در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir
نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۱۱، شماره ۲، (۱۴۰۰) ۸۰-۶۳
نوع مقاله: مروری
نشریه ویژه فرش ورنگ
Dor: 20.1001.1.22517278.1400.11.2.6.6

فناوری‌های رنگرزی و تکمیل‌های نوین مورد استفاده در صنعت منسوجات و کف‌پوش

ابوالفضل زارع[۱]، سید محمود طباطبایی[۲*]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق‌پستی: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱.
۲- استادیار، دانشکده هنر، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران، صندوق‌پستی: ۸۹۱۶۷۱۳۳۳۵.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۰۲ تاریخ بازبینی نهایی: ۰۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۳/۱۲ در دسترس به‌صورت الکترونیک:۰۰/۰۶/۱۶

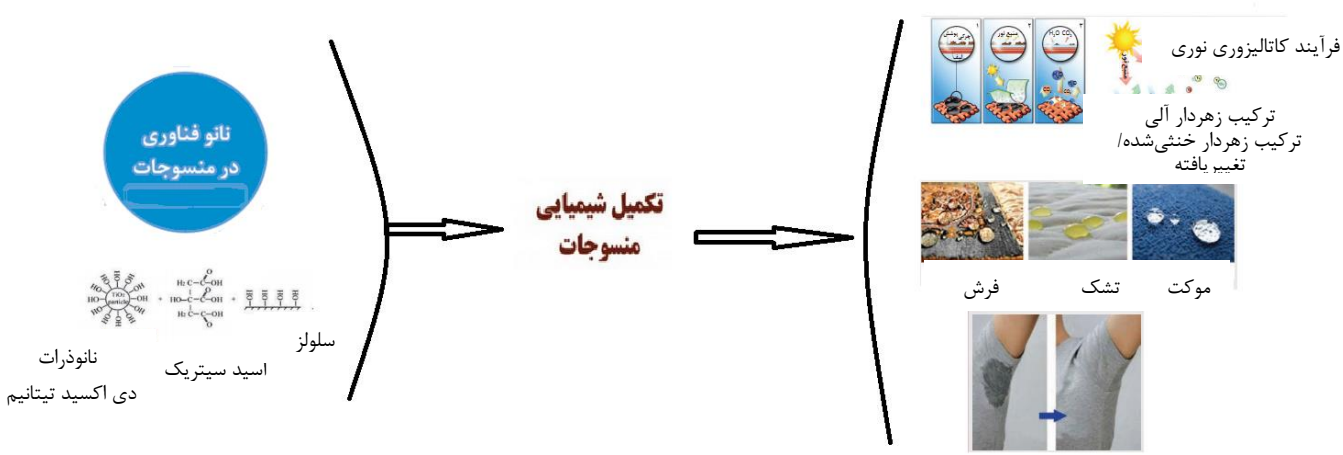
چکیده

امروزه کف‌پوش‌ها نقش مهمی را در زندگی بشری ایفا نموده و کاربردهای متنوعی دارند. از جمله رایج‌ترین کف‌پوش‌های خانگی، فرش (دستباف و ماشینی) و موکت است که در مکان‌های مختلف از جمله محیط‌های اداری و خانگی، و غیره کاربرد دارند. از سوی دیگر، افزایش رقابت جهانی در منسوجات، چالش‌های زیادی را برای محققان و صنعت نساجی به وجود آورده است. رشد سریع در تولید منسوجات با قابلیت‌های چندگانه فرصت‌های جدیدی را برای کاربرد تکمیل‌های جدید به وجود آورده است. تکمیل‌های نوین با ارزش افزوده بالا برای منسوجات نیز توسط بازار جهانی مصرفی با افزایش تقاضا مواجه می‌باشد. از این رو در تحقیق حاضر به فناوری‌های نوین از جمله فناوری نانو و پلاسما به منظور ایجاد قابلیت‌هایی همچون خواص ضدباکتری، ضدبید، ضدآتش و غیره بر روی کف‌پوش‌ها مخصوصاً فرش‌ها پرداخته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

فناوری، تکمیل نوین، منسوج، کف‌پوش.

چکیده تصویری



*نویسنده مسئول: m.tabatabaie@sau.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technolog

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 11, No.2, (2021) 63-80
Type: Review paper
Special issue about color and carpet

مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

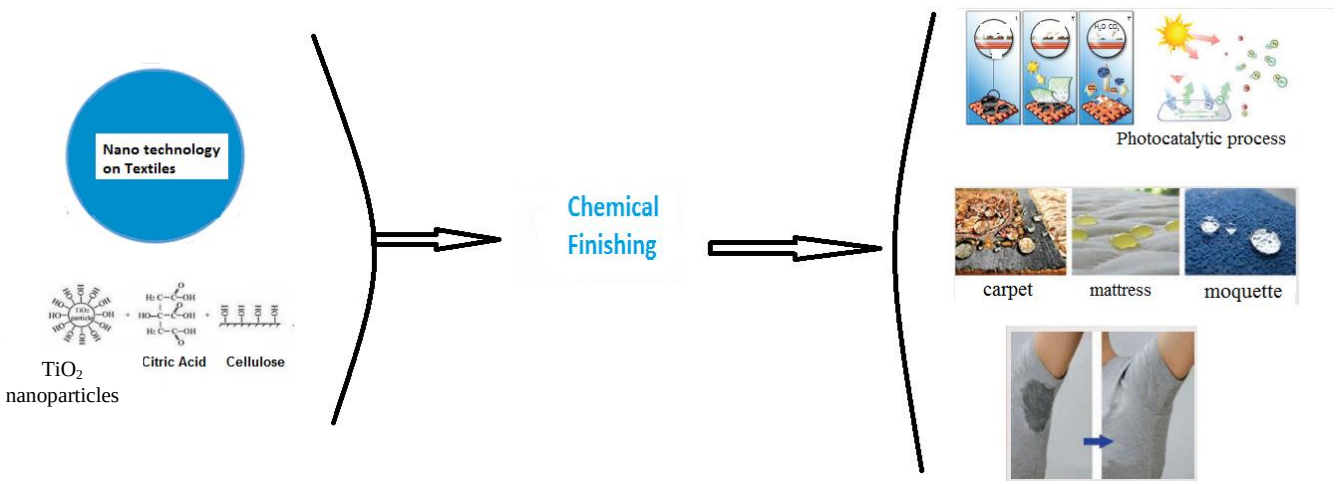
New Dyeing Technology and Finishings Used in the Floor Coverings

Abolfazl Zare[1], Seyed Mahmoud Tabatabaei[2*]
1- Textile Engineering Department, Yazd University, P. O. Box:8915818411, Yazd, Iran.
2- Art Department, Science and Arts University, P. O. Box:8916713335, Yazd, Iran.

Abstract
Today, floor coverings play an essential role in human life and have a variety of uses. Among the most common home floor covering are carpets (handmade and machine-made) and moquette, which are used in various places, including office and home environments. On the other hand, increasing global competition in textiles has posed many challenges for researchers and the textile industry. The rapid growth in the production of textiles with multifunctional has created new opportunities for the application of new additions. New finishings with high value-added supplements for textiles are also in increasing demand by the global consumer market. Therefore, new technologies such as nanotechnology and plasma technology will be discussed in the current research to create capabilities such as antibacterial, anti-insect, anti-fire, etc., properties on floor coverings, especially carpets.

Keywords
Technology, New finishing, Dyeing, Textile, Floor covering.

Graphical abstract



Corresponding author: m.tabatabaie@sau.ac.ir

۱- مقدمه

کف‌پوش‌ها[1] نقش مهمی را در زندگی امروز ما ایفا می‌کنند. ارتقاء خواص کف‌پوش‌های نساجی و ایجاد ویژگی‌های نوین نظیر خواص ضدآب و لکه، ضدبو، خودتمیزشوندگی، ضدمیکروب، مقاومت در برابر چروک، ضدالکتریسیته ساکن، کندسوزی و جلوه‌های ظاهری متفاوت، از جمله اهداف جدید صنایع تولید کف‌پوش در جذب مشتری و ماندگاری در بازارهای داخلی و جهانی است [۱]. در این زمینه فناوری نوین با قابلیت ایجاد خصوصیات ذکرشده درکف‌پوش‌ها در هر یک از مراحل زنجیره تولید آنها از قبیل تولید الیاف، ریسندگی، رنگرزی و تکمیل می‌توانند خواص آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند [۱].

به طور کلی کف‌پوش‌ها را می‌توان به دسته‌های گوناگونی همچون کف‌پوش‌های ورزشی، صنعتی، زینتی، خانگی و غیره دسته‌بندی نمود. همچنین در یک دسته‌بندی دیگر، کف‌پوش‌ها به انواع دستی و ماشینی دسته‌بندی می‌گردند. از مهم‌ترین کف‌پوش‌های مصنوعی می‌توان به انواع چمن‌های مصنوعی، کف‌پوش‌های پلی وینیل کلرید (PVC)، لمینت، کف‌پوش‌های چوبی و پارکت، انواع موکت‌های نمدی و بافته‌شده، فرش‌های ماشینی، کف‌پوش‌های پلیمری و کف‌پوش‌های ترکیبی پلیمری، منسوج، سرامیک، کاشی و غیره اشاره نمود [۱].

از منظر دیگر، صنعت کف‌پوش را می‌توان از نظر روش تولید و کاربرد محصول نهایی تقسیم‌بندی نمود. مثلاً بر اساس کاربرد، کف‌پوش‌ها به سه دسته خانگی، اداری و وسایل حمل و نقل تقسیم‌بندی می‌گردند. از جمله رایج‌ترین کف‌پوش‌های خانگی، فرش و موکت می‌باشند که در محیط‌های اداری و وسایل حمل و نقل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تولید این نوع کف‌پوش‌ها از انواع الیاف، نخ با بافت‌های متنوع استفاده می‌گردد. با توجه به سهم قابل توجه کف‌پوش‌های نساجی (فرش و موکت) در صنعت کف‌پوش در این مقاله به اهمیت بکارگیری فناوری نوین همچون فناوری نانو و پلاسما در این کف‌پوش‌ها پرداخته می‌شود [۱].

۲- اهمیت فناوری نانو در صنعت کف‌پوش‌ها و منسوجات نساجی

نوآوری در جلب نظر مصرف‌کننده یکی از شاخصه‌های اصلی هر صنعت می‌باشد. کیفیت، دوام و ایجاد خواص ویژه در کف‌پوش‌ها و برآورده ساختن نیاز مشتریان از جمله عوامل مهم تقویت جایگاه این صنعت و افزایش سهم آن در بازار به شمار می‌رود [۱]. یکی از فناوری‌هایی که امروزه به منظور ایجاد قابلیت‌های چندگانه در منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرد فناوری نوین و مواد نانویی می‌باشند. فناوری نانو توجه جامعه جهانی را به‌شدت به سوی خود جلب کرده است، چون این فناوری به‌صورت گسترده می‌تواند پتانسیل گسترده‌ای را در محدوده وسیعی از نیازهای نهایی ارائه دهد. خواص منحصر به فرد و جدید نانو مواد، نه تنها توجه دانشمندان و محققین، بلکه به‌دلیل مزیت اقتصادی بالا باعث جلب توجه صاحبان کسب وکار نیز شده است [۲].

با ظهور فناوری نانو، دریچه‌ای جدید به روی صنعت نساجی و سایر صنایع گشوده شد. ایجاد محیط پاک‌تر و ایمن‌تر، مهم‌ترین دستاورد مهندسی نانو نساجی در بخش منسوجات خانگی است. منسوجات خانگی شامل انواع پتو، لحاف، پارچه‌های رومبلی و پرده‌ای، روتختی، ملحفه و روبالشی، تشک، حوله، رومیزی، پرده، فرش، موکت و نظیر این‌ها است [۳].

فناوری نانو برای صنعت نساجی، پتانسیل اقتصادی بالایی دارد. این موضوع عمدتاً به‌دلیل روش‌های متداول استفاده شده جهت بدست‌آوردن خواص مختلف پارچه‌ها به وجود آمده است که اغلب منجر به اثرات دائمی نمی‌شوند و بعد از شستشو و پوشیدن، عملکرد آنها از بین خواهد رفت. فناوری نانو می‌تواند ماندگاری بالایی را برای پارچه‌ها فراهم کند، چون ذرات نانو دارای مساحت سطح به نرخ حجمی بالایی هستند و انرژی سطحی بالایی دارند، بنابراین میل ترکیبی بهتری را برای پارچه‌ها ارائه می‌دهند و منجر به افزایش عملکرد ماندگاری می‌شوند. علاوه بر این، پوششی از ذرات نانو بر روی پارچه‌ها بر توانایی تنفسی یا احساس بدن تأثیری نخواهد گذاشت. صنعت نساجی در حال حاضر توسط فناوری نانو تحت تأثیر قرار گرفته است. تحقیقات نشان می‌دهد که فناوری نانو سبب بهبود عملکرد یا ایجاد کارکردهایی بی‌نظیر برای مواد پارچه‌ای می‌شود [۲].

از ویژگی‌های به‌دست‌آمده در نساجی با استفاده از فناوری‌های نوین عبارتند از دفع آب، روغن و لکه، عدم جذب گرد و غبار، مقاومت در برابر چین و چروک، ضدباکتری، ضدالکتریسیته ساکن و محافظت در برابر پرتو فرابنفش (UV)، بازدارنده بودن در اشتعال، بهبود جذب رنگزا و افزایش قدرت رنگ، تولید پارچه‌های خودتمیزشونده و غیره. در ادامه کاربردهای مهم را به اختصار توضیح می‌دهیم.

۲-۱- دفع آب، لکه و روغن

در تکمیل‌های نساجی با خاصیت دفع‌کنندگی، سه نوع تکمیل دفع آب، خاک و روغن وجود دارد که در میان این سه نوع تکمیل، تولید پارچه‌های دافع آب اولین گزینه بررسی بوده است. دفع آب مربوط به قابلیت پارچه در برابر خیس‌شدن می‌باشد. در این نوع تکمیل، به دلیل وجود منافذ موجود در پارچه و همچنین نفوذپذیری بخار آب و هوا، در فشار هیدرواستاتیک بالا، محافظت کامل در برابر آب مقدور نبوده و از این‌رو در مناطقی که فشار هیدرودینامیکی به اندازه کافی بالا باشد فرد در هنگام بارندگی، خیس می‌گردد. در این تکمیل، کاهش انرژی سطحی آزاد الیاف (کمتر از تنش سطحی آب) مرحله کلیدی در رسیدن به منسوجات دافع آب می‌باشد. با کمک موادی همچون امولسیون‌های پارافین، رزین‌های اسیدی چرب و محصولات تشکیل‌دهنده فیلم همراه با موادی بر پایه سیلیکون و فلوئوروکربن می‌توان این خاصیت را در منسوج ایجاد کرد [۴].

