

## کاربردهای فناوری نانو در نساجی

حسین توانایی<sup>۱</sup>، غزال نداف<sup>۲</sup>

۱ و ۲. دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده نساجی، ghazaalnaddaf@gmail.com

### چکیده

در این مقاله با مروری بر مقالات منتشرشده در سالهای اخیر، کاربرد فناوری نانو در نساجی مورد بررسی قرار گرفته است. کاربردهای فناوری نانو در نساجی عبارتند از: ۱- تولید نانو کامپوزیت‌هایی با قابلیت تولید الیاف؛ شامل انواع پرکننده‌های مرسوم نظیر نانوالیاف و نانوذرات کربن، نانو صفحه‌های رُسی، نانوذرات اکسید فلزی. ۲- تکمیل کالاهای نساجی نیز شامل استفاده از نانو کپسول‌های حاوی مواد داخلی (payload agent) مختلف در مواد ضد قارچ یا ضد باکتری، مواد محافظ اشعه فرابنفش، استفاده از نانوذرات اثر لوتوس (lotus)، نانوذرات اکسید فلزی و نانوذرات کربن سیاه در رنگرزی است. در انتها نیز چندین شرکت فعال در این زمینه به همراه محصولات آنها معرفی شده است.

**کلمات کلیدی:** نساجی، تکمیل کالا، نانوذرات، نانو کامپوزیت، نانو کپسول‌ها، الیاف.

## ۱. مقدمه

امروزه در بسیاری از زمینه‌ها نظیر علم مواد، مکانیک، الکترونیک، نور، پزشکی، هوا فضا و غیره شاهد پیشرفت و شکوفایی فناوری نانو هستیم. با توجه به این پیشرفت می‌توان این فناوری را آغازگر خوبی برای انقلاب صنعتی دوم دانست [۴،۲،۱]. در فناوری نانو اصل بر این است که خواص مواد با کاهش اندازه آنها به نانومتر تغییر فاحشی می‌کند.

صنعت نساجی هم تحت تأثیر این فناوری قرار گرفته و تحقیقات زیادی در این مسیر در حال انجام است. عمده این تحقیقات بر مبنای استفاده از مواد در اندازه‌های نانو و ایجاد نانوساختارها در طول فرایند تولید و تکمیل پارچه است [۴،۳،۲]. برخی از نمونه‌های عملی کاربرد فناوری نانو در صنعت نساجی شامل تولید البسه ایمن و هوشمند (البسه‌ای است که بتواند در شرایط محیطی مختلف عکس‌العمل‌های لازم را داشته باشد) [۴] نظیر جوراب‌های هوشمند برای دیابتی‌ها، به‌منظور بهبود چرخش خون آنها، جوراب‌های ضد بو و لباس‌های ورزشی ضد گرد و خاک [۳]، همچنین تهیه لباس، ملحفه‌های بیمارستانی و پوشش‌های زخم ضد باکتری با استفاده از نانوذرات نقره است.

در این مقاله پیشرفت‌های اخیر فناوری نانو در صنعت نساجی در دو زمینه کلی تولید نانو کامپوزیت‌ها (نانو کامپوزیت‌ها با قابلیت تولید الیاف) و تکمیل کالای نساجی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت چندین شرکت فعال جهان در زمینه کاربرد فناوری نانو در نساجی، به همراه محصولات آنها معرفی شده است.

## ۲. کاربرد فناوری نانو در نانو کامپوزیت‌ها

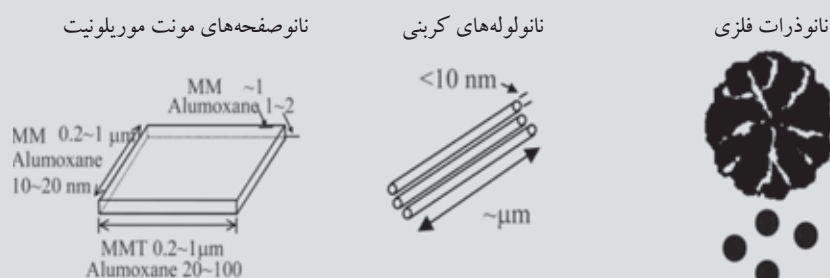
منظور از نانو کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌هایی است که در آن حداقل یک بعد از ابعاد پرکننده (طول، عرض و ارتفاع) از مرتبه نانومتر باشد. همان گونه که در شکل (۱) مشخص شده است، نانوصفحه‌های رُسی (Clay) دارای یک بعد نانومتری، نانولوله‌های کربنی دارای دو بعد و نانوذرات اکسید فلزی دارای سه بعد نانومتری هستند. چندین نوع از پرکننده‌های مرسوم نساجی در زیر آورده شده است.

