



تأثیر نانو تکنولوژی بر بخش تکمیل پوشاک در نساجی

ترجمه: آزاده موحد

چکیده

تأثیر نانو تکنولوژی بر بخش تکمیل پوشاک باعث ایجاد تکمیل‌های جدید و روش‌های نوین به کارگیری آن‌ها شده است. تکمیل‌های جدید کارایی‌های بی‌نظیری را در زمینه‌های مختلف نظیر خصوصیات ضد لک، آبدوستی، آنتی‌استاتیک، ضد چروک، مقاومت در برابر جمع‌شدگی و روش‌های محافظت ایجاد می‌کنند. پوشش‌دهی سطح منسوجات و پوشاک با نانوذرات به ایجاد سطوحی با کارایی بالا نظیر مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش، ضد میکروب بودن، کندکنندگی شعله، دفع آب و خود تمیز شونده‌گی کمک می‌کند. از آنجایی که پتانسیل کاربرد تکنولوژی نانو در صنایع نساجی بسیار گسترده و متنوع است، در زیر تنها به تعدادی از کاربردهای بسیار رایج و شناخته شده‌ی آن اشاره می‌کنیم.

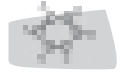
مقدمه

نانو تکنولوژی یک تکنولوژی میان رشته‌ای است که در دهه‌ی اخیر در بسیاری از بخش‌ها گسترش یافته است. تأثیرات اجتماعی عمیقی که این تکنولوژی بر جامعه به‌جای گذاشته است، پس از انقلاب صنعتی دوم یک حرکت عظیم برای مصرف‌کننده به‌شمار می‌رود. مفهوم نانو تکنولوژی حدود نیم قرن پیش آغاز شد و در حال حاضر نیز پتانسیل خود را در کاربردهای نساجی نشان داده است. استفاده از نانو تکنولوژی در صنایع نساجی به‌علت خواص منحصر به‌فردی که ایجاد می‌کند به سرعت افزایش یافته است. در این مقاله مروری بر وضعیت فعلی کاربرد نانو تکنولوژی در صنایع نساجی و بهبود خواص مواد اولیه خواهیم داشت. نانو تکنولوژی به‌علت پتانسیل اقتصادی ممتاز خود و خواص منحصر به‌فرد مواد اولیه‌ی نانو، هم از جنبه‌ی اقتصادی و هم علمی مورد توجه است. به‌دلیل مزایای زیاد اقتصادی، اکولوژیکی و تکنولوژیکی مواد اولیه‌ی نانو پیش‌بینی می‌شود در دهه‌ی آینده به‌کارگیری این مواد در صنایع نساجی تا یک تریلیون دلار افزایش یابد. تحقیقات در زمینه‌ی نانو تکنولوژی به منظور بهبود کارایی و یا ایجاد عملکردهای بی‌نظیر در مواد اولیه‌ی نساجی روز به روز در حال گسترش و پیشرفت است. در این مقاله ما به کاربردهای مواد نانو برای

ایجاد کیفیت در حین فرآیندهای تولید و تکمیل نساجی پرداخته‌ایم.

کاربرد نانو تکنولوژی در نساجی

پیشرفت نانو تکنولوژی در تولید الیاف و نخ‌ها در چند دهه‌ی اخیر باعث گسترش کاربردها و اهداف این تکنولوژی در عرصه‌ی نساجی شده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی تکمیل پارچه تا حد زیادی مرهون پیشرفت‌های صورت گرفته در تکنولوژی نانو می‌باشد. با ترکیب نانوذرات و ترکیبات ارگانیک و غیر ارگانیک می‌توان اصلاحات بی‌نظیری روی سطح پارچه ایجاد کرد نظیر مقاومت سایشی، دفع آب، محافظت در برابر اشعه‌ی ماورای بنفش، مادون قرمز و امواج الکترو مغناطیسی. در سال‌های اخیر از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) برای محافظت کالا در برابر اشعه‌ی ماورای بنفش استفاده می‌شود. استفاده از عوامل نانو به‌وجود آورنده‌ی اتصالات عرضی مقاومت پارچه‌های پنبه‌ای را در برابر چروک‌پذیری افزایش می‌دهد. تکنیک جدید micro encapsulation نیز در صنایع نساجی در عوامل کندکننده‌ی شعله یا آتش کاربرد دارد. از میکروکپسول‌های نانوذرات نقره هم برای ایجاد خاصیت ضد میکروبی و کنترل بو استفاده می‌شود.