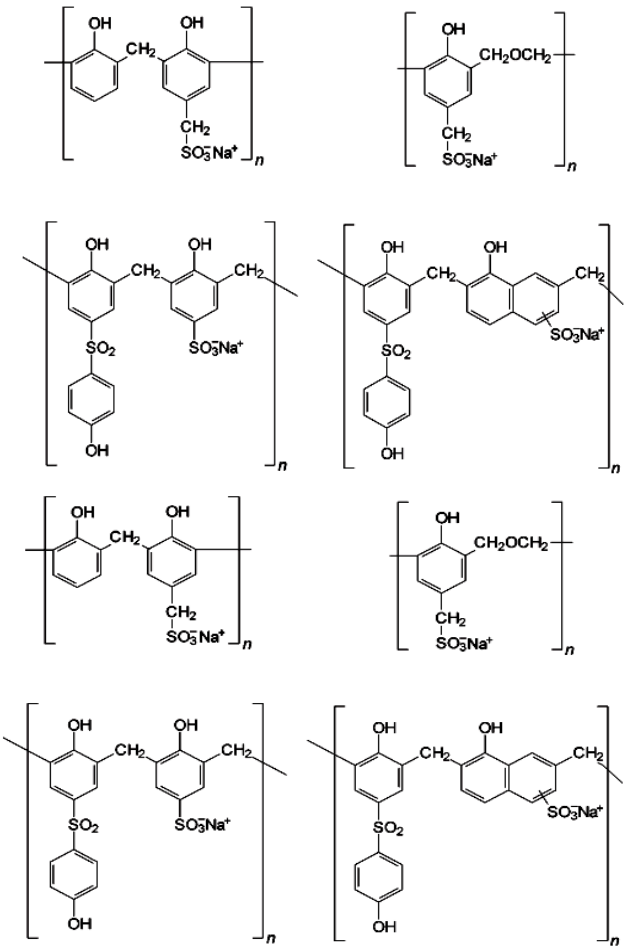
یکی از مواد دفع آب و همچنن دفع روغن در تکمیل فرش، فلوئوروکربن‌ها می‌باشند که منجر به پایین‌ترین انرژی سطحی در سطح الیاف در هنگام استفاده می‌گردند. مزایای کلی تکمیل‌های دفع فلوئوروکربن‌ها میزان مصرف پایین (کمتر از owf ۱٪) و زمان خشک‌شدن سریع‌تر پارچه‌های تکمیلی می‌باشد. فلوئوروکربن‌های مخصوص منجر به بهبود خواص آزادسازی گرد و خاک در حین شستشوی لوازم خانگی و یا جلوگیری از ایجاد لکه بر روی نایلون می‌کنند. این قابلیت مخصوصاً برای فرش‌ها مفید می‌باشد [۵].

محصولات کندانسیونی اسیدهای سولفونیک آروماتیک که برای رنگرزی و

[1] Floor coverings

چاپ الیاف نایلون به خصوص برای عملیات‌های پساتکمیلی فرش‌ها به منظور بهبود ثبات شستشویشان مورد استفاده قرار می‌گیرند. نام عمومی آن‌ها سینتان[1] می‌باشد که از تانین مصنوعی[2] مشتق شده است. شکل ۱ ساختارهای کلی سینتان‌ها را نشان می‌دهد. از این مواد و نفتالن‌ها به عنوان مواد از بین‌برنده لکه‌ها[3] نیز استفاده می‌گردد.

به منظور بهبود ثبات تر نایلون تکمیل فلوئوروکربنی به تنهایی به منظور جلوگیری از رنگی‌شدن فرش‌های پشمی و نایلونی با مواد رنگی همچون قهوه، چای و دیگر مواد غذایی کافی نمی‌باشند مخصوصاً وقتی‌که این مایعات کاملاً حذف نمی‌شوند. برای حذف لکه از این فرش‌ها باید از ترکیب محصولات فلوئورکربنی با سینتان‌ها استفاده نمود. از این ماده همچنین برای بهبود رنگرزی نایلون با رنگ اسیدی نیز استفاده می‌گردد. دفع لکه توسط تکمیل‌های آب‌گریزی (بیشتر با فلوئوروکربن‌ها) اما با کاهش قیمت توسط سیلیکون‌ها، محصولات ملامینی اصلاح شده با اسید چرب و توسط واکس‌های پارافین تثبیت شده با نمک‌های زیرکونیم بهبود می‌یابد [۷].



شکل ۱- محصولات واکنشی فرمالدهید و اسیدهای سولفونیک آروماتیک (سینتان‌ها) [۷].

تکمیل‌های دفع‌کننده آب و لکه های خشک و روغنی، در منسوجات مختلف از قبیل پوشاک، کف‌پوش‌های خانگی و صنعتی دارای اهمیت هستند. با بکارگیری فناوری نانو در عملیات تولید یا تکمیل منسوج، قطرات مایع (اعم از آب، روغن) بر سطح این منسوجات به صورت قطره باقی مانده و پخش نمی شوند (شکل ۲). این خاصیت با استفاده از انواع نانو ذراتی از قبیل دی‌اکسید تیتانیم، لایه سیلوکسان، نانولوله های کربن و غیره قابل ایجاد است [۱].

منسوجات فرآوی‌شده با برخی نانومواد قادرند مایعات را جذب کرده و یا حرکت‌دهند و با این کار هرگونه آب، لکه و آلودگی از قبیل لکه سس، قهوه، روغن و غیره را از روی منسوج دفع نمایند و در عین حال خللی در قابلیت تنفس‌پذیری منسوج ایجاد نکنند. اساس کار لباس‌های ضدلکه و ضدآب، کاهش کشش سطحی منسوج و الیاف آن می‌باشد [۸].

شرکت APjeT از پلاسمای فشار اتمسفر برای ایجاد خصوصیات دفعی دوگانه آب و روغن از سطح پارچه استفاده نموده است. این محصول برای پوشاک ورزشی مطلوب می‌باشد. از این فناری می‌توان در پوشش‌هایی برای دفع چرک، منسوجات نظامی، پوشاک کودک، پارچه‌های اتومبیل و غیره استفاده نمود. همچنین شرکت آمریکایی آوندال[4] با استفاده از فناوری مذکور توانستند پارچه‌های پنبه و پنبه/پلی‌استری تولید نمایند که یک طرف آن آب‌دوست و روی دیگر آب‌گریز می‌باشد [۹].

محققین توانستند با استفاده از روش پلیمریزاسیون پیوندی ایجادشده توسط پلاسما، بر روی منسوجات پلی اکریلونیتریل (PAN) خواصی همچون دفع آب، مقاومت در برابر لکه و کندسوزی بدهند. منومرهای مورد استفاده پرفلوئوروالکیل اکریلات، فسفات‌های متا اکریلات به همراه مواد فسفنات می‌باشند که برای دفع آب و ضدآتش بسترهای پلیمری موثر می‌باشند. همچنین در یک کار دیگر تکمیل نمونه‌های پارچه‌ای اکریلیکی در حمامی حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محلول اتر و و ۳/۵٪ اتیلن‌گلیکول دی‌متاکریلات (EGDMA) و سپس پرتودهی تحت پلاسمای آرگون توانستند نمونه‌هایی با خاصیت دفع آب و مقاوم در برابر لکه تولید نمایند [۱۰].

۲-۲- پوشش محافظ UV (پرتو فرابنفش)

محافظت در برابر پرتوهای فرابنفش به دلیل تخریب لایه ازن و تهدید ناشی از سرطان، پیرشدن زود هنگام پوست، آفتاب‌سوختگی پوست و غیره از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۸].

شکل ۲- منسوج خانگی ضدآب/روغن‌شده با نانو مواد [۱].

[1] Syntan
[2] Synthetic tannin
[3] Stain blockers
[4] Avondale

مهم‌ترین کارکرد اعمال‌شده توسط پوشاک، محافظت از مصرف‌کننده لباس در برابر آب و هواست. با این وجود لباس می‌تواند در مقابل پرتوهای خطرناک خورشید نیز محافظ باشد. پرتوهایی در طول موج ۱۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر را تابش‌های فرابنفش می‌نامند. ویژگی ضد UV پارچه زمانی ارتقاء پیدا می‌کند که رنگ، رنگدانه، مات‌کننده یا پوشش جذب‌کننده پرتو فرابنفش وجود داشته باشد تا تابش فرابنفش را جذب کرده و مانع از انتقال آن به پوست از طریق پارچه شود [۲].

تابش پرتو فرابنفش و حتی نور مرئی نور خورشید برای زمانی بلندمدت بر روی منسوجات می‌تواند باعث ایجاد برخی اثرات منفی روی منسوجات و پلیمرها مانند رنگ‌پریدگی پارچه رنگ‌شده، کاهش خصوصیات مکانیکی و پوسته پوسته شدن و زردشدن نوری در پارچه‌هایی مختلف به خصوص پارچه‌های پشمی شود زیرا این لیف در مقایسه با انواع دیگر الیاف مانند الیاف پنبه یا مصنوعی، کمترین پایداری نوری را دارد [۱۱، ۱۲].

یک روش نوین به منظور ساخت منسوج محافظ در برابر UV، استفاده از نانوالیاف به عنوان یک لایه محافظ بر روی پارچه می‌باشد. استفاده از نانوذرات محافظ UV در نانوالیاف می‌تواند یک اثر هم‌افزایی بر روی خواص محافظتی در برابر UV در یک ساختار لیفی داشته باشد. مطالعاتی زیادی برای محافظت در برابر UV توسط نانوالیاف حاوی نانوذرات انجام گرفته است [۱۳].

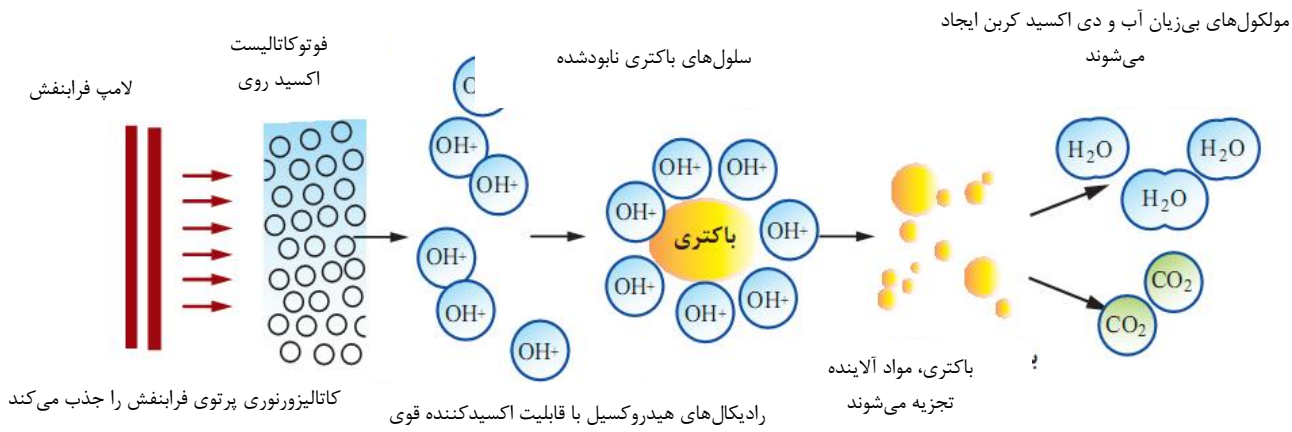
پوشش نانویی ضد UV ایجادشده روی منسوجاتی نظیر پرده، مانع از ورود پرتو فرابنفش به فضای داخل خانه شده، از آسیب به پوست بدن و چشم جلوگیری نموده و از سفیدشدن رنگ منسوجات نظیر پرده، فرش و مبل ممانعت می‌نماید. ازجمله نانو موادی که در تکمیل این گونه منسوجات مورداستفاده قرار می گیرند، دی اکسید تیتانیم و اکسید روی است. نانو اکسید روی به محض قرار گرفتن در معرض نور خواص کاتالیزور نوری مؤثری را فراهم می کند و به عنوان ماده ایجاد کننده خواص خودتمیزشوندگی و ضدمیکروب در منسوجات استفاده می‌شود. از سوی دیگر منسوجات حاوی یا پوشش داده شده با نانوساختارهای فلزی به عنوان پوشش محافظ در برابر امواج الکترومغناطیس نیز به شمار می‌روند [۳].

عوامل مسدودکننده UV عمدتاً بر پایه اکسیدهای فلزی همچون TiO_2، CeO_2، ZnO و Al_2O_3 با انرژی‌های شکاف لایه‌ای مناسب برای جذب نور UV می‌باشند. بسته به اندازه این ذرات، پخش‌شدن نور نیز می‌تواند به عنوان سازوکاری دیگر برای اثر مسدودکنندگی نور UV باشد. جاذب‌های غیرآلی UV عمدتاً غیرسمی، دارای پایداری شیمیایی در دمای بالا و پایدار در برابر تابش UV می‌باشند. در هر حال، در شرایط pH کم، مستعدتر می‌باشند. امروزه یکی از مشکلات استفاده از جاذب‌های غیرآلی UV آن است که در ناحیه نور مرئی، کدر می‌باشند که این پدیده می‌تواند مشکلاتی را بر روی منسوجات رنگی به وجود آورد [۱۴].

در عوض، CeO_2 با وجود این‌که قابلیت جذب نور UV در کل ناحیه را دارد اما رنگ زردش یک محدودیت در کاربرد آن می‌باشد. ZnO، با شاخص انکسار مشابه بستر منسوج، بهترین انتخاب نسبت به دیگر مواد از منظر تولید شفافیت بیشتر، از دیگر مواد نیمه‌هادی می‌باشد. کاهش اندازه جاذب‌های غیرآلی UV تا کمتر از ۵۰ نانومتر منجر به شفافیت بیشتر عوامل مسدودکننده UV می‌گردد [۱۵].

اکسیدهای فلزی مانند اکسید روی (ZnO) به‌عنوان محافظ در برابر UV در مقایسه با عوامل آلی ضد UV پایدارتر هستند در نتیجه نانواکسید روی به سبب افزایش ناحیه سطح و جذب شدید در منطقه UV ، باعث ارتقاء ویژگی ضد UV می‌گردد. برای پوشش ضدباکتری، نانوذرات ZnO از نظر مقرون به صرفه‌بودن، سفید بودن و ویژگی ضد UV بهتر از نانونقره هستند [۲]. همچنین نانوذرات اکسید روی نسبت به نانوذرات نقره در تکمیل ضدمیکروبی نیز مقرون به صرفه‌ترند و خواص محافظت در برابر پرتو فرابنفش بهتری ایجاد می‌کنند. این تکمیل برای الیاف پلی‌پروپیلن مصرفی در فرش می‌تواند حائز اهمیت باشد [۱۶].

پارچه‌های تکمیل‌شده و اصلاح‌شده با این نانوذرات در مقایسه با پارچه خام و اصلاح‌نشده دارای محافظت در برابر پرتوی UV به میزان ۵ برابر می‌باشند و پس از ۵۵ بار شستشو، همچنان کیفیت عدم جذب پرتو در این پارچه‌ها باقی می‌ماند. در شکل ۳، تأثیر فعالیت کاتالیزوری نوری نانوذرات ZnO در مجاورت پرتوی UV بر خواص ضدمیکروبی نشان داده شده است [۸].



شکل ۳- تأثیر فعالیت کاتالیزوری نوری نانوذرات اکسید روی در مجاورت پرتو فرابنفش بر خواص ضدمیکروبی [۸].

نانوذرات اکسید فلز معدنی مانند TiO_2، ZnO و Al_2O_3 تاخیر در زرد شدن نوری در منسوجات پشمی را از خود نشان داده اند. ثابت شده است که می‌توان با استفاده از نانو هیدروکسید دو لایه‌ای منیزیم-آلومینیم به محافظت در برابر اشعه ماورا بنفش و خاصیت بازدارندگی آتش بر روی پارچه‌های نساجی دست یافت [۱۸، ۱۷]. باریک[1] و همکارانش توانستند منسوجاتی را تولید نمایند که علاوه بر استحکام کششی بالاتر، خاصیت بازدارندگی شعله و سختی بالاتر دارای خواص محافظتی عالی در برابر پرتو UV نیز باشند [۱۹].

پارچه‌های دارای جذب‌کننده‌های UV باعث می‌شوند که لباس، پرتو فرابنفش مضر خورشید را دفع نموده و مواجهه افراد با UVR را کاهش داده و از پوست در برابر صدمات احتمالی دفاع کند. میزان حفاظت مورد نیاز از پوست بر حسب انواع مختلف پوست انسان، بستگی به شدت و توزیع تابش UV با توجه به مکان جغرافیایی، زمان روز و فصل دارد. این محافظت را SPF می‌نامند (عامل محافظت در برابر خورشید) که هر چه مقدار SPF بیشتر باشد، محافظت در برابر تابش UV بیشتر خواهد بود [۲].

