلاتی با استفاده از پلیمرشدن امولسیون بسیار رواج دارد. در سایر فرایندهای تکمیل پارچه، از پلیمرشدن امولسیون نیز به‌طور گسترده استفاده می‌شود. در این زمینه، بیشترین کاربرد مربوط به تولید میکروکپسول‌ها یا نانوکپسول‌ها برای افزایش اثر دوام مواد تکمیلی بر پارچه است. در این فرایند، معمولاً ماده

تکمیلی مدنظر درون پوسته پلیمری حل‌پذیرسازی سطحی می‌شود. پس از پوشش‌دهی کپسول روی پارچه، با گذشت زمان و پس از پوشیدن لباس، در اثر اعمال فشار به کپسول و شکسته‌شدن غشای پلیمری، ماده تکمیلی آزاد می‌شود و بر پارچه اثر می‌گذارد. از این فرایند، معمولاً در ساخت منسوجات معطر استفاده می‌شود. سایر فرایندهای تکمیلی انجام‌شده روی پارچه با استفاده از پلیمرشدن امولسیون را می‌توان به عملیات ضد میکروب کردن، آب‌گریز کردن، محافظت در برابر امواج فرابنفش و رسانای جریان الکتریکی کردن منسوجات نام برد. چنانچه اصلاح ویژگی‌های سطحی پارچه مدنظر باشد، استفاده از فرایند پلیمرشدن ادمیسی بسیار رواج دارد. در این باره انواع تکمیل‌های نوین روی سطح منسوجات نظیر ضد میکروب کردن، ایجاد خاصیت دفع آتش، ارتقای رسانندگی الکتریکی و ایجاد خاصیت سدکنندگی در برابر امواج فرابنفش بدون اثرگذاری بر زیردست پارچه یا قابلیت تنفس‌پذیری آن با استفاده از این فرایند امکان‌پذیر است. به‌دلیل مزیت‌های فراوان نظیر هزینه کم، سادگی فرایند و تطبیق‌پذیری زیاد انتظار می‌رود، در آینده شاهد رشد چشمگیر فرایندهای پلیمرشدن امولسیون و ادمیسی در صنعت نساجی برای تکمیل منسوجات و معرفی محصولات جدید در صنعت پوشاک برپایه این فرایندها باشیم.

مراجع

1. Lovell P.A. and Schork F.J., Fundamentals of Emulsion Polymerization, *Biomacromolecules*, **21**, 4396-4441, 2020.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Wu S., Xiong Q., Li X., Chen D., and Liu B., Properties of Thermally Conductive Silicone Rubbers Filled with Admicellar Polymerized Polypyrrole-Coated Al_2O_3 Particles, *J. Appl. Polym. Sci.*, **138**, 50205, 2021.
6. Söylemez M.A., and Kemalogulları 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Yusuf M., A Review on Flame Retardant Textile Finishing: Current and Future Trends, *Curr. Smart Mater.*, **3**, 99-108, 2018.
27. 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.
28. 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.
29. Xue C.H., Zhang L., Wei P., and Jia S.T., Fabrication of Superhydrophobic Cotton Textiles with Flame Retardancy, *Cellulose*, **23**, 1471-1480, 2016.
30. 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.
31. 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.