در بر می‌گیرد. پوشاک خود تمیز شونده با الهام از خاصیت خود تمیز شوندگی در طبیعت برای مثال در برگ درختان و حشرات به وجود آمدند (شکل ۳). اکثر حشرات و برگ‌های آبدوست به‌طور طبیعی، کم و بیش دارای سطحی صاف و هموار هستند و هیچ تغییر چشمگیری در مورفولوژی سطحی آن‌ها به چشم نمی‌خورد، اما حشرات و برگ‌های دافع آب دارای سطوح متفاوتی می‌باشند.

ایجاد زمینه‌های کاربردی جدید برای منسوجات منجر به مرحله‌ی جدیدی از رشد می‌شود. ایجاد خاصیت خود تمیز شوندگی در مواد اولیه‌ی نساجی در کنار افزایش حجم تولید، فروش و زمینه‌های کاربردی در بازار رو به رشد منسوجات فنی امری منطقی است. خواصی مانند دفع آب و خاک منجر به استفاده‌ی موثر از مواد اولیه می‌شود و بنابراین با اصول توسعه‌ی پایدار سازگار است. استفاده از پوشش‌های خود تمیز شونده علاوه بر این که بسیار جالب توجه می‌باشد، باعث صرفه‌جویی در نیروی کار شده و به زیاسازی محیط اطراف کمک می‌کند. ویژگی مذکور همچنین باعث صرفه‌جویی در وقت می‌شود و با کاهش قبض‌های پر هزینه‌ی خشکشویی‌ها از هزینه‌های موجود می‌کاهد. از آنجایی که این تکنولوژی همچنان نیازمند یک سری اصلاحات است چندین سال طول می‌کشد تا لباس‌های خود تمیز شونده در بازارهای خرده‌فروشی جای خود را باز کنند.

محققان آلمانی دریافته‌اند که درخشندگی گل‌ها و برگ‌های گیاه نیلوفر مرهون خاصیت خود تمیز شوندگی موجود بر روی برآمدگی‌های بسیار ریز و متراکم روی سطح این گیاه است. این برآمدگی‌ها با گرفتن گرد و خاک موجود در هوا از چسبیدن آن‌ها به برگ جلوگیری می‌کنند. برگ در هنگام بارش باران واکنش آبریزی از خود نشان می‌دهد، آب باران به صورت قطره درآمده و با حرکت خود گرد و خاک را از برگ جدا می‌کند.

کاربرد نانو تکنولوژی در تکمیل

تاثیر نانو تکنولوژی بر بخش تکمیل نساجی باعث ایجاد تکمیل‌های تازه و همچنین روش‌های جدیدی شده است. اخیرا به مبحث تکمیل‌های شیمیایی با استفاده از مواد اولیه‌ی نانو در صنایع نساجی توجه زیادی می‌شود. برای کارایی بیشتر می‌توان ملکول‌ها یا نانوذرات مجزا را به‌طور جداگانه در مکان‌های تعیین شده و با یک آرایش یافتگی معین و با روش‌های ترمودینامیک، الکترواستاتیک و یا سایر روش‌های فنی در مواد اولیه‌ی نساجی به کار گرفت.

نانوذراتی نظیر اکسیدهای فلزی و سرامیک‌ها نیز در تکمیل‌های نساجی به کار می‌روند و با تغییر خصوصیات سطحی بر عملکرد منسوجات اثر می‌گذارند. پارچه‌هایی که از قبل با نانوذرات TiO_2 و MgO عمل شده بودند با کربن‌های فعال به‌عنوان مواد اولیه‌ی محافظ شیمیایی و بیولوژیکی جایگزین می‌شوند. فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 و MgO باعث از بین رفتن مواد سمی و بیولوژیکی می‌شود. این نانوذرات را می‌توان با روش اسپری کردن یا آبکاری بر روی لایه‌های منسوجات به کار گرفت. چنانچه ذرات پیروزسرامیک نانو کریستالی بر روی پارچه به کار گرفته شوند، پارچه‌ی حاصل می‌تواند نیروهای مکانیکی اعمال شده را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کند و در نتیجه هنگامی که توسط شخص مصرف کننده پوشیده می‌شود می‌تواند عملکرد بدن مانند ریتم و ضربان قلب را نشان دهد.