امروزه یکی از روش‌های نوین برای تولید منسوجات محافظتی در برابر UV استفاده از نانوالیاف به عنوان یک لایه محافظ بر روی پارچه می‌باشد. استفاده از نانوذرات محافظ در نانوالیاف نیز می‌تواند یک اثر هم‌افزایی قابل ملاحظه‌ای بر روی خواص محافظتی یک ساختار لیفی در برابر UV داشته باشد. محققین زیادی به این ایده پرداختند [۲۵-۲۰]. مثلاً لی[2] گزارش داد که لایه نازک PU/ZnO به میزان زیادی خاصیت دفع UV را افزایش می‌دهد که این خاصیت با افزایش غلظت نانوذرات ZnO بیشتر می‌شود [۲۰].

هاشمی زاد و همکارانش با استفاده از ۰/۲درصد نانوذرات TiO_2 بر روی پارچه پلی استری اصلاح‌شده با پلاسمای اکسیژنRF ، به خاصیت محافظت در برابر پرتو فرابنفش مطلوب بعد از ۱۰ بار تکرار شست‌وشو دست یافته‌اند [۲۶].

۲-۳- پارچه‌های خودتمیزشونده

یکی از محصولات نساجی هوشمند جدید که بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است، منسوجات خودتمیزشونده می‌باشد. توسعه منسوجات خودتمیزشونده می‌تواند بر روی منسوجات معمولی منجر به افزایش طول آن‌ها گردد. یکی از مزایای این محصولات قابلیت خودتمیزشدنشان بدون هیچ‌گونه روش شستشویی می‌باشد به‌علاوه، خصوصیت خودتمیزشوندگی منسوجات، پایداری و دوام پارچه را افزایش می‌دهد. برای ایجاد خاصیت خودتمیزشوندگی دو سازوکار وجود دارد [۲۷].

لباسهای خودتمیزشونده با قابلیت تمیزکردن خودشان، به لطف تلاش‌های زیادی که محققان در دهه‌های اخیر انجام داده اند رویاهایی هستند که به حقیقت پیوستند. مسیری برای دستیابی به لباس‌های خودتمیزشونده در واقع با کمک طبیعت زنده هموار شد. از آنجا که اولین نکات برای دستیابی به سطوح خودتمیزشونده با تقلید از طبیعت به وجود آمده است، سطوح‌خودتمیز شونده به عنوان سطوح الهام گرفته از زیست[3] نیز معروف هستند. علاوه بر خودتمیزشوندگی پوست سوسک، بال حشرات و پروانه‌ها، این پدیده در اصل از خودتمیزشوندگی برگ درختان نیلوفر آبی الهام گرفته شد که با یک لایه واکس به ضخامت یک نانومتر پوشیده شده‌اند و از این رو این پدیده به اثر نیلوفر آبی نیز معروف می‌باشد. بر روی سطح برگ نیلوفر آبی، ریخت سطح و ماده واکسی آب‌گریز نقش اساسی ایفا می‌کنند. علاوه بر این، سطوح آب‌گریزی با زاویه‌های تماس بیشتر از ۱۵۰ درجه که انرژی زاویه تماسشان نیز کم باشد قابلیت خودتمیزشوندگی از خود بروز می‌دهند [۲۸].

علوه بر اثر نیلوفر آبی، خودتمیزشوندگی توسط قابلیت خیس‌شدن سطوح فوق‌آب‌دوست[4] نیز قابل دسترسی می‌باشد که در آن آب به صورت یک فیلم پیوسته، سطح را پوشانده و آلودگی‌ها را می‌شوید. این پدیده معمولاً از طریق فعالیت‌های کاتالیزور نوری انجام می‌گیرد که منجر به تولید رادیکال‌های فعال تحت تابش نور شده و این رادیکال‌ها قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی می‌باشند. کاتالیزورهای نوری نیمه‌هادی همچون نانوذرات TiO_2 و ZnO بر روی بسترهای منسوجات متعددی درشکل‌های نانوپوششی یا توسط روش‌های سنتزی درجا[5] عمدتاً بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منسوجات تکمیل‌شده دارای فعالیت چندگانه همچون محافظت در برابر UV و خاصیت ضدمیکروبی می‌باشند [۲۸].

علاوه بر این، تلاش های زیادی برای بهبود فعالیت‌های کاتالیزوری نوری مواد نیمه‌هادی با استفاده از روش‌های مختلف اصلاح سطح برای تولید نیمه‌هادی‌هایی که فعالیت قابل ملاحظه‌ای تحت تابش نور خورشید داشته باشند، انجام گرفته است. با الهام از اثر نیلوفر آبی، منسوجات خودتمیزشونده از دو روش اصلی می‌توانند تولید گردند که عبارتند از:

الف- ایجاد ناهمواری‌های سطحی در ابعاد نانو با استفاده از نانوذراتی همچون دی‌اکسید تیتانیم، نقره، نانومیله‌های ZnO و نانولوله‌های کربنی که از توانایی تجزیه لکه‌های آلی برخوردار می‌باشند و یا توسط روش‌های اصلاح سطحی همچون لیزر و پلاسما همراه با کاربرد مواد با انرژی سطحی پایین به منظور ایجاد خاصیت آب‌گریزی [۲۹، ۸].

ب- با آب‌گریزکردن سطح منسوجات با استفاده از نانولوله‌های کربنی، نانوذارت سیلیس و غیره که دارای انرژی سطحی پایینی می‌باشند. برای مثال، پارچه پلی‌استری پوشیده با سیلیکون قابلیت خودتمیزشوندگی به پارچه می‌دهد [۳۰].

با ایجاد ناهمواری‌های نانویی بر سطح منسوج (اصلاح شیمیایی و هندسی سطح منسوج) مانعی در جهت چسبندگی سطحی بر سطح منسوج شده و امکان آب‌گریزی و دفع آلاینده‌های سطحی را فراهم می‌نماید. آلودگی‌های سطحی به راحتی در حضور آب از روی منسوج آب‌گریز غلتیده و جدا می‌شود و بدین ترتیب، سطح منسوج تمیز می‌گردد [۸].

نانو TiO_2 بر روی پشم به منظور تولید منسوج خودتمیزشونده مورد استفاده قرار گرفته است اگرچه این کاربرد به دلیل مقاومت حرارتی کم الیاف پشم مشکلاتی دارد. افزودن اسیدهای کربوکسیلیک به عنوان

[1] Barik
[2] Lee
[3] Bioinspired
[4] Superhydrophilicity
[5] In situ

عوامل اتصال‌دهنده عرضی و پیش‌فعال‌نمودن سطح با پرمنگنات پتاسیم به منظور بهبود جذب نانوذرات، مورد استفاده قرار گرفته است. کارایی خودتمیزشوندگی نمونه‌های تکمیل‌شده توسط رنگبری قهوه، آب‌میوه، چای غلیظ و رنگزای متیلن آبی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند [۳۱]. پیش‌تکمیل آنزیمی نیز به منظور بهبود در جذب نانوذرات و در نتیجه افزایش خاصیت خودتمیزشوندگی پارچه پشمی/پلی‌استری عمل‌شده با TiO_2 نیز انجام گرفته است. یک پوشش یکنواخت نانوکامپوزیت‌های TiO_2/SiO_2 (۵۰:۵۰ و ۳۰:۷۰) بر روی پشم به منظور خاصیت خودتمیزشوندگی و فوق‌آب‌دوستی انجام گرفت. غلظت‌های بیشتر سیلیکا منتج به خودتمیزشوندگی بهتر پارچه شده است [۳۲].

استفاده از امواج فراصوت در شیمی به طور موفقیت‌آمیز به منظور فعالیت‌های فوق خودتمیزشوندگی مورد استفاده قرار گرفته است. بهزادنیا و دیگران یک ایده جدید به منظور آماده‌سازی نانوبلورهای TiO_2 بر روی پارچه پشمی تحت فشار محیط و در دمای ۶۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از روش فراصوت بکار بردند [۳۳].

نانوبلورهای اکسید زیرکونیم (ZrO_2) نیز بر روی الیاف پشمی با استفاده از روش سل-ژل در دمای پایین به طور موفقیت‌آمیزی تولید و تهنشین شدند. اگرچه نمونه‌های تکمیل‌شده نسبت به رنگزاهای متیلن آبی و ائوزین زرد[1] خاصیت کاتالیزوری نوری داشتند ولی خواص خودتمیزشوندگی کمتری نسبت به نمونه‌های عمل‌شده با نانوذرات TiO_2 در شرایط مشابه از خود نشان دادند. علت این امر می‌تواند انرژی شکاف باند کمتر تیتان (۳/۲ الکترون ولت) در مقایسه با زیرکونیم (۴/۵ الکترون‌ولت) و ساختار بلوری آناتاز TiO_2 باشد [۳۴].

یک شرکت سوئیسی با استفاده از نانو ذرات سرامیکی و ایجاد پوشش سرامیکی موفق به تولید مواد ضدآتش و ضدآب شده است. همچنین محصول این شرکت با نام منسوجات محافظتی[2] ماده‌ای ضدآب است که پس از عمل نمودن منسوج با این ماده، خواص ضدآب تا ۴۵ چرخه شستشویی پایدار است [۳۵].

در سال ۲۰۰۵، محققان چینی روشی نوین برای تولید کف‌پوش خودتمیزشونده به ثبت رساندند. در این روش، فرش با محلولی حاوی نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیم عمل شد. وزن نانوذرات به کار رفته در این روش، ۱ تا ۲/۵ درصد وزنی فرش با ابعاد ۲۰-۴۰ نانومتر است [۱].

هاشمی‌زاد و همکارانش نانوذرات TiO_2 بر پارچه اصلاح شده با پلاسمای RF آرگون و اکسیژن برای بهبود خواص خودتمیزشوندگی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که فعال‌سازی سطح پلی استر با پلاسما، قرارگیری نانوذرات کلوییدی TiO_2 را بر روی سطح الیاف افزایش داده است و در نتیجه خاصیت کاتالیزوری نوری مناسب‌تری در منسوج پدید آمده است. همچنین نتایج این مقاله نشان داده است که پیش عملیات با پلاسمای اکسیژن بر روی پارچه پلی‌استری نسبت به پلاسمای آرگون، به منظور ایجاد خاصیت کاتالیزوری نوری، مناسب‌تر بوده است [۲۶].

۲-۴- پوشش‌ها با خواص ضدالکتریسیته ساکن

الکتریسیته ساکن می‌تواند منجر به مشکلاتی در فراورش مواد نساجی به خصوص آنهایی که از الیاف مصنوعی آبگریز ساخته شده‌اند، شود. در بیشتر فرآیندهای نساجی خشک، الیاف و پارچه‌ها در سرعت‌های بالایی بر روی سطوح متعددی حرکت کرده که می‌توانند منجر به تولید بار الکتریسیته ساکن از نیروهای اصطکاکی شوند. این بار الکتریکی باعث می‌گردد که الیاف و نخ‌ها از هم دور شده و منجر به پدیده بالنی‌شدن (حجیم‌شدن) آن‌ها می‌گردد. این بار الکتریکی می‌تواند در پارچه‌ها و مواد بی‌بافت نیز منجر به مشکلاتی درحین لمس آن‌ها گردد. مصرف‌کنندگان نیز از چسبیدن پوشاک و شوک الکتریکی کم در حین راه‌رفتن بر روی فرش‌ها در محیط‌هایی با رطوبت کم شاکی می‌باشند. کامپیوترها و دیگر تجهیزات الکتریکی می‌تواند توسط تخلیه الکتریسیته ساکن صدمه ببینند [۵].

تجمع بار الکتریکی در برخی از منسوجات به حدی است که در اثر تماس شخص با فلزات، تخلیه بار همراه با جرقه همراه می‌شود که باعث ایجاد شوک و احساس ناخوشایند در اشخاص و همچنین امکان انفجار در محیط‌های با گازهای قابل اشتعال می‌گردد [۸].

بسیاری از الیاف نساجی قادر به هدایت الکتریکی نبوده و به عنوان مواد دی‌الکتریک (عایق الکتریسیته) در حالت خشک می‌باشند. وقتی‌که دو سطح در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند الکترون‌ها می‌توانند از یکی به دیگری جریان یابند. مواد هادی اجازه می‌دهند این الکترون‌ها در هنگام جداشدن دو سطح به سرعت متعادل شوند. مواد عایق می‌توانند اختلاف بار الکتریکی را برای مدت مشخصی حفظ نمایند. مالش برای این اختلاف باری ضروری نمی‌باشد اما معمولاً به مقدار قابل ملاحظه‌ای اختلاف بار را افزایش می‌دهد. تریبو الکترواصطکاک[3]، اصطلاحی است که برای بارهای الکتریکی تولیدشده توسط نیروهای اصطکاکی به وجود می‌آید [۵].

هنگامیکه الیاف پلی‌استر و پشم به هم مالش داده می‌شوند و سپس جدا می‌گردند الیاف پلی‌استر بار الکتریکی منفی و الیاف پشم بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کنند. بعد از تماس و جداشدن الیاف پلی‌استر و پلی‌پروپیلن، الیاف پلی‌استر بار مثبت و الیاف پلی‌پروپیلن بارمنفی می‌گیرند. هنگامیکه اختلاف بار دو لیف به پتانسیل تخلیه الکتریکی هوا می‌رسد (تقریباً ۳ میلیون ولت بر متر) بار الکتریکی، توسط یک تخلیه الکتریکی که همراه با نور و صدا می‌باشد، آزاد می‌گردد. صدای شکننده هنگامی‌که یک ژاکت اکریلیکی بر روی یک پیراهن پنبه‌ای کشیده می‌شود و همچنین جرقه ای که هنگام لمس دستگیره درب فلزی پس از عبور از روی فرش مشاهده می‌شود نمونه‌هایی از این تخلیه ها است [۵].

از آنجایی‌که تکمیل ضدالکتریسیته ساکن معمولاً بعد از چاپ و یا رنگرزی بر روی الیاف آب‌گریز انجام می‌گیرد پارچه‌های تولیدشده از پنبه، ریون و پشم نیز بسته به استفاده نهایی آنها ممکن است تحت عملیات ضدالکتریسیته ساکن قرار گیرند برای مثال منسوجات مورد استفاده در اتاق‌های کامپیوتر، پارچه های مبلی و کیسه های هوا برای خودروها، تسمه‌های نقاله، پارچه‌های صافی، کیسه‌های هوا، چترها، پارچه‌های مورد استفاده در اتاق عمل بیمارستان و لباس محافظ برای

[1] Eosin Yellow
[2] Care textile Ceracoat
[3] Triboelectrification

کار در محیط‌های حاوی گازهای قابل اشتعال ، مایعات و مواد جامد پودر شده تحت عملیات ضدالکتریسیته ساکن قرار می‌گیرند [۵].