تکمیل محافظت در برابر اشعه‌ی فرابنفش

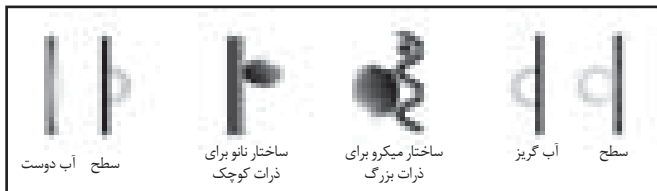
از میان عملکردهای مختلفی که لباس‌ها می‌توانند داشته باشند، محافظت از مصرف کننده در برابر آب و هوا مهم‌ترین است. به‌هرحال لباس باید از شخص در برابر اشعه‌های مضر خورشید نیز محافظت نماید. زمانی که مواد رنگزا، پیگمنت‌ها، مواد کاهش دهنده‌ی جلا یا تکمیل‌های جذب اشعه‌ی فرابنفش روی پارچه به کار گرفته می‌شود مقاومت پارچه در برابر اشعه‌ی فرابنفش افزایش



شکل ۱- کاربرد نانو تکنولوژی در منسوجات

• خاصیت دفع آب

خواص دفع آب در پارچه‌های مختلف با ایجاد ترکیبی از میکرو و نانوویسکرها با سطح انرژی پایین حاصل می‌شود. این ویسکرها توسط کریستال‌های مومی شکل با سایز ۱۰-۳ برای الیاف معمولی پنبه‌ای تولید شده و به منظور ایجاد حالتی نظیر کرک هلو به پارچه افزوده می‌شوند. این اثر مانند بالشی از هوا بر روی سطح پارچه عمل می‌نماید بدون آن که استحکام پارچه را کم کند. زمانی که آب به سطح پارچه برخورد می‌کند بر روی نوک ویسکرها به صورت قطره درمی‌آید. این قطره‌ها هوا را داخل حفره‌های تشکیل شده بین ویسکرها متراکم می‌کنند

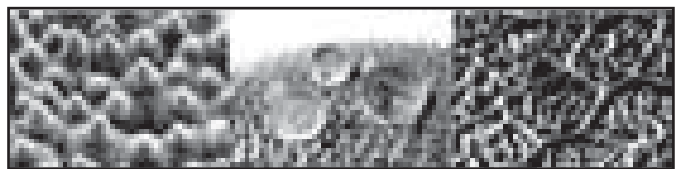


شکل ۲- مکانیزم خود تمیز شوندگی در تکمیل پارچه‌ها با استفاده از نانوذرات

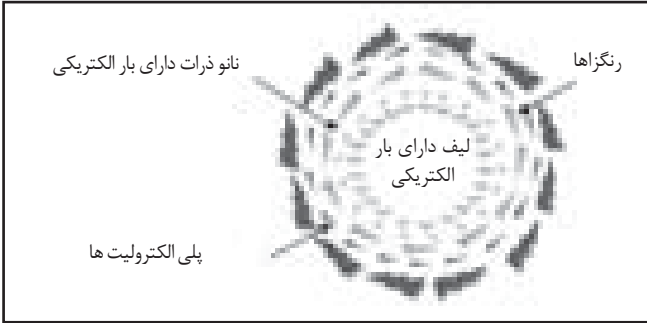
و باعث افزایش مقاومت کالا می‌شوند. پارچه‌ی حاصل از لحاظ تکنیکی تبدیل به یک پارچه‌ی بسیار آبریز شده است. ویسکرها همچنین نقاط تماس کمتری با ذرات گرد و غبار دارند. زمانی که یک پارچه‌ی گرد و خاکی خیس می‌شود، از آنجایی که گرد و خاک به آب تمایل بیشتری دارد تا به سطح پارچه به راحتی از روی پارچه جدا می‌شود.

• منسوجات خود تمیز شونده

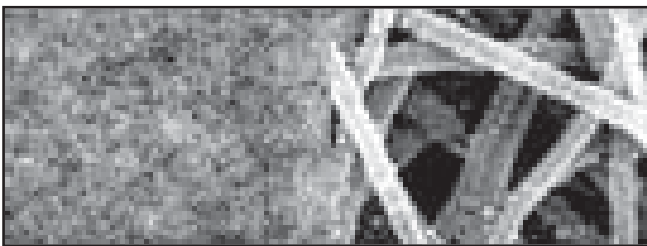
درک خاصیت خود تمیز شوندگی سطح منسوجات با استفاده از تکنولوژی نانو، پتانسیل عظیمی را در ارتباط با توسعه‌ی مواد اولیه، محصولات و کاربردهای جدید



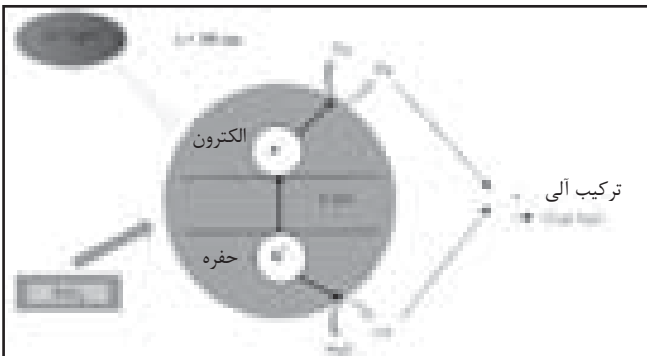
شکل ۳- نمونه‌هایی از سطوح خود تمیز شونده در طبیعت



شکل ۴- آرایش یافتگی الکترواستاتیک نانولایه‌ها بر روی الیاف نساجی باردار شده



شکل ۵- پارچه‌ی پوشش دهی شده با نانومواد ZnO برای محافظت کالا در برابر اشعه‌ی فرابنفش (تصاویر SEM)



شکل ۶- نمایی شماتیک از پدیده‌ی محافظت در برابر اشعه‌ی UV با استفاده از نانومواد TiO2



شکل ۷- نانوذرات نقره (a) تصویر ساختاری نانوذرات نقره حاوی میکروکپسول‌های کاربردی (b) مقطع عرضی الیاف پوشش دهی شده با نانوذرات نقره

نتیجه سطح تماس زیادی با قارچ‌ها و باکتری‌ها هستند. بنابراین اثر ضدباکتریایی و ضدقارچی آن‌ها تا حد زیادی افزایش می‌یابد. نانونقره با پروتئین‌ها بسیار

می‌یابد. برای ایجاد خاصیت محافظت در برابر اشعه‌ی فرابنفش بر روی مواد اولیه‌ی نساجی می‌توان از نانوذرات یا نانوترکیبات متعددی استفاده کرد.

ترکیبات غیرآلی محافظ در برابر اشعه‌ی UV نسبت به ترکیبات آلی اولویت دارند چون غیر سمی هستند و هنگام قرارگیری در معرض اشعه‌ی UV و حرارت بالا، ثبات شیمیایی از خود نشان می‌دهند.