بار استاتیکی معمولاً در الیاف مصنوعی مانند نایلون و پلی‌استر ساخته می‌شود، زیرا آنها آب کمتری را جذب می‌کنند. الیاف سلولزی محتوای رطوبت بیشتری برای حمل بارهای استاتیکی دارند، بنابراین هیچگونه بار استاتیکی در آنها انباشته نمی‌شود. از آنجایی که الیاف مصنوعی ویژگی‌های ضداستاتیکی ضعیفی دارند، فعالیت‌های تحقیقی در زمینه بهبود ویژگی‌های ضداستاتیکی منسوجات با استفاده از فناوری نانو انجام شده است. مشخص گردیده است که دی‌اکسید تیتانیم در اندازه نانو، رشته‌های اکسید روی، اکسید قلع، نانوذرات آنتیموان (ATO) و نانوسل سیلان می‌توانند ویژگی‌های ضدالکتریسیته ساکن را به الیاف مصنوعی انتقال دهند. همچنین TiO_2، ZnO و ATO اثرات ضدالکتریسیته ساکن ایجاد می‌کنند، چون آنها مواد رسانای الکتریکی هستند. این مواد به پراکنده شدن موثر بار استاتیکی که بر روی الیاف انباشته شده‌اند، کمک می‌کنند. از سویی دیگر، نانوسل سیلان باعث بهبود ویژگی‌های ضدالکتریسیته ساکن می‌شود، زیرا ذرات ژل سیلان بر روی الیاف باعث جذب آب و رطوبت هوا به خاطر گروه‌های آمینو و هیدروکسیل و آب محبوس می شود [۲].

به منظور ممانعت از ایجاد الکتریسیته ساکن در کف‌پوش‌های نساجی، الیاف مصنوعی و پشم باید با مواد افزودنی ضدالکتریسیته ساکن تکمیل شده و یا از سیم‌های فلزی یا الیاف کربن در ساختار کف‌پوش استفاده شود. به طور کلی مواد تکمیلی ضدالکتریسیته ساکن که روی الیاف اعمال می شوند با افزایش رسانایی سطح لیف و یا کاهش اصطکاک میان الیاف، مانع ایجاد الکتریسیته ساکن و خواص نامطلوب و خطرناک آن می‌شوند. استفاده از نانوذرات کربن در مرحله تولید الیاف و یا استفاده از دیسپرسیون این ذرات به عنوان ماده تکمیلی بر روی الیاف می‌تواند با افزایش میزان رسانش و امکان انتقال الکترون، سبب کاهش میزان الکتریسیته ساکن بر روی الیاف کف‌پوش‌های نساجی شوند. استفاده از نانوذرات فلزی نظیر نقره، مس، روی و نیکل علاوه بر کاهش میزان الکتریسیته ساکن در الیاف، منجر به ایجاد خواص دیگری از جمله ضدمیکروب و ضدپرتو فرابنفش نیز خواهد شد. در مورد کف‌پوش‌های اکریلیکی، پوشش نانو ذراتی نظیر نقره، تیتانیم و روی بر سطح الیاف موجب ایجاد خواص ضد میکروبی، ضدالکتریسته ساکن، محافظت در برابر پرتو فرابنفش، دافع آب وکندسوزی می شود. از افشانه‌های خانگی حاوی نانوذرات نیز می‌توان برای کاهش میزان الکتریسیته ساکن کف‌پوش‌ها استفاده کرد. شرکت نانکس[1] بلژیک افشانه‌ای حاوی نانوذرات برای کاربرد خانگی ارائه نموده است [۱، ۸].

از مواد ضدالکتریسیته ساکن برای تکمیل پشم و مواد ضدنمدی برای تکمیل پشم و پوشش پشت فرش استفاده می‌گردد [۵]. بر روی فرش‌ها تکمیل‌هایی همچون دفع روغن، دفع آب، دفع گردوغبار و ضدالکتریسیته ساکن انجام می‌گیرد که اهمیت این نوع تکمیل‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است [۳۶].

در یک مطالعه دیگر لیو و همکارانش، به منظور ارزیابی قابلیت خیس‌شدن سطح الیاف اکریلیک از زاویه تماس و رطوبت بازیافته استفاده کردند. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

[1] Nanex

جدول ۱- منسوجات و نیازهایشان برای تکمیل‌های دفع‌کنندگی [۳۶]

نوع منسوج	OR	WR	DS	SR	CF	AS	H	P
لباس ورزشی، لباس راحتی	+	+++	۰	+	+	+	+++	++
لباس فرم، لباس کار	+++	+++	++	+++	+	+	++	++
پارچه‌های داخل اتومبیل و اثاثیه منزل	+++	++	+++	++	+++	+++	+	+
پارچه‌های سایه‌بان، ضدآفتاب و پرده‌ای	+	+++	+++	۰	۰	۰	۰	+
ملافه میز و تختخواب	+++	++	++	+++	+	۰	+	+++
فرش‌ها	++	++	+++	۰	++	++	۰	+

OR: دفع‌کنندگی روغن، WR: دفع‌کنندگی آب، DS: خاک خشک، SR: دفع‌کنندگی خاک، CF: ثبات پارگی، AS: ضدالکتریسیته ساکن، H: زیردست، P: ثبات

جدول ۲- قابلیت خیس‌شوندگی و قابلیت ضدالکتریسیته ساکن نمونه‌های لیفی اکریلیکی عمل‌نشده و عمل‌شده [۲۶]

نمونه‌ها	رطوبت بازیافتی (درصد)	زاویه تماس (درجه)	زمان نیمه‌عمر (ثانیه)
خام(عمل‌نشده)	۰/۸۵	۷۷/۸۰	۹/۵۷
نمونه‌های عمل‌شده با پلاسمای نیتروژن			
۱ دقیقه	۱/۳۵	۶۵/۶۴	۳/۹۸
۳ دقیقه	۲/۲۴	۳۴/۹۲	۱/۳۵
۵ دقیقه	۱/۶۵	۵۶/۴۱	۲/۶۲
۷ دقیقه	۱/۵۹	۵۴/۷۳	۳/۱۶

نمونه خام عمل‌نشده کاملاً آب‌گریز می‌باشد (رطوبت بازیافتی ۸۵٪ و زاویه تماس ۷۷/۸ درجه می‌باشد) در هرحال، قابلیت خیس‌شوندگی سطح همراه با عملیات پلاسما افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که تحت شرایط پلاسمای معین، زمان ۳ دقیقه برای خیس‌شوندگی عالی کافی می‌باشد (بالاترین رطوبت بازیافتی و کمترین زاویه تماس). همچنین با افزایش زمان عملیات پلاسما، قابلیت خیس‌شدن به صورت آهسته کاهش یافته تا به یک مقدار نسبتاً ثابت می‌رسد. همچنین زمان نیمه‌عمر نمونه‌های عمل‌شده با پلاسما نیز کاهش می‌یابد که بدین معناست که قابلیت ضدالکتریسیته ساکن الیاف توسط عملیات پلاسما به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۳۹].

همچنین با استفاده از عملیات پلاسما بر روی الیاف آب‌گریز می‌توان پارچه را ضدالکتریسیته ساکن کرد، به طوری‌که دیگر نیازی به مواد ضدالکتریسیته ساکن نباشد. بهبود خواص ضد الکتریسیته ساکن منسوجات ناشی از افزایش انرژی سطح به دلیل تشکیل گروه‌های آب‌دوست و افزایش سطح مخصوص به دلیل تشکیل روزنه‌های ریز در ابعاد نانو بر روی سطوح الیاف است [۲۶].

۲-۵- تکمیل ضدچروک و ضدنمدی‌کردن

نساجی از طریق نانو باعث اجرای روش بدون چروک مبتنی بر فناوری جدید نانو شده است که منجر به بهبود عملکرد و در عین حال حفظ صحت و قدرت الیاف می‌شود- جایگزینی برای فرآیندهای سخت سنتی فراهم می‌کند. روش‌های فرآوری و مواد شیمیایی باعث کاهش مقاومت کششی و پارگی الیاف می‌شوند. پوشاک و الیاف خاصی وجود دارند که جزء منسوجات بدون چروک محسوب می‌شوند و برای مصرف‌کنندگان دارای فشردگی زمانی محبوب و مناسبی هستند، اما روش‌های سنتی برای فناوری بدون چروک مناسب نیستند، مثل الیاف سبک‌وزن یا پوشاک برای تناسب اندام. گاهی‌اوقات الیاف باید بیش از اندازه مهندسی یا تقویت شوند تا در مقابل تضعیف الیاف ناشی از راه‌حل‌های بدون چروک سنتی ایستادگی کنند. در هر صورت فناوری‌های جاری برای تمام الیاف کارکرد ندارند یا برند/ خرده‌فروش باید هزینه اضافی کنند تا ویژگی‌های مخرب شیمیایی بدون چروک را از بین ببرند [۲].

ساختار مولکولی نانومقیاس در تکنولوژی جدید فوریفای[1] مربوط به نساجی نانو، به‌صورت عمیق در الیاف نفوذ می‌کند تا عملکرد ضدچروک را بهبود دهد. علاوه بر این، از زنجیره بهم پیوسته‌ی انعطاف‌پذیر و طولانی‌تری نیز استفاده می‌کند که باعث کاهش تنش لیف تحت فشار می‌شود، بنابراین مقاومت قابل‌توجهی را در اثر روش شیمیایی بدون چروک سنتی از بین می‌برد [۲]. بر طبق تحقیقات، پارچه‌های پشمی و ابریشمی دارای مقاومت عالی در تشکیل چروک دارند [۵].

اصلاح سطحی منسوجات طبیعی مانند پشم با استفاده از پلاسما به‌منظور فلس‌زدایی گزارش شده است [۳۸، ۳۹]. تصاویر SEM نشان می‌دهد که بعد از عملیات پلاسما سطح لیف خشن‌تر شده که منجر به بهبود استحکام نخ، نیروی چسبندگی میان الیاف پشم و قابلیت ریسندگی آن‌ها می‌گردد [۴۰]. به‌علاوه، اثر اصطکاکی نیز تغییر نموده و باعث افزایش خواص ضدنمدی‌شدن و ضدجمع‌شدگی لیف پشم می‌گردد. از نقطه نظر شیمیایی، بعد از تکمیل پلاسما، اثر اکسیداسیون بر روی سطح لیف اتفاق افتاده و مقدار سیستین در لایه کوتیکل لیف اکسید خواهد شد که منجر به کاهش درجه اتصال عرضی در سیستین می‌گردد. این منتج به افزایش گروه‌های عاملی قطبی در سطح لیف پشم شده و منجر به بهبود خواصی همچون قابلیت خیس‌شدن، رنگ‌پذیری و ضدجمع‌شدگی می‌گردد [۴۱].

نتایج تحقیقات حاصل از سه نوع گاز پلاسما شامل اکسیژن خالص، نیتروژن خالص و گاز مخلوط (شامل ۲۵٪ هیدروژن و ۷۵٪ نیتروژن) نشان داد که نمونه‌های عمل‌شده با گاز اکسیژن دارای حداقل سطح جمع‌شدگی نسبت به دو گاز دیگر می‌باشند [۴۲]. شرکت سورتکس آلمان با استفاده از فناوری پلاسمای اتمسفر توانستند تاپس‌های پشمی در برابر نمدی‌شدن و جمع‌شوندگی به منظور تولید جوراب‌های پشمی مرینوس تولید نماید [۹].

۲-۶- پوشش‌های ضدباکتری

حفاظت در برابر حمله زیستی شامل تکمیل‌های ضدمیکروبی و تکمیل‌های مقاوم در برابر حشرات و کنه‌ها می‌باشد. تکمیل‌های مقاوم در برابر حشرات، تکمیل‌های شیمیایی می‌باشند که پشم و دیگر الیاف حیوانی را از حمله لارو بید و سوسک‌ها محافظت می‌نمایند. قابل ذکر است که فقط الیاف حاوی کراتین از این حشرات آسیب می‌بینند. کنه‌ها باعث مشکلات سلامتی همچون آلرژی، آسم و نرودرمیت‌ها[2] می‌گردند. کنه‌ها حشره نیستند بلکه در گروه عنکبوت‌سانان قرار می‌گیرند. آفات هضم‌کننده کراتین شامل بید لباس‌ها، شب‌پره قهوه‌ای سوسک فرش[3] و سوسک خز[4] می‌باشد. مواد شیمیایی مختلفی به منظور کنترل خسارت ناشی از حمله لارو بید بر روی پشم انجام گرفته است اما مخاطرات زیست‌محیطی استفاده از برخی از محصولات موثرتر را محدود نمود. سالانه حدود ۲ میلیون پوند (حدود ۹۰۰۰۰۰ کیلوگرم) مواد تکمیلی مقاوم در برابر حشرات برای محصولات پشمی استفاده می‌گردد [۵]. مهم‌ترین بازار مواد تکمیلی مقاوم در برابر حشرات صنعت فرش می‌باشد. بیش از دو سوم این مواد تکمیلی برای کف‌پوش‌ها[5] و آویزهای دیواری[6] استفاده می‌گردند. دیگر بازارهای مهم شامل پارچه‌های مبلمان، پتوها، لباس‌های فرم، لباس‌ها و خزها می‌باشد [۵].

استفاده از منسوجاتی با خواص ضدمیکروبی در البسه، فرش و لوازم منزل، مزایای زیادی دارد. در پارچه‌های تهیه‌شده از الیاف مصنوعی نظیر نایلون، پلی‌پروپیلن و فرش‌ها می‌توان از بی‌نظیرترین و رایج‌ترین مواد ضدمیکروب و ضدپاتوژن یا میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا (قارچ، باکتری، ویروس، جلبک، هاگ و غیره) و مواد ضدکنه فرش نظیر اکسید روی، اکسید مس، دی‌اکسید تیتانیم و نانوذرات نقره و طلا برای ایجاد خاصیت

[1] Forify DP

[2] Neurodermitis
[3] Anthrenus flavipes
[4] Attagenus pellio
[5] Floor coverings
[6] Wall hangings

ضدمیکروبی و مهارکننده باکتری و قارچ‌ها استفاده کرد. منسوجات ضدمیکروب اغلب در مراحل تولید الیاف با عبور منسوج از درون محلول حاوی نانوذرات و یا با افزودن مواد ضدمیکروبی در مراحل تکمیل و رنگرزی، ضدمیکروب می‌شوند [۸].

برای ایجاد ویژگی‌های ضدباکتری، نقره با اندازه نانو، دی‌اکسید تیتانیم و اکسید روی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یون‌های فلزی و ترکیبات فلزی، سطح مشخصی از تأثیر گندزدایی را نمایش می‌دهند. بخشی از اکسیژن هوا یا آب از طریق کاتالیز با یون فلزی به اکسیژن فعال تبدیل می‌شود، در نتیجه مواد ارگانیک را حل می‌کند و تاثیر گندزدایی را ایجاد می‌نماید. با استفاده از ذرات با اندازه نانو، تعداد ذرات در هر مساحت واحد افزایش می‌یابد و در نتیجه اثرات ضدباکتری به مقدار بیشینه می‌رسد [۲].

با آغشتن الیاف پشم به نانوذرات نقره و دی اکسید سیلیسیم حامل نقره می‌توان الیاف ضدمیکروب با استحکام بالاتر تولید کرد ضمن اینکه قدرت رنگی و ثبات رنگی آنها نیز افزایش خواهد یافت [۴۳]. عمل نمودن لیف پشمی با نانوذرات زیرکونیم به عنوان دندانه در رنگرزی گیاهی موجب ایجاد خواص ضدمیکروبی و کندسوزی در لیف رنگ‌شده خواهد شد. بهترین خاصیت ضدمیکروبی و کندسوزی در روش رنگرزی پس دندانه به دست می آید [۴۴]. در کف‌پوش‌های تهیه شده از الیاف با ترکیبات مصنوعی مانند نایلون و پلی‌پروپیلن می‌توان از نانو ذراتی مانند اکسید روی، اکسید مس، دی اکسید تیتانیم و نانو ذرات نقره و طلا برای ایجاد خواص ضدمیکروبی استفاده کرد. شرکت آمریکایی بی آلیو[1] محلول ضد میکروبی حاوی نانوذرات روی تهیه کرده است که برای محصولات مختلف ازجمله انواع کف‌پوش‌ها قابل استفاده است. کف‌پوش ضدمیکروب تولیدشده برای کاربرد در محلول‌هایی که به علت عبور و مرور بسیار زیاد مستعد رشد میکروب هستند، بسیارمناسب است [۱]. شرکت نساجی فرخ سپهر کاشان (گروه نساجی فرهی) اقدام به طراحی، تولید و توزیع فرش‌های بدون پرز و حساسیت نموده است. در این محصول، کلوئید نانونقره حاوی ماده اتصال‌دهنده عرضی و سطح فعال آمفوتری بر نخ فیلامنتی پلی استر، اعمال شده و پشتِ فرشِ ماشینی نیز با روش افشانه به این مواد آغشته شده است [۴۵].

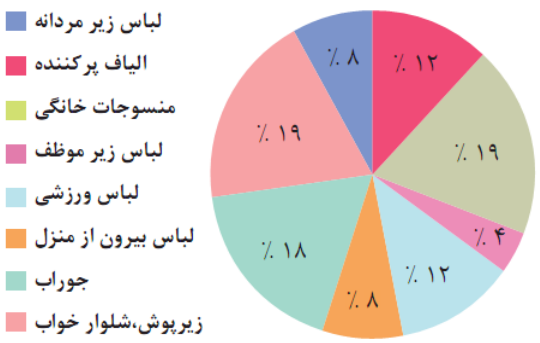
اخیراً تمایل به بکارگیری نانوذرات اکسیدروی که خاصیت محافظت در برابر پرتوهای فرابنفش را دارند، نیز رو به افزایش است. مزیت دیگر استفاده از اکسید روی، افزایش ضریب ایمنی آن در کاربردهای متنوعی چون لباس زیر، لباس کودک و غیره می‌باشد. ضمن اینکه استفاده از اکسید روی تغییر چندانی در رنگ و شفافیت سطح پارچه ایجاد نمی کند. ازجمله موارد مصرف این فناوری در منسوجات خانگی عبارت اند از: ملحفه، روتختی، روبالشی، پتو، رومیزی، مبلمان و الیاف پلی استر برای پر کردن بالش و لحاف‌های آماده [۳].

اکسید روی یک ماده ضدمیکروبی و ضدبوی موثر می‌باشد. از این ماده در خوش‌بوکننده‌ها، دهانشویه‌ها و کِرِم‌های پوشک استفاده می‌گردد. خواصی همچون افزایش سهولت در پراکندگی، شفافیت نوری و نرمی باعث می شود نانو پودر اکسید روی به عنوان یک ماده ضد باکتری جذاب در بسیاری از محصولات مراقبت از بدن باشد. نانوپودر اکسید مس به عنوان یک نگهدارنده ضدمیکروبی برای محصولات چوبی و غذایی مطرح شده است [۴۶].

تکمیل‌های ضدمیکروبی برای پارچه‌های صنعتی که در معرض آب و هوا هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. پارچه‌های مورد استفاده در سایبان، صفحه نمایش، چادر، برزنت، طناب و مانند آن، نیاز به محافظت در برابر پوسیدگی و کپک دارند. وسایل منزل مانند موکت، پرده‌های حمام ، روکش تشک‌ها و روکش مبلمان نیز غالباً تکمیل ضدمیکروبی می‌گردند. همچنین پارچه‌ها و لباس‌های محافظی که احتمال ابتلا به عوامل بیماری‌زا وجود دارد می‌توانند تحت عملیات ضدمیکروبی قرار گیرند. این‌ها شامل لباس‌های بیمارستانی، خانه سالمندان، مدارس، هتل‌ها و مکان‌های عمومی شلوغ (پرازدحام) می‌باشد. منسوجات موزه‌ها نیز اغلب به دلیل محافظتی، تحت عملیات تکمیلی ضدمیکروبی قرار می‌گیرند. پارچه‌های آهاردارشده که در دماها و شرایط رطوبتی بالا نگهداری و یا حمل می‌گردند (۳۷/۷۷-۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد) نیز به منظور جلوگیری از رشد میکروب‌ها بر روی آهار نخ تار تحت این عملیات قرار می‌گیرند. استفاده از مواد ضدمیکروبی برای جلوگیری از بوی نامطبوع لباس‌های گران‌قیمت، لباس زیر، جوراب و لباس ورزشی یک نیاز مهم در بازار است. بوها توسط تجزیه باکتری‌ها عرق و یا دیگر مایعات بدن تولید می‌گردد و کنترل رشد باکتری‌ها با تکمیل‌های بهداشتی این مشکل را کاهش داده و یا حل می‌کند [۵].

لباس‌های خانگی، زیرپوش‌های زنانه و مردانه، لباس‌های تنگ پایین‌تنه، باندهای زخم، ماسک‌ها، منسوجات بیمارستانی و آزمایشگاهی، منسوجات بسته‌بندی و غیره بیشترین تقاضا را برای منسوجات ضدمیکروبی دارند. شکل ۴ نمودار آمار مصرفی برخی منسوجات ضدمیکروبی در دنیا را نشان می‌دهد [۸]. شرکت مهیار و شرکت پوشاک کاسپر جوراب، نمونه‌هایی از شرکت‌هایی در ایران می‌باشند که انواع پوشاک ضدمیکروبی و ضد قارچ از انواع جوراب، دستکش، لباس‌زیر و زیرپوش تهیه می‌نمایند [۴۷].

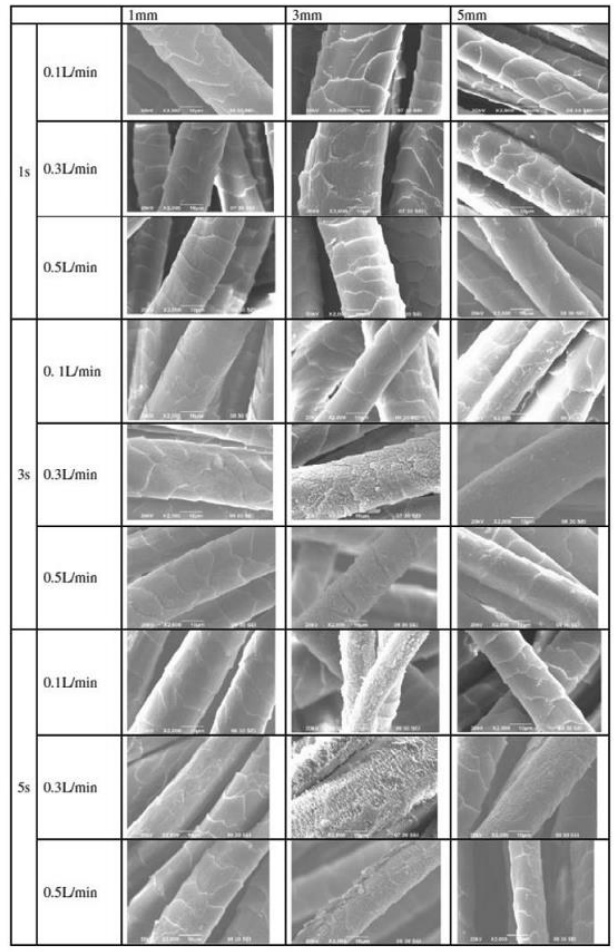
پوشش‌دهی سطوح همراه با پلاسما یک ابزار جدید و بسیار جذاب برای عملیات‌های ضدمیکروبی موثر می‌باشد. این عملیات‌های ضدمیکروبی بر پایه پلاسما مورد توجه محققین علمی قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- نمودار آمار مصرف برخی منسوجات ضدباکتری [۴۷].

[1] Beaulieu

پلاسما نه تنها در کشتن باکتری‌ها و قارچ‌ها موثر می‌باشد بلکه می‌تواند منجر به حذف باکتری‌های مرده و ویروس‌ها از سطح نمونه‌ها گردد [۵۲، ۵۳].
الکترون‌ها و یون‌ها در منطقه تخلیه پلاسما دارای اثر حکاکی زیادی روی سطح باکتری می‌باشند که منتج به شکافتن دیواره‌های سل‌ها یا غشاها و نفوذ پروتئین و اسیدهای نوکلئیک می‌گردد [۵۳].
در تحقیقی پارچه‌های پشمی تریکوباف (آنزیم و آنزیم+پروکسید هیدروژن) با آرگون اتمسفر و پلاسمای هوا عمل شدند. بعد از عملیات‌های پلاسما، محلول کیتوسان به منظور اثر ضدمیکروبی روی پارچه‌های پشمی بکاربرده شدند. از نتایج مشاهده شد که عملیات پلاسمای اتمسفر اثر حکاکی داشته و منجر به افزایش گروه‌های عاملی در سطح لیف پشم می‌گردد. در شکل ۵ شرایط عملیاتی مختلف بر روی سطح لیف پشم نشان داده شده است. عملیات پلاسمای اتمسفر همچنین چسبندگی کیتوسان به سطح را افزایش داده و از این رو فعالیت ضدمیکروبی نمونه‌های پشمی را بهبود می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که آرگون موثرتر از هوا می‌باشد زیرا رادیکال‌ها نقش مهمی را در کشتن و حذف باکتری‌ها ایفا می‌نمایند. تفاوت مهم در پایداری شستشویی در هر دو نوع نمونه عمل‌شده مشاهده نگردید. نمونه‌هایی همراه با فرآیندهای پیش‌تکمیلی دارای پایداری عالی حتی پس از ۱۰ چرخه شستشو می‌باشند [۵۲-۵۰]. از ترکیباتی همچون تری‌کلوسان و نانوذارت نقره برای تکمیل ضدمیکروبی پشم و مخلوط پشم/پنبه و پشم/ویسکوز از رنگزای طبیعی بربرین نیز به منظور ضدمیکروبی پشم استفاده شده است [۵۵-۵۳].



شکل ۵- تأثیر شرایط عملیات پلاسما بر روی سطح لیف پشم [۵۳].

۲-۷- تکمیل‌هایی به منظور محافظت در برابر حشرات

تکمیل محافظت در برابر حشرات می‌تواند منجر به ایمنی مصرف‌کننده لباس در برابر انواع مختلف پشه‌ها و در ادامه حفاظت انسان در برابر بیماری‌هایی همچون مالاریا و دانگ[1] شود که این کار با تولید منسوجات خانگی و پشه‌بندهایی انجام گرفته است [۴].

۲-۷-۱- تکمیل‌های دافع پشه[2]

از دیدگاه تاریخی، عمومی‌ترین روش تولید منسوجات ضدپشه از طریق افزودن مواد ضدحشره به مرحله ریسندگی می‌باشد که منجر به تولید الیاف دافع حشرات با اثر تثبیت بیشتری می‌باشد. روش‌های افشانه‌ای، غوطه‌وری و روش‌های پد-خشک-پخت نیز به منظور خواص دافع حشره در نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. افزودن مواد دافع حشره بر روی پارچه‌ها همراه با استفاده از یک چسب یا ماده واسط برای بهبود پایداری تکمیل انجام گرفته است [۴]. بانو[3] کاربرد ماده پلیمر طبیعی کیتوسان را به عنوان ماده چسبنده با کارایی بالا در افزایش پایداری تکمیل ضدپشه از طریق روش پد-خشک-پخت بر روی پارچه پنبه‌ای گزارش داد [۵۶].
علی رغم چندین رویکرد علمی، عمر محدود منسوجات تکمیل‌شده یک چالش اساسی بود که با انتشار کنترل شده عوامل ضد پشه به لطف فناوری نانو برطرف گردید. در این سامانه‌ها، آزادسازی آهسته مواد دافع حشره از طریق قراردادن عوامل تکمیلی در میکرو/نانو کپسول‌ها انجام می‌گیرد (بدست می‌آید). کپسوله‌نمودن در مولکول‌های سه‌بعدی همچون سیکلودکسترین‌ها (CDs) و الکترون‌ریسی امکان تولید نانوالیافی با قابلیت دفع حشره فراهم می‌آورد. عامل ضدحشره توسط یک پوسته پلیمری طبیعی و یا مصنوعی پوشیده شده و تشکیل کپسول‌های بسیار ریزی را می‌دهد. این سیستم‌ها رهاسازی کنترل‌شده مواد ضدحشره را از طریق نفوذ از دیواره کپسول تا گسستن کپسول‌ها را فراهم می‌کنند و در عین حال باعث افزایش زمان محافظت می‌شوند [۵۷].

۲-۷-۲- ضدبید و ضدمایت

امروزه از عملیات ضدبید کردن به منظور جلوگیری از رشد بیدها و نوزادهایشان (لارو) همچون سوسک‌های آنترنوس[4] و آتاگنوس[5] بر روی پوشاک استفاده می‌گردد که این‌ها می‌توانند به عنوان انگل‌های نساجی برروی موادی حاوی کراتین همچون پشم زنده مانده و رشد و نمو نمایند [۵۸]. همچنین مواد ضدبید علاوه بر حذف بیدهای فرش باید از فرش در برابر دیگر حشرات مضر نیز محافظت نمایند. حشره‌کش‌ها کم و بیش سمی هستند. مثلاً دیلدرین[6] که در بسیاری از کشورها ممنوع شده است. پیرتروئیدها[7] مصنوعی نیز مشکل‌دار می‌باشند. آن‌ها سموم ماهی نیز می‌باشند ولی حداقل می‌توان آن‌ها را از پساب آب حذف نمود. همچنین

[1] Dengue
[2] Mosquito-repellent finishes
[3] Bano
[4] Anthrenus
[5] Attagenus
[6] Dieldrin
[7] Pyrethroids

آن‌ها در مقابل بیدها دارای خاصیت حفاظت مناسبی می‌باشند ولی در مقابل سوسک‌های فرش فقط در غلظت‌های بالا قادر به حفاظت موثر می‌باشند [۶].

بید و سوسک فرش (لارو) مهم‌ترین عامل در زیان به پشم از طریق شکست پیوند دی‌سولفیدی می‌باشند. این موجودات نیاز برای تکمیل ضدبید و ضدسوسک را ضروری می‌سازند. این نمونه‌ها حاوی آنزیم‌های خاصی می‌باشند که می‌توانند کراتین پشم را هضم نمایند. ترکیبات آروماتیک پلی‌کلرینه‌شده، حشره‌کش‌های پیرتروئید مصنوعی، ارگانوهالوژن، عوامل ضدبید بر پایه DDT، پارا- دیکلروبنزن و بلورهای نفتالین برای ضدبید نمودن پشم مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی این مواد دارای معایبی همچون قیمت بالا، سمیت و آلودگی زیست‌محیطی می‌باشند [۵۸]. مواد رنگزای طبیعی بر پایه گیاهی همچون زرشک و ریواس[1] دارای اثر ضدخوراکی در برابر ا.وربساسکی [2] می‌باشند. ضدبیدهای هم‌زمان در برابر د.ماسولاتوس [3] و رنگرزی الیاف پشم با استفاده از ماده رنگزای روناس به عنوان یک رنگرزای دوست‌دار محیط‌زیست انجام گرفت [۵۹].

با ظهور نانوفناوری، افزودن نانوذرات همچون نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم به عنوان مواد ضدخوراکی به منظور حفاظت پارچه‌های پشمی در برابر ضدبیدها گسترش یافت. حدس زده می‌شود که نانوذرات به صورت فیزیکی بر روی لیپیدهای کوتیکولار حشرات جذب شده و با اختلال در فرآیند جذب آب توسط آن‌ها موجب مرگشان می‌گردند [۴]. دانشمندان زیادی بر روی قابلیت نانوذرات به منظور اثر ضدبید پشم کار کرده‌اند. برای مثال، آن‌ها پشم را در حضور اسید سیتریک به عنوان اتصال‌دهنده عرضی و با استفاده از نانوذرات TiO_2از طریق رمق‌کشی، تکمیل نمودند. اثر ضدبیدی در برابر آ.وربساسکی توسط تصاویر SEM مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها همچنین درصد افت وزن نمونه‌ها را بعد از ۶ ماه قرارگیری در مجاورت بید توسط روش آماری تک-عامل مورد بررسی قرار دادند. همچنین قابلیت کاربرد نانوذرات ZnO نیز بر روی ضدبیدکردن پشم در برابر ا.وربساسکی مورد بررسی قرار گرفت [۶۱-۵۹]. کی (Ki) و دیگران اولین بار با استفاده از یک محلول کلوئیدی نانونقره گوگردی توانستند پشم را در مقابل تی آنا[4] ضدبید نمایند [۶۲].