محافظه‌های غیرآلی مورد استفاده معمولاً اکسیدهای نیمه رسانای معینی هستند نظیر اکسیدروی (ZnO) (شکل ۴). ثابت شده است که چنانچه ZnO و TiO2 در حد نانو باشند، این مواد در جذب و پراکنده کردن اشعه‌ی UV بهتر و موثرتر عمل می‌کنند. علت آن است که ذرات نانو دارای سطح بیشتری در واحد جرم و حجم هستند و در نتیجه کارایی محافظت کالا در برابر اشعه‌ی فرابنفش را افزایش می‌دهند. برای ذرات کوچک پراکنده شدن نور در طول موجی معادل یک دهم طول موج پراکنده شده بیشترین مقدار است. تحقیقات مختلفی پیرامون به‌کارگیری تکمیل ضد اشعه‌ی فرابنفش روی پارچه با استفاده از تکنولوژی نانو انجام شده است. تکمیل ضد UV برای پارچه‌های پنبه‌ای با استفاده از روش سل ژل انجام شد. یک لایه‌ی نازک از دی‌اکسید تیتانیوم بر روی سطح پارچه‌ی پنبه‌ای عمل شده تشکیل شد که خواص بسیار خوبی روی پارچه ایجاد کرد و آن را در برابر اشعه‌ی فرابنفش مقاوم ساخت؛ اثر این تکمیل پس از ۵۰ بار شستشوی خانگی باقی خواهد ماند. پارچه‌های عمل شده با نانوماده‌های اکسید روی دارای SPF2 (فاکتور محافظت در برابر اشعه‌ی فرابنفش) بسیار خوبی می‌باشند. پارچه‌های عمل شده با جاذب‌های UV تضمین‌کننده‌ی انکسار اشعه‌ی فرابنفش خورشید توسط لباس و کاهش مدت زمان قرارگیری شخص در برابر اشعه‌ی UV و محافظت از پوست در برابر صدمات می‌باشند (شکل ۵). میزان محافظتی که لازم است از پوست‌های مختلف به‌عمل آید به شدت اشعه‌ی UV و توزیع آن در هر منطقه‌ی جغرافیایی، فصول مختلف و این که چه زمانی از روز است بستگی دارد. این محافظت همان SPF است و هرچه قدر مقدار آن بالاتر باشد، محافظت در برابر اشعه‌ی فرابنفش بیشتر است. TiO2 یک کاتالیزور نوری است. زمانی که با نوری دارای انرژی بیشتر نسبت به فاصله‌ی بین پیوندهای آن مورد نوردهی قرارگیرد الکترون‌های موجود در TiO2 از باند والانس به باند کانداکشن جهش خواهند یافت و e- و حفره‌های الکتریکی (h+) روی سطح فوتوکاتالیزور شکل خواهند گرفت. الکترون‌های بار منفی و اکسیژن به هم متصل شده و تشکیل O2 می‌دهند. الکترون‌های بار مثبت و آب نیز تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌کنند. از آنجایی که دو ماده‌ی فوق هر دو از نظر شیمیایی ناپایدار هستند زمانی که ترکیبات آلی روی سطح کاتالیزور نوری قرار می‌گیرد به ترتیب با O2 و OH واکنش می‌دهند و به دی‌اکسیدکربن (CO2) و آب (H2O) تبدیل می‌شود. این واکنش اکسیداسیون احیا نام دارد و مکانیزم آن در شکل ۶ نشان داده شده است. تحقیقات متعددی در رابطه با استفاده از خواص فوتوکاتالیستی TiO2 در زمینه‌ی نساجی انجام شده است. از سوی دیگر ZnO نیز یک کاتالیزور نوری است و مکانیزم آن مشابه TiO2 می‌باشد، تنها تفاوت در فاصله‌ی بین پیوندها در ZnO با TiO2 است (ZnO: ۳/۲Tio ، ۳۷ev: ۳/۲ev).

تکمیل ضد میکروبی

برای ایجاد خاصیت ضد میکروبی از نانوذرات نقره، دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی استفاده می‌شود. یون‌ها و ترکیبات فلزی در یک حد معین دارای اثر استریلیزاسیون هستند. همان‌طور که می‌دانیم قسمتی از اکسیژن موجود در آب یا هوا توسط کاتالیزورهای دارای یون فلزی به اکسیژن فعال تبدیل می‌شود و در نتیجه برای ایجاد اثر استریلیزاسیون مواد ارگانیک را در خود حل می‌کند. با به‌کارگیری ذراتی با ابعاد نانو، تعداد ذرات در هر واحد افزایش یافته و در نتیجه اثر ضد میکروبی ماکزیم می‌شود. نانوذرات نقره دارای سطح نسبی بسیار بالا و در



واکنش پذیر بوده و زمانی که در تماس با قارچ‌ها و باکتری‌ها قرار می‌گیرد روی متابولیسم سلولی اثر منفی گذاشته و از رشد سلول‌ها جلوگیری می‌کند، هم‌چنین مانع از تنفس، متابولیسم سیستم انتقال الکترون‌ها و انتقال جزء مورد عمل به غشای سلولی میکروبی می‌شود. علاوه بر آن نانوذرات نقره از رشد و تکثیر قارچ‌ها و باکتری‌هایی که باعث ایجاد عفونت، بو، احساس خارش و جراحت می‌شوند نیز جلوگیری می‌کنند. بنابراین نانوذرات نقره کاربرد وسیعی در جوراب‌ها دارند چون مانع از رشد باکتری‌ها می‌شوند.