اخیراً مک‌نیل و همکارش مقاومت حشره‌ای فرش پشمی حاوی نانوذارت TiO_2 را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها فهمیدند که ایجاد اثر ضدبیدی بر روی فرش‌های پشمی در مقایسه با پارچه پشمی، مشکل‌تر می‌باشد [۶۳].

مایت‌ها موجوداتی میکروسکوپی هستند که به گروه کنه‌ها تعلق دارند و در فضای داخلی اماکنی که از رطوبت بالایی برخوردارند، زندگی می‌کنند. مایت‌ها برای سلامتی انسان مضر هستند و اغلب باعث واکنش‌های حساسیت‌زا مثل آسم می‌شوند. مایت‌ها از مواد آلی موجود در گرد و خاک خانه تغذیه می‌کنند که قسمت اعظم این مواد آلی شامل سلول‌های مرده پوست بدن انسان، قارچ ها وذراتِ ریزِ مواد غذایی پخش‌شده در سطح خانه است. مایت‌ها ذرات مرطوب را جذب می‌کنند. استفاده از نانوذرات فلزی نظیر نقره، روی و همچنین نانو حامل‌های حاوی مواد از بین برنده مایت‌ها همچون نانوکپسول‌های کیتوسان حاوی اوگنل[5] برای حصول این هدف گزارش شده است. امکان استفاده از نانوساختارهای مذکور در مرحله رنگرزی الیاف و همچنین در مرحله تکمیل به روش افشانه وجود دارد [۱].

الیاف پشم از جمله مهم‌ترین الیافی است که به طور گسترده در تولید فرش و کف‌پوش‌هایی نظیر نمد مورد استفاده قرار می‌گیرد و مهمترین تکمیل موردنیاز آن، تکمیل ضدبید می‌باشد. الیاف پشم به دلیل حضور پروتئین در ساختارشان در معرض حمله حشراتی نظیر بید قرار می‌گیرند. محیط تاریک و مرطوب با دمایی در محدوده ۳۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد شرایط مناسب برای بقای این حشره به شمار می‌آید. طول عمر بید روی فرش حدود ۶ الی ۹ ماه است. همین امر لزوم تکمیل منسوجات حجیم نظیر فرش و کف‌پوش‌ها را در زمان تولید با ترکیبات ضدبید به وجود آورده است. ترکیبات ضدبید مناسب علاوه بر عدم ایجاد آسیب بر محیط‌زیست و سلامت انسان، باید درطول مدت زمان استفاده از کف‌پوش نیز پایدار باشند. به این منظور از مواد تکمیلی ضدبید حین فرآیند رنگرزی الیاف پشمی استفاده می‌شود. استفاده از نانوکپسول‌های حاوی ترکیبات ضدبید و یا رنگینه‌های طبیعی دارای این خاصیت در فرآیند رنگرزی پشم، از جمله کاربردهای فناوری نانو در این بخش می‌باشد. گروهی از محققین در تحقیقات خود دریافتند که با استفاده از دی اکسیدتیتانیم درتکمیل فرش پشمی، می‌توان خاصیت ضدبید ایجاد نمود [۱].

۲-۸- تکمیل ضدقارچ و پوسیدگی

الیاف طبیعی نظیر جوت یا پشم که در ساختار کف‌پوش‌هایی نظیر فرش استفاده می‌شوند، ممکن است در محیط مرطوب در معرض حمله قارچ‌ها قرار گرفته و منجر به کاهش استحکام و از دست رفتن کیفیت فرش شوند. از سوی دیگر استفاده از آهار نشاسته بر الیاف فرش، احتمال حمله میکروارگانیسم‌ها به فرش را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر حضور ترکیباتی نظیر تیامین، ریبوفالوین، پیریدوکسین، کلسیم، منیزیم، آهن، کبالت، قلع، منگنز، سیلیسیم و فسفر موجب افزایش رشد میکروارگانیزم ها و احتمال تجزیه جزء سلولزی (همچون جوت) می شود. از جمله روش‌های موجود، درگیرکردن گروه های هیدروکسیل و یا استفاده از ترکیبات ضد قارچ در تکمیل کف‌پوش می‌باشد. نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیم از جمله ترکیبات نانوساختاری است که به این منظور استفاده می‌شود. در سال ۲۰۰۱ نوآوری با عنوان فرش ضدقارچ آنتی‌بیوتیک به شماره 00259357 CN به ثبت رسید [۱]. در این نوآوری، پشت فرش با لایه ضدقارچی حاوی نانو ذرات نقره

[1] Myrica rubra
[2] A. verbasci
[3] D. maculatus
[4] Tiena pellionella
[5] Eugenol

پوشش داده شده است. مزیت این روش ایجاد عملکرد ضدمیکروبی خوب، تولید ساده و هزینه اندک است .علاوه بر انجام تکمیل، می‌توان با افشاندن ماده ضدقارچ بر کف‌پوش از آن محافظت کرد. برای مثال، در نوآوری ثبت شده در سال ۲۰۱۲، محلول پاششی ضدقارچ حاوی نانو ذرات نقره، موادافزودنی، هیدروژن پراکسید و آب مقطر برای جلوگیری سریع از رشد قارچ روی کف‌پوش‌ها و مبلمان تهیه شد. در این افشانه، نانو نقره توسط پراکسید هیدروژن، اکسید می‌شود در نتیجه خواص ضدقارچ و سترون‌شده به وجود می آورد [۱].

۲-۹- ضدآتش و دیرسوز یا کندسوزی

با توجه به این که الیاف ازجمله مواد قابل اشتعال می‌باشند و هرساله، خسارات مالی و جانی زیادی بر اثر آتش‌گرفتن منسوجات به وجود می‌آید، لازم است اصلاحاتی در منسوجات به منظور تأخیر در شعله‌ورشدن آن‌ها ایجاد شود. ازجمله راهکارهای رسیدن به این هدف عبارتند از: افزایش نقطه‌ی اشتعال الیاف به منظور نیاز به دمای بیشتر برای آغاز سوختن، کاهش طول شعله حاصل از سوختن، توقف سوختن الیاف با حذف منبع آتش و کاهش سرعت پیشروی آتش روی کالا. درصورتی که اهداف بالا محقق گردد، کالا دیرتر آتش گرفته و سرعت انتقال آتش کاهش می‌یابد بنابراین، فرصت بیشتری برای مهار آتش فراهم می‌شود [۳].

مواد پلیمری سلولزی که در محصولات خانگی همچون کابل‌ها، فرش‌ها، کابینت‌های آشپزخانه و غیره و همچنین بستر اصلی قالی(نخ پنبه‌ای) استفاده می‌گردند بایستی دارای یک درجه رضایت‌بخش در برابر آتش باشند تا اطمینان از ایمنی عمومی در برابر آتش حاصل گردد. مواد سیلیکونی که تولید تجاری آن از سال ۱۹۴۰ شروع شده است به عنوان مواد ضدحریق در بسیاری از صنایع همچون صنعت نساجی و مواد آرایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مواد، عناصر ساختمانی اصلی سیلوکسان دارای تأثیر مستقیم و یا غیرمستقیم بر روی پایداری این مواد در دماهای بالا می‌باشند [۶۴].

استفاده از نانوذرات، زمانی که به خوبی در ساختار پلیمر پراکنده شده باشند، می‌تواند سبب بهبود خواص حرارتی، مکانیکی و مقاومت در برابر آتش شود. عملکرد نانوذرات بر اساس شکل و ساختار شیمیایی در ایجاد خاصیت کندسوزی متفاوت است. غالباً مواد نانوساختار به کاررفته در این تکمیل در سه دسته کلی نانورس، نانولوله کربن و نانوذرات سیلیکونی و اکسید فلزی قرار می‌گیرند که در جدول۳ به اختصار بیان شده است [۳].

از نانوساختارهایی نظیر نانولوله کربن و یا نانوذرات سیلیس می‌توان در مرحله تولید مستربچ الیاف مصنوعی استفاده نمود و به این ترتیب الیاف مصنوعی نظیر نایلون، پلی‌استر، پلی‌پروپیلن و اکریلیک با قابلیت کندسوزی تولید نمود. از سوی دیگر می‌توان از سوسپانسیون این نانو ذرات در مرحله تکمیل کف‌پوش‌های تولیدشده از الیاف طبیعی یا مصنوعی به روش افشانه استفاده نمود. اختلاط نانوذرات یاد شده با رزین پوشش‌دهنده پشتِ کف‌پوش‌هایی نظیر موکت یا فرش‌های ماشینی منجر به ایجاد خاصیت کندسوزی در این منسوجات می‌شود. یک شرکت سوئیسی با استفاده از نانو ذرات سرامیکی و ایجاد پوشش سرامیکی موفق به تولید مواد ضدآتش و ضدآب شده است. ماده ضد آتش با نام تجاری سراکوتم[1] ماده‌ای غیرسمی، باکارایی بالا، محلول درآب، بی رنگ و بدون بو است که با پاشش آن روی منسوجات نظیر مبلمان وکف‌پوش‌ها، لایه‌ای نانوسرامیکی ایجاد می‌کند که در برابر آتش مقاوم می‌باشد [۱].

اگرچه چندین روش ممکن برای افزودن تأخیردهنده‌های آتش به نایلون وجود دارد ولی فقط افزودن این مواد به مذاب پلیمری و تکمیل‌های موضعی به صورت تجاری درآمده‌اند.

[1] Ceracoattm

جدول ۳- نانوساختارهای بکاررفته در تکمیل کندسوزی پلیمرها [۳].

نام ساختار		نحوه کاربرد	مکانیسم	کاربرد
نانو رس		افزودن نانورس اصلاح‌یافته درون بستر پلیمری	ایجاد سدحرارتی و ممانعت از تبخیر فرآورده‌های قابل اشتعال	قابلیت کاربرد در پلیمرهایی نظیر پلی پروپیلن، پلی آمید ۶ و پلی استایرن استفاده می‌شود
نانو لوله‌های کربن		افزودن نانولوله کربنی به بستر پلیمری	تشکیل ساختار شبکه‌ای در داخل پلیمر و بهبود خواص فیزیکی ماده	قابلیت کاربرد در پلیمرهایی نظیر سلولز، پلی متیل متاآکریلات، پلی آمید ۶، پلی اتیلن با چگالی پایین و پلی پروپیلن
نانوذرات	سیلیکونی	افزودن به ماتریس پلیمری	در دماهای بالا، ماده سرامیکی مقاوم در برابر حرارت تولید می‌کند	قابل استفاده در انواع پلیمرها
	اکسید فلزی	افزودن نانوذرات اکسید فلزی نظیر دی اکسید تیتانیم، اکسید آهن و نانوذرات هیدروکسید فلزی به درون بستر پلیمری	محدودکردن حرکت زنجیره‌های پلیمری در اثر اتصال قوی بین نانوذرات و زنجیره‌های پلیمر و افزایش دمای شیشه‌ای و شاخص محدودکننده اکسیژن (LOI)	قابل استفاده در انواع پلیمرها

ترکیبات حاوی فسفر و برم عمومی‌ترین افزودنی‌های مذاب می‌باشند. تکمیل‌های تأخیردهنده‌های شعله موضعی برای نایلون که مورد توجه خاص می‌باشند. عملیات‌هایی بر پایه تولید کندانسیون تیواوره با فرمالدهید و اوره می‌باشد. اثر تأخیردهندگی شعله این مواد به دلیل کاهش نقطه مذاب نایلون تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که باعث می‌گردد لیف سریع ذوب شود. ماده عمومی مورد استفاده در تأخیردهندگی شعله نایلون مخصوصاً برای فرش‌های نایلونی، آنتیمونی تری‌اکسید همراه با دهنده‌های برمین و یک عامل چسبنده می‌باشد که در پوشش پشتِ فرش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در شکل ۶ نشان داده شده است [۵].

موفقیت‌آمیزترین روش برای تأخیردهندگی شعله الیاف اکریلیک، کوپلیمریزاسیون منومرهای حاوی هالوژن به لیف می‌باشد. این الیاف مداکریلیک دارای تأخیردهندگی شعله مداوم و خواص لیف قابل قبولی می‌باشند. برخی مشکلات همچون تکرارپذیری رنگرزی، باعث جایگزینی آن‌ها توسط پلی‌استر اصلاح‌شده با خواص تأخیردهندگی شعله می‌باشد برای مثال برای پارچه‌های پرده‌ای و منسوجات تزئینی [۵].

الیاف پلی‌پروپیلن (PP) می‌توانند با افزودن برم و فسفر به مذاب پلیمر به خاصیت تأخیردهندگی شعله دست یابند. در هر صورت، برای دستیابی به خواص مطلوب ، استفاده از مقادیر بالای این مواد ضروری می‌باشد که می‌تواند بر روی خواص الیاف تأثیر منفی بگذارد. هنگامی‌که PP در فرش مورد استفاده قرار می‌گیرد تأخیردهندگی شعله می‌تواند با افزودن ترکیبات حاوی هالوژن و آنتیمونی تری‌اکسید در لاتکس پشت فرش مورد استفاده قرار گیرد [۵].

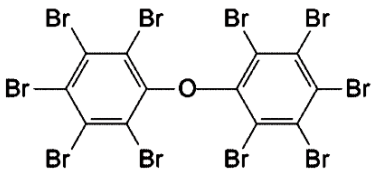
کاهش قابلیت اشتعال منسوجات PAN[1] توسط (متا)کریلات‌ها همراه با منومرهای فسفر که به عنوان مواد موثر در کندسوزی می‌باشند قابل دستیابی می‌باشد [۶۵]. با استفاده از پلیمریزاسیون پیوندی ایجادشده توسط پلاسما می‌توان یک لایه نازک پلیمر پلاسما را بر روی سطح منسوج ایجاد نمود. تشکیل لایه زغالی محافظتی مشخص‌شده در حین تست سوختن برای نمونه‌های تکمیل‌شده قابل مشاهده می‌باشد در حالیکه نمونه عمل‌نشده بدون باقیمانده می‌سوزد [۱۰].

در پژوهشی دیگر، از پلاسمای نیتروژن و سپس نانوذرات رس برای افزایش خواص کندسوزکنندگی پارچه پنبه‌ای استفاده شد. در واقع، طول خاکستر در این روش ۱۲ درصد افزایش یافته است که نشان‌دهنده بهبود خاصیت کندسوزی نمونه تکمیل شده با پلاسما و نانورس در مقابل شعله آتش است. بهبود خاصیت کندسوزی مربوط به تجزیه سریع‌تر نانوذرات رس برای تشکیل خاکستر است که از انتقال گرما، انرژی و اکسیژن بین شعله و پارچه پنبه‌ای جلوگیری می‌کند [۲۶].

۲-۱۰- منسوجات معطر

میکرو/ ناکپسول‌ها حاوی مرطوب‌کننده‌ها، اسانس‌ها، مواد نرم‌کننده پوست، ویتامین‌ها و پروویتامین‌ها به عنوان عوامل تکمیلی برای منسوجات مورد استفاده قرار می‌گیرند. رایحه درمانی[2] از طریق منسوجات اصلاح‌شده در تشک‌ها، ملافه، روتختی، پرده، فرش با اسطوخودوس[3]، دارچین و روغن مرکبات برای خواب بهتر و کاهش خستگی بسیار مناسب هستند. به منظور ایجاد حس خواب و کاهش خستگی و کاهش فشار خون، تکمیل منسوجاتی نظیر ملحفه، پرده، فرش و روتختی با استفاده از رایحه‌هایی نظیر اسطوخودوس، مرکبات، دارچین، ریحان و لیمو و غیره بسیار مناسب می باشد. همچنین با استفاده از اسانس‌هایی مانند لیمو یا پرتقال می‌توان در لباس ورزشی اثرات ضدباکتریایی و حفظ طراوت و انرژی را به دست آورد. تأثیر روغن‌های لیمو، بابونه، گل رز، هل، میخک، یاس و غیره نیز توسط بسیاری از محققین مورد تأیید است [۱۳، ۳]. کف‌پوش‌های معطر با استفاده از نانوحامل‌هایی نظیر سیکلودکسترین (مولکول‌های حلقوی)، پلیمرهای درختسان و یا انواع نانوکپسول های پلیمری قابل تولید می باشند [۱].

درختسان‌ها مولکول‌های با شاخه‌های تکراری می‌باشند که در صنعت نساجی مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند (شکل ۷). یک ساختار درختسان می‌تواند به عنوان یک مولکول میزبان از طریق گروه‌های عاملی موجود و شاخه‌های داخلی توخالی عمل نماید. آنها همچنین قابلیت جذب مولکول‌های میهمان غیرقطبی یا باردار را در داخلشان از طریق برهم‌کنش‌های آب‌گریز/پیوند هیدروژنی یا بر روی شاخه‌هایشان توسط برهم‌کنش‌های یونی و تشکیل انواع مختلف درهم‌جای یا جفت یون‌ها در یک محلول آبکی دارند [۱۳].

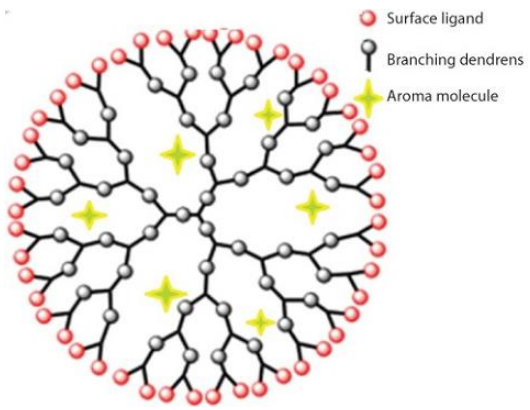


Decabromodiphenyl oxide
(DBDPO)

Sb_2O_3

Antimony trioxide

شکل ۶- سیستم تأخیردهندگی آتش برای مخلوط الیاف [۵].



شکل ۷- ترکیب پایه‌ای درختسان‌ها [۱۳].

[1] PolyAcryloNitrile
[2] Aromatherapy
[3] lavender

ماده معطر درون حفره میانی مواد مذکور قرار گرفته و بر اثر فشار ناشی از راه‌رفتن بر روی فرش، رها شده و رایحه مورد نظر را در محیط آزاد می‌کنند. استفاده از نانوذرات خاکستر بامبو در مرحله تولید الیاف کف‌پوش نظیر نایلون، پلی پروپیلن و پلی استر نیز می‌تواند علاوه‌بر حبس مولکول‌های ایجادکننده بو در منافذ نانومتری موجود در خاکستر بامبو، سبب افزایش خاصیت عایق حرارتی این الیاف شده و گرمی بیشتری در محیط ایجاد نماید [۱].

در سال‌های اخیر، تولید پارچه‌های معطر در بسیاری از کشورها مورد توجه قرارگرفته است. صنعت پوشاک ایالت متحده حدود ۱۷۳ بیلیون دلار ارزش دارد به طوری که حدود ۲٪ این بازار امروزه به پوشاک معطر اختصاص دارد. معطرسازی پارچه با توجه به نوع مواد استفاده شده در فرآیند به سه روش انجام می شود که در شکل ۸ نشان داده شده است [۳].

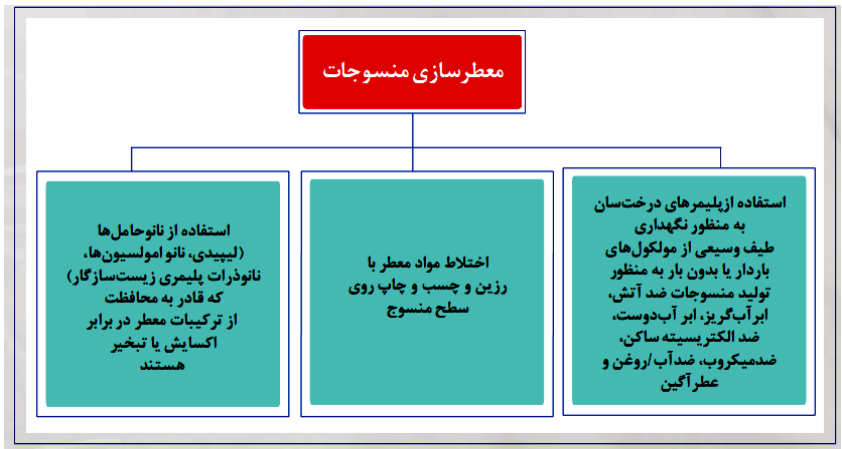
۲-۱۱- کنترل بوی نامطبوع

این فرآیندها برای پاکیزه نگه‌داشتن و کنترل بوی نامطبوع مبلمان منزل بسیار مورد توجه قرار گرفته است. همچنین در منسوجات مورد استفاده در پوشاک، با کنترل معایب ناشی از تعرق و بوی نامطبوع بدن، نقش مهمی در سلامت و ایجاد احساس راحتی در انسان ایفا می‌کند. به طورکلی، دو رویکرد مختلف به منظور کنترل بوی نامطبوع منسوجات ناشی از تعریق وجود دارد: الف-روش جذب که روشی ساده به منظور به دام‌انداختن مولکول‌های ایجادکننده بو است و در این روش تغییر در فرآیند تجزیه ترکیبات ناشی از تعریق انجام نمی شود. ب- روش جلوگیری که در این روش از رشد و تکثیر باکتری‌هایی که مسبب تجزیه ترکیبات و ایجاد بوی نامطبوع هستند، جلوگیری به عمل می آید. انجام تکمیل‌های ضدباکتری روی منسوجات برای رسیدن به این هدف پیشنهاد می‌شود.

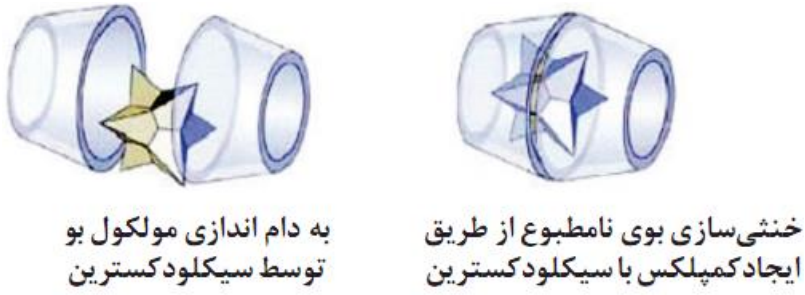
نانو مواد جاذب بوی نامطبوع در منسوجات را می‌توان در گروه‌های سیکلودکسترین‌ها، نانو ذرات کربن فعال، نانو ذرات خاکستر بامبو و پلیمرهای درختسان تقسیم‌بندی کرد [۳]. از اتصال β-CD بر روی منسوجات به منظور دستیابی به خواصی همچون فعالیت ضدمیکروبی، رهایش دارو، رهاسازی عطر و تکمیل ضدبو، بهبود رنگرزی و چاپ، عملیات تصفیه فاضلاب، تکمیل تأخیردهندگی شعله و غیره استفاده می‌گردد [۶۶]. عملیات پلاسمای اکسیژن بر روی پشم می‌تواند گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل جدیدی را بر روی سطح الیاف تولید نموده و میزان بازدهی پیونددهی β-CD را بر روی الیاف پشم افزایش دهد [۵۳]. شکل ۹ عملکرد سیکلودکسترین‌ها به عنوان مواد جاذب بو را نشان می‌دهد.

۲-۱۲- بهبود رنگ‌پذیری و چاپ منسوجات

با کمک فناوری نانو می‌توان سطح الیاف طبیعی نظیر پشم، ابریشم، پنبه و جوت را به گونه‌ای تغییر داد که سبب افزایش قدرت رنگی و ثبات رنگی الیاف شود.



شکل ۸- روش‌های مختلف معطرسازی منسوجات [۷].

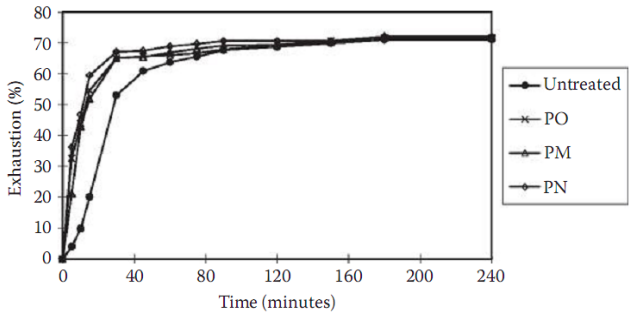


شکل ۹- نحوه عملکرد سیکلودکسترین‌ها به عنوان مواد جاذب [۳].

فناوری نانو همچنین از پتانسیل بالایی برای بهبود خواص رنگی و فیزیکی الیاف مصنوعی برخوردار است. نانو موادی نظیر درخت‌سان‌ها، سیکلودکسترین‌ها، رس، کیتوسان و ذرات فلزی در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیکلودکسترین‌ها برای اصلاح سطحی پارچه‌های پنبه‌ای، پلی استری، پشمی، پلی پروپیلنی و غیره به منظور افزایش جذب رنگزا توسط پارچه و بهبود ثبات شستشویی استفاده شده‌اند. بهبود ثبات سایشی منسوجات رنگ‌شده با این مواد نیز در برخی موارد گزارش شده است [۶۷-۶۹]. پلی پروپیلن ایمینوپلی‌آمیدوآمینه از جمله پلیمرهای درخت‌سان پرکاربرد با گروه انتهایی آمین است. وجود گروه‌های انتهایی زیاد باعث شده تا این مواد کاربرد زیادی در اصلاح منسوجات نایلونی داشته باشند. از سوی دیگر استفاده از این مواد در منسوجات پنبه‌ای، پشمی و غیره علاوه بر بهبود رنگرزی، خواص ضدمیکروبی منحصربه فردی نیز به همراه دارد [۶۸، ۶۷]. این مواد با اندازه مولکولی کوچک، به راحتی درون لیف نفوذ می‌کنند و رمق‌کشی و تثبیت رنگ‌های راکتیو روی الیاف اصلاح‌یافته را بهبود می‌بخشند [۶۹]. محققین نشان داده‌اند که تکمیل پارچه پشمی، ابریشمی و پنبه‌ای با نانو ذرات نقره علاوه‌بر خواص ضدمیکروبی، استحکام کششی و عمق رنگی این پارچه‌ها را نیز بهبود می‌بخشد [۷۰]. از بتاسیکلودکسترین[1] به تنهایی و یا همراه با منوکلروتری‌آزین (MCT) و یا BTCA و در حضور SHP به عنوان کاتالیزور به منظور بهبود رنگرزی و چاپ با رنگزاهای مختلفی همچون رنگزاهای اسیدی، راکتیو، دیسپرس، رنگزاهای طبیعی همچون بربرین استفاده می‌گردد [۷۱-۷۳].

کارایی سطحی پارچه‌های پشمی عمل‌شده با کرونا/پلاسما و پارچه‌های پشمی عمل‌نشده از نظر ریخت و خواص شیمیایی مورد مطالعه قرار گرفتند. عملیات کرونا توسط تغییرات شیمیایی و فیزیکی سطحی همچون اکسیداسیون/حذف تک‌لایه اسید چرب بیرونی، افزایش گروه‌های عاملی با بار مثبت، ایجاد مکان‌های رنگی جدید و بهبود نرخ رمق‌کشی در حین رنگرزی تأیید شده است. عملیات کرونا بکاربرده شده در مراحل پیش‌مقدماتی تولید پشم می‌تواند منجر به بهینه‌سازی فرآورش‌های رنگرزی مختلف، بکاربردن دماهای رنگرزی کمتر و زمان رنگرزی کوتاه‌تر، دستیابی به رمق‌کشی مشابه و یا بهتر در مقایسه با روش‌های معمولی پیش‌مقدماتی پارچه پشمی گردد. به این علت‌ها، مصرف انرژی می‌تواند کاهش یافته و بنابراین محافظت از محیط‌زیست بهبود یابد [۷۴].

نمودارهای رمق‌کشی نمونه‌های عمل‌شده با پلاسما با گازهای پلاسمای مختلف با نام‌های اکسیژن (PO)، نیتروژن (PN) و مخلوط نیتروژن/ هیدروژن (PM) و نمونه‌های عمل‌نشده در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- درصدرمق‌رکشی زنگزای اسیدی توسط نمونه‌های مختلف پشمی [۷۵].

همانطور که در این نمودار مشخص می‌باشد شیب الیاف عمل‌شده با پلاسما در ابتدای رنگرزی بیشتر از نمونه عمل‌نشده می‌باشد و این بدان معناست که سرعت رنگرزی اولیه نمونه‌های عمل‌شده با پلاسما سریع‌تر از نمونه‌های عمل‌نشده می‌باشد. این پدیده احتمالاً به دلیل نفوذ سریع‌تر مولکول‌های رنگ در لیف عمل‌شده با پلاسما نسبت به نمونه عمل‌نشده می‌باشد. به‌علاوه، زمان رسیدن به تعادل رنگرزی به میزان قابل ملاحظه‌ای برای نمونه‌های عمل‌شده با پلاسما کوتاه‌تر می‌باشد. از سه گاز مختلف مورد استفاده، PN دارای بیشترین تأثیر بر روی سرعت رنگرزی می‌باشد سپس PO و در نهایت PM. بر طبق این روند، می‌توان فهمید که نوع گاز مورد استفاده نیز می‌تواند در رفتار رنگرزی سیستم رنگرزی موثر باشد زیرا نوع گاز می‌تواند ترکیب سطح لیف را تغییر دهد [۷۵، ۷۶]. مثلاً استفاده از گاز نیتروژن در عملیات پلاسما ممکن است منجر به تولید گروه‌های آمینو ($-NH_2$) در لیف گردد. گروه‌های آمینو به وجود آمده مکان‌های رنگی روی سطح لیف بوده و از این رو منجر به افزایش جذب رنگزا می‌گردند. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر زمان نیمه‌رنگرزی پارچه‌های پشمی عمل‌شده با پلاسما تا ۶۴٪ در مقایسه با نمونه‌های عمل‌نشده کاهش می‌یابد [۷۷].

۳- نتیجه‌گیری

در طول سال‌های اخیر، با ظهور فناوری‌های نوین و فناوری‌های جدید در رنگرزی منسوجات، تحولات چشمگیری در عرصه محصولات مختلف و به طور خاص منسوجات و کف‌پوش‌ها به وجود آمده است. استفاده از فناوری‌های نوین نظیر خواص ضدآب و لکه، ضدبو، ضدمیکروبی، خودتمیزشوندگی، ضدبید، کندسوزی، و کاربرد نانوذرات در رنگرزی و مقدمات رنگرزی و غیره منجر به بهبود کارایی کف‌پوش‌ها و افزایش در جذب و ماندگاری مشتری در بازارهای جهانی شده است.