این نانوذرات را هم‌چنین می‌توان در بسیاری از محصولات پزشکی نظیر باندهای مخصوص سوختگی، تاول و ... استفاده کرد. ثابت شده است که پارچه‌ی عمل شده با نانوذرات TiO_2 به علت اثر فوتوکاتالیزوری خود دارای خاصیت رنگبری لکه‌ها و مقاومت در برابر باکتری‌ها می‌باشد. نانوذرات ZnO نیز زمانی که مورد نوردهی قرار می‌گیرند خواص فوتوکاتالیزوری خوبی از خود نشان می‌دهند. به‌علاوه می‌توان برای ایجاد خواص ضد میکروبی در منسوجات نیز از این نانوذرات استفاده کرد.

• تکمیل آنتی‌استاتیک

بار استاتیکی معمولا در الیاف مصنوعی نظیر پلی‌امید و پلی‌استر ایجاد می‌شود چون جذب آب این الیاف پایین است. الیاف سلولزی دارای رطوبت محتوی بالاتر برای دفع بارهای الکتریکی هستند بنابراین بار استاتیکی در این الیاف جمع نمی‌شود. به دلیل خاصیت ضعیف آنتی‌استاتیک در الیاف مصنوعی تحقیقاتی پیرامون بهبود خواص آنتی‌استاتیک منسوجات با استفاده از تکنولوژی نانو انجام شد. از آن جایی که نانو ذرات TiO_2 ، ZnO و ATO و رسانای الکتریکی هستند بنابراین اثرات آنتی‌استاتیک خوبی از خود نشان می‌دهند. این مواد به پراکنده کردن بار استاتیکی جمع شده روی پارچه کمک می‌کنند. از سوی دیگر نانوسل سیلان خواص آنتی‌استاتیکی مواد را بهبود می‌بخشد چون ژل سیلان بر روی پارچه توسط گروه‌های آمینو و هیدروکسیل، آب و رطوبت موجود در هوا را به خود جذب می‌کند.

در تولید پوشاک آنتی‌استاتیک از تکنولوژی نانو استفاده می‌شود. نانوذراتی که دارای بار الکتریکی شده‌اند به‌طور مستمر در داخل فیبریل‌ها نگه داشته می‌شوند و یک شبکه‌ی رسانای الکتریکی ایجاد می‌کنند و بدین صورت از تشکیل مناطق قابل شارژ جلوگیری می‌نمایند. معمولا بیشترین مقدار ولتاژ در موارد آنتی‌استاتیک متداول به چشم می‌خورد. با این روش می‌توان بر محدودیت‌های روش‌های قدیمی نظیر از بین رفتن عامل آنتی‌استاتیک پس از چند بار شستشو غلبه کرد.

• تکمیل مقاومت در برابر چروک پذیری

چروک شدن هنگامی رخ می‌دهد که الیاف به‌شدت دچار تاخوردگی شوند. زمانی که الیاف یا پارچه خم می‌شود، اتصالات هیدروژنی بین زنجیره‌ی ملکولی در مناطق آمورف شکسته شده و باعث می‌شود تا زنجیرها بر روی هم بلغزند و پیوندها مجددا در مکان جدیدی تشکیل شوند و این باعث چروک شدن الیاف و یا پارچه می‌شود. در قدیم برای ایجاد خاصیت ضد چروک در پارچه از رزین‌ها استفاده می‌شد. معایب این روش عبارت بود از کاهش استحکام الیاف و مقاومت سایشی آن‌ها، کاهش جذب آب و رنگ‌پذیری و تنفس پذیری. چندان از محققان به منظور غلبه بر محدودیت‌های روش رزین، نانوذرات TiO_2 و نانوسیلیکا را به ترتیب برای بهبود مقاومت در برابر چروک‌پذیری پنبه و ابریشم به‌کار گرفتند. نانوذرات TiO_2 به همراه اسید کربوکسیلیک به‌عنوان کاتالیزور و تحت تابش اشعه‌ی فرابنفش برای تسریع واکنش‌های عرضی بین ملکول‌های سلولز و اسید به‌کار گرفتند. نانوسیلیکا به همراه آنهیدرید مالئیک به عنوان کاتالیزور استفاده شد؛ نتایج نشان داد که استفاده از نانوسیلیکا به‌همراه آنهیدرید مالئیک باعث

بهبود مقاومت ابریشم در برابر چروک پذیری می‌شود.