[1] β-cyclodextrin

۴- مراجع

۱. ع. عباسی، "کاربرد فناوری نانو در صنعت نساجی"، مجموعه گزارش‌های رصد فناوری نانو، **۱۳۹۱**

۲. ش. امامی رئوف، "کاربرد فناوری نانو در منسوجات خانگی"، ماهنامه نساجی امروز"، ۱۷۰، ۸۶-۷۹، **۱۳۹۵**.

3. M. Montazer, T. Harifi, "*Nanofinhishings of textiles materials*", Woodhead publisher, Elsevier, **2018**.

4. I. Holme, "*Water repellency and waterproofing*", Textile Finishing, Heywood D (ed.), Bradford, Society of Dyers and Colourists, 135–213, **2003.**

5. W. D. Schindler and P. J. Hauser, "*Chemical finishing of textiles*", Woodhead Publishing Ltd, 2004.

۶. ع. م. سلطانی، "کاربرد فناوری پلاسما در صنعت نساجی"، ماهنامه فناوری نانو، ۲۴۷، ۴۲-۳۸، **۱۳۹۷**.

7. M. J.Tsafack, F. Hochart, J. Levalois-Grützmacher, "Polymerization and surface modification by low pressure plasma technique", Eur. Phys. J. Appl. Phys. 26, 215–219, **2004.**

8. A.L. King, K.R. Millington, "Trace metals can affect hydroxyl radical production and Yellowing of photo-irradiated wool", J. Text. 104, 648**, 2013**.

9. M. Montazer, S. Seifollahzadeh, "Enhanced self-cleaning, antibacterial and UV protection properties of nano TiO2 treated textile through enzymatic pretreatment", J. Photochem. 87, 877-883, **2011**.

10. Shahid-ul-Islam, B.S. Butola, "*Nanomaterials in the Wet Processing of Textiles*", Scrivener Publishers, **2018.**

11. M. Ghamsari, S. alamdariHan, H. Park, "Impact of nanostructured thin ZnO", Int. J. Nanomedicine. 12, 207–221, **2016**.

12. S.Ghaffari, M.R. Mojtahedi, R. Dastjerdi, "Comparison of the morphological, mechanical and UV protection, properties of TiO2/polyamide 6 (PA6) and ZnO/PA6 nanocomposite multifilament yarns", J. Macromol. Sci. Part B. Phys. 54, 783–798, **2015.**

13. S. Parthiban, "Self cleaning garments, silica coated ZnO nano particles", Text. Res. J. 84, **2014.**

14. M. Zhang, B. Tang, L. Sun, X. Wang, "Plasma modification on wool fibre: Effect on the dyeing properties", Color. Technol. 114, 61–65, **1998**

15. M. Montazer, E. Pakdel, "Reducing photoyellowing of wool using nano TiO_2", J. Photochem. Photobiol. 86, **2010.**

16. S. Barik, A. Khandual, L.Behera, , S.K.Badamali, A. Luximon, "Nano-Mg–Al-layered Double hydroxide application to cotton for enhancing mechanical, UV protection and flame Retardancy at low cytotoxicity level", Cell. 24, **2017.**

17. S. Lee, "Developing UV-protective textiles based on electrospun zinc oxide nanocomposite fibers", Fiber. Polym. 10, 295–301, **2009**

18. G. Cai, Z. Xu, M. Yang, B.Tang, X. Wang, "Functionalization of cotton fabric through thermal reduction of graphene oxide", Appl. Surf. Sci. 393- 441, **2017**.

19. A. A. Merati, A. Mousavi Shoushtari, J. Mirzaei, "A comparison between the UV protection of PAN/ZnO and PAN/ MWNT", J. Text. Inst. J. Text. I. **2017.** 1.

20. A. L. Higginbotham, J. R. Lomed, A. B. Morgan, J. M. Tour, "Graphite oxide flame- Retardant polymer nano- composites", Appl. Mater. Interfaces, 1, 22-56, **2009.**

21. X. Pu, L. Li, M. Liu, C.Jiang, C. Du, Z. Zhao, Z. Hu, "Wearable self- charging power textile based on flexible yarn supercapacitors and fabric nanogenerators", J. Adv. Mater. 28, 98, **2016.**

22. S. Dadvar, H. Tavanai, M. Morshed, "UV-protection properties of electrospun Polyacrylonitrile nanofibrous mats embedded with MgO and Al_2O_3 nanoparticles", J. Nanopart. Res. 13, 5163, Doi:10.1007/s11051-011-0499-4, **2011.**

23. S. Nissenken, "Functionality assessment for textile: Deodorization testing", Textiles Committee of Textile and Apparel to Japanese, **2017.**

24. T. Yuranova, R. Mosteo, J. Bandara, D. Laub, J. Kiwi, "Self-cleaning cotton textiles Surfaces modified by photoactive SiO /TiO_2 coating", J. Mol. Catal. A: Chem. 244, 160, **2006.**

25. I.Sas, Gorga, R.E. Joines, A. K. Thone, "Review on superhydrophobic self- cleaning surfaces produced by elec trospinning", J. Polym. Sci. B Polym. Phys. 50, 824–845, **2012.**

26. W.S. Tung, W.A. Daoud, "Self-cleaning fibers via nanotechnology: a virtual reality", J. Mater. Chem. 21, 7858, **2011.**

27. B. Xu, Z. Cai, W. Wang, F. Ge, "Preparation of superhydrophobic cotton fabrics based on SiO_2 nanoparticles and ZnO nanorod arrays with subsequent hydrophobic modification", Surf. Coat. Technol. 204, 1556–1561, **2010.**

28. M. Montazer, E. Pakdel, "Functionality of nano titanium dioxide on textiles with future aspects: focus on wool", J. Photochem. Photobiol. C. 12, 293–303**. 2011**

29. M. Montazer, S. Seifollahzadeh, "Enhanced self-cleaning, antibacterial and UV pro- tection properties of nano TiO_2 treated textile through enzymatic pretreatment. Photo- chem. Photobiol. 87, 877–883, **2011**.

30. M. Montazer, E. Pakdel, A. Behzadnia, "Novel feature of nano-titanium dioxide on textiles: antifelting and antibacterial wool", J. Appl. Polym. Sci. 121, 3407–3413, **2011**.

31. H. F. Moafi, A.F. Shojaie, M. A. Zanjanchi, "The comparison of photocatalytic activity of synthesized TiO2 and ZrO2 nanosize onto wool fibers", Appl. Surf. Sci. 256, 4310–4316, **2010**.

32. D. Lämmermann, "Fluorocarbons in textile finishing", Melliand Textilberichte, E 380, 72, 949–954, **1991**.

33. Y. C. Liu,Y. Xiong, and D. N. Lu. "Surface characteristics and antistatic mechanism of plasma-treated acrylic fibers", Appl. Surf. Sci. 252, 2960–2966, **2006**

34. R. A. Jelil, "A review of low-temperature plasma treatment of textile materials", J. Mater. Sci. 50, 5913–5943, **2015**

35. N. Karthikeyan, K. A. Vijayalakshmi, and K. Vignesh, "Functionalisation of viscose fabric with chitosan particles using non-thermal oxygen plasma", Mater. Technol. 31, 358–363, **2016.**

36. C. W. Kan, "Surface morphological study of low temperature plasma treated wool: A time dependence study", Modern research and educational topics in microscopy, Vol. 2, A, Badajoz, Spain, Formatex, 683–689, **2007**.

37. C. W. Kan, and C. W. M. Yuen, "Plasma technology in wool", Text. Prog. 39, 121–187, **2007.**

38. N. Gomez, M. R. Julia, I. Munoz, M. R. Infante, A. Pinazo, A. Naik, P. Erra, "Wool treatments with mixtures of sulphite and amphiphilic cationic protein hydrolysate", J. Tex. Inst. 85, 215–224, **1994**.

39. R. Perumalraj, "Effect of silver nanoparticles on woolber", International Scholarly Research Network, 1-4,**2012**.

40. M. Taheri, L. Maleknia, N. Alizadeh Ghamsari, A. Almasian, Gh. Chizari Fard, "Effect of zirconium dioxide nanoparticles as a mordant on properties of wool with thyme: dyeing, flammability and antibacterial", Ori. J. Chem. 31, 85- 96, **2015.**

41. K. M. Shojaei, "The stabilization of nano silver on polyester lament for a machine made carpet", Mat. Technol. 49, 461-465, **2015.**
42. L. Grocholl, "Hepes Zwitterionic biological buffer used in biological and biochemical research, sigma-aldrich corp, Hopax HEPES Sigma - hopaxfc.com, Nanomat for Ad", Appli. 5, **2015.**
۴۳. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، "محصولات فناوری نانو ساخت ایران"، ۷۲-۵۹، ویرایش دوم، پاییز **۱۳۹۴.**
44. B. J. K. Park, M. H. Takatori, D.W. Lee, Y.I. Han, H.J. Woo, "Escherichia coli sterilization and lipopolysaccharide inactivation using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure", Surf. Coat. Technol. 201, 5738– 5741, **2007.**
45. A. B. Demir, E. Arik, N. Seventekin, "The comparison of the effect of enzyme, peroxide, plasma and chitosan processes on wool fabrics and evaluation for antimicrobial activity", Fibers Polym. 11, 989–995, **2010**.
46. J. M. Cardamone, J. Yao, A. Nunez, "Controlling shrinkage in wool fabrics: Effective hydrogen peroxide systems", Tex. Res. J. 74, 887–898**, 2004.**
47. J. Shen, M. Rushforth, A. Cavaco-Paulo, G. Guebitz, H. Lenting, "Development and industrialisation of enzymatic shrink-resist process based on modified proteases for wool machine washability", Enzyme Microb. Technol. 40, 1656–1661, **2007.**
48. C. J. Silva, M. Prabaharan, G. Gubitz, A. Cavaco-Paulo, "Treatment of wool fibres with subtilisin and subtilisin-PEG", Enzyme Microb. Technol. 36, 917–922, **2005**.
49. A. Haji, A. M. Khajeh Mehrizi, R. Akbarpour, "Optimization of β-cyclodextrin grafting on wool fibers improved by plasma treatment and assessment of antibacterial activity of berberine finished fabric", J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. 81, 121–133. **2015**
50. N. A. Ibrahim, W.A. Abdalla, E. M. R El-Zairy, H. M. Khalil, "Utilization of monochloro-triazine β-cyclodextrin for enhancing printability and functionality of wool", Carbohyd. Polym. 92, 1520–1529, **2013**
51. N. A. Ibrahim, M.Khalil, M. Basma , M. Tawfik, "Application of MCT-βCD to Modify Cellulose/Wool Blended Fabrics for Upgrading Their Reactive Printability and Antibacterial Functionality", Fibers Polym. 19, 1655–1662, **2018**
52. R. Bano, "Use of chitosan in mosquito repellent finishing for cotton textiles". J. Text. Sci. Eng. 4, 1–3, **2014**.
53. A. S. M. Raja, S. Kawlekar, S. Saxena, A. Arputharaj, P. G. Patil, "Mosquito protective textiles—a review", Int. J. Mosque. Res. 2, 49–53, **2015**.
54. T. Nakajima, I.Shibazaki, "Managements of rats and pests in environmental sanitation", Fuji Techno System Ltd. Tokyo, 521–549, **1999**.
55. A. Nazari, M. Montazer, F. Afzali, A. Sheibani, "Optimization of proteases pretreatment on natural dyeing of wool using response surface methodology", Clean Techn. Environ. Policy, 16, 1081–1093, **2014**.
56. A. Nazari, M. Montazer, M. Dehghani-Zahedan, "Mothproofing of wool fabric utilizing ZnO nanoparticles optimized by statistical models", J. Ind. Eng. Chem. 20, 4207–4214, **2014**.
57. A. Nazari, M. Montazer, M. Dehghani-Zahedan, "Nano TiO_2 as a new tool for mothproofing of wool: protection of wool against Anthrenus verbasci", Ind. Eng. Chem.Res. 52, 1365–1371, **2014.**
58. H. Y. Ki, Kim, J. H. Kwon, S. C. Jeong, "A study on multifunctional wool textiles treated with nano-sized silver", J. Mater. Sci. 42, 8020–8024, **2007**.
59. S. J. McNeil, M. R. Sunderland, "The nanocidal and antifeedant activities of titanium dioxide desiccant toward wool-digesting Tineola bisselliella moth larvae", Clean Techn. Environ. Policy. 18, 843–852, **2016**.
60. V. Totolin, M. Sarmadi, S. O. Manolache, F. S. Denes, "Atmospheric pressure plasma enhanced synthesis of flame retardant cellulosic materials", J. Appl. Polym. Sci. 117, 281–289, **2010**.
61. D. Price, K. Pyrah, T. R. Hull, G. J. Milnes, J. R. Ebdon, B. J. Hunt, and P. Joseph, "Flame retardance of poly(methylmethacrylate) modified with phosphorus-containing compounds", Polym. Degrad. Stabil. 77, 227–233, **2002**.
62. M. Shabbir, S. Ahmed, J. N. Sheikh, "*Frontiers of textile materials polymers, nanomaterials, enzymes, and advanced modification techniques*", Scrivener Publisher, **2020**.
63. B. Voncian,V. Vivod, D. Jaušovec, "β-cyclodecxtrin as retarding reagent in polyacrylonitrile dyeing", Dyes Pigm. 74 642- 646, **2007**
64. A. A. Zolriasatein, M .E. Yazdanshenas, R. Khajavi, A. Rashidi, "The application of poly(amidoamine) dendrimers for modification of jute yarns: preparation and dyeing properties", J. Saudi Chem. Soc. 19, 155- 162, **2015**.
65. S. M. Burkinshaw, M. Mignanelli, P. E. Froehling, M. J. Bide, "The use of dendrimers to modify the dyeing behaviour of reactive dyes on cotton", Dyes Pigm. 47, 259- 267, **2000**.
66. S. Shahidi, J. Wiener, M. Ghoranneviss, "*Surface modication methods for improving the dyeability of textile fabrics*", Intech edition, 33-42, **2013**,
67. S. M. Gawish, A. M. Ramadan, S. M. Abo El-Ola, A. A. Abou El-Kheir, "Citric Acid used as a cross-Linking agent for grafting β-Cyclodextrin onto wool fabric", Polym. Plast. Technol. Eng. 48, 701–710. **2009,**.
68. Y.E. Ghoul, B. Martel, A. El Achari, C. Campagne, L. Razafimahefa, I. Vroman, "Improved dyeability of polypropylene fabrics finished with β-cyclodextrin-citric acid polymer", Polym. J. 42, 804–811, **2010**,
69. M. Molakarimi, M. Khajeh Mehrizi, A. Haji, "Effect of plasma treatment and grafting of β-cyclodextrin on color properties of wool fabric dyed with Shrimp shell extract", J. Text. I. 107, 10, 1314–1321, **2016**.
70. R. Morent, N. De Geyter, J. Verschuren, K. De Clerck, P. Kiekens, C. Leys , "Non-thermal Plasma Treatment of Textiles", Surf. Coat. Tech. 202, 3427-3449, **2008.**
71. C. W. K. Kan, C. W. M. Chan, M. H. Yuen, M. Miao, "Plasma modification on wool fibre: Effect on the dyeing properties", Color. Technol. 114, 61–65, **1998**.
72. C. W. K. Kan, C. W. M. Chan, M. H. Yuen, "Application of low temperature plasma (LTP) on wool, Part II: Dyeing and felting properties", Nucleus. 37, 22–33, **2000**
73. C. W. K. Kan, C. W. M. Chan, M. H. Yuen, M. Miao, "Low temperature plasma on wool substrate: The effect of nature of gas", Tex. Res. J. 69, 407–416**, 1999.**