• تکمیل ضد گرد و غبار

کمپانی‌های اندکی در سرتاسر جهان اقدام به عرضه‌ی پارچه‌های ضد گرد و غبار کرده‌اند. با توجه به ادعاهای موجود ذراتی که ابعاد آن‌ها از 30 nm کمتر است به سطح نخ‌ها متصل می‌شوند و در نتیجه یکنواختی و صافی سطح تکمیل شده و اثر آنتی‌استاتیک آن مانع از نزدیک شدن گرد و غبار به کالا می‌شود. این امر با استفاده از پلیمری که دارای ترکیبات آنتی‌استاتیک یا رسانای جریان الکتریکی باشد ممکن می‌شود برای مثال فلورو آلکیل، پلیمرهای متاکریلات. کاربرد کالاهای تکمیل شده‌ی فوق در پوشش‌ها، بلوز، کلاه، دستکش، لباس ارتشی، تختخواب و غیره است.

• تکمیل کندکنندگی شعله

کمپانی Nyacol Nanotechnologies، پنتاکسید آنتیموان کلوییدی را برای انجام تکمیل کندکنندگی شعله بر روی منسوجات تولید کرده است. پنتاکسید آنتیموان کلوییدی به‌صورت دیسپرسیون ذرات ریز و برای ایجاد اثر هم‌افزایی با مواد هالوژنی کندکننده‌ی شعله بر روی کالا به‌کار می‌رود (نسبت هالوژن به آنتیموان از ۵:۱ تا ۲:۱ تغییر می‌کند). در جدول زیر نانوذراتی که به صورت تجاری برای مصارف نساجی کاربرد دارند آورده شده است:

کاربرد	نانوذرات
تکمیل ضد میکروبی	نانوذرات نقره
خواص هدایت مغناطیسی، گرمایش از راه دور	نانوذرات آهن
محافظت از الیاف، محافظت در برابر اشعه UV	ZnO, TiO_2
خواص محافظتی شیمیایی و بیولوژیکی، تامین عملکرد استریلیزاسیون خود به خودی	TiO_2, MgO
تکمیل دفع آب عالی	نانوذرات SiO_2 یا Al_2O_3 با پوشش PE یا PP
لباس‌های محافظ در برابر EM/IR	نانوذرات اکسید قلع-ایندیوم
افزایش مقاومت سایشی	نانوذرات سرامیک
افزایش مقاومت سایشی، مقاومت در برابر مواد شیمیایی و ایجاد هدایت الکتریکی، رنگ‌رزی بعضی از منسوجات	نانوذرات کربن سیاه
مقاومت الکتریکی، حرارتی و شیمیایی	نانوذرات خاک رس

نتیجه‌گیری

امروزه کاربردهای تجاری نانوتکنولوژی در زمینه‌های مختلف صنعت نساجی معرفی شده است. با این تکنولوژی می‌توان منسوجات را در سطح ملکولی ایجاد کرد، تغییر داد، خواص آن‌ها را بهبود بخشید و دوام و کارایی منسوجات معمولی را افزایش داد. صنایع نساجی برای ادامه‌ی این روند باید تحقیقات بیشتری را در عرصه‌ی تکنولوژی نانو انجام دهد. در راستای تغییر روند و تقاضای مشتریان، نیاز امروز تنها استفاده از تکنولوژی است. پیشرفت‌های صورت گرفته و کاربردهای روزافزون نانوتکنولوژی، نشان‌دهنده‌ی آن است که تکنولوژی فوق در آینده بر صنعت نساجی جهان حکمفرما خواهد بود.

۱. در این روش قطرات و یا ذرات بسیار ریز توسط پوششی احاطه می‌شوند تا کپسول‌های کوچک دارای خواص مفید و کاربردی شوند.

2. Ultraviolet Protection Factor

3. antimony-doped tin oxide