**الف) نانوذرات و نانو الیاف کربن:** به دلایل مختلفی همچون افزایش استحکام، سفتی، مقاومت سایشی، مقاومت شیمیایی و هدایت الکتریکی، از نانوذرات و نانوالیاف کربن به‌عنوان پرکننده در ماتریس‌های مختلفی نظیر پلی استر، نایلون و پلی اتیلن استفاده شده است [۸]. نوع دیگری از نانوالیاف کربن با عنوان نانوالیاف گرافیتی (GNF) وجود دارد که شبیه نانولوله‌های کربنی است، با این تفاوت که این مواد لبه‌دار هستند [۹].

**ب) نانولوله‌های کربنی:** استوانه‌های توخالی با ضخامت یک اتم کربن هستند که در جلیقه‌های ضد گلوله سبک و محکم، روکش‌های ضد انفجار و منسوجات الکترونیکی کاربرد دارند [۱۰،۹،۶].

**ج) نانوذرات و نانوصفحه‌های رُسی:** نانوذرات یا نانوپوسته‌های رُسی متشکل از چندین نوع هیدروس آلومینو سیلیکات است که بر اساس ساختار شیمیایی و بلوری، انواع مختلفی از رُس‌ها را خواهیم داشت. نانوذرات رُسی دارای خواص الکتریکی، شیمیایی، حرارتی مناسب بوده و توانایی

شکل ۱. انواع پرکننده‌ها، به ترتیب از سمت چپ نانوصفحه‌های مونت موریلونیت، نانولوله‌های کربنی و نانوذرات فلزی



جدول ۱. مقایسه میزان تولید نانو کامپوزیت‌ها در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۳

۲۰۰۱	۲۰۱۳
۴ هزار تن (۱۵ میلیون دلار)	۵۰۰ هزار تن (۱ میلیارد دلار)

به‌منظور ایجاد کپسول‌های پلیمری روش‌های متعددی نظیر امولسیون آب در روغن، امولسیون روغن در آب، تورم نانوذرات پلیمری و نفوذ مواد داخلی، استفاده از دو حلال و آسیا کردن وجود دارد. به‌طور خلاصه، تهیه کپسول‌ها بدین ترتیب است که منومرها، الیگومرها یا پلیمرها دور از ماده درونی قرار گرفته و پلیمریزه می‌شوند و در برخی موارد هم پلیمر مستقیماً به ماده درونی متصل می‌شود.

معمولاً منومرها یا پلیمرهای کاربردی شامل گروه‌های آمین یا هیدروکسیل یا سولفو هیدرید هالو آلکیل هستند؛ از طرف دیگر مواد فعالی نظیر مواد حاوی گروه‌های کربوکسیل با ایجاد حلقه‌های انیدریدی باعث اتصال نانو کپسول‌ها به پارچه خواهند شد. به‌منظور قرار دادن نانو کپسول‌ها بر سطح پارچه، از روش‌های مختلفی نظیر غوطه‌وری (Soaking)، پاشش (Spraying)، فروبردن (Dipping) و پد کردن (Padding) استفاده می‌شود.

مزایای این کپسول‌ها در مقایسه با کاربرد مستقیم مواد بر تکمیل پارچه عبارتند از:

- ثبات در شستشوی بالا؛
- بی‌نیاز بودن از عملیات شیمیایی مستقیم بر سطح مواد تکمیلی؛
- امکان آزادسازی کنترل‌شده (در این حالت مواد داخلی در شبکه پلیمری محبوس شده، شیمی شبکه پلیمری میزان آزادسازی را مشخص می‌کند)؛
- تماس نداشتن مواد تکمیلی با پوست به‌طور مستقیم؛
- تولید منسوجات هوشمند (در این موارد از پلیمرهای هوشمند نظیر ایزوپروپیل اکریل آمید و الیگومرهای پلی اتیلن اورتان استفاده می‌شود).

بلوکه کردن نور UV را نیز دارند و در نتیجه کامپوزیت‌های حاوی این نانوذرات رُسی، خواص ضد شعله، ضد UV و ضد فرسودگی خوبی را از خود نشان می‌دهند.

نانوذرات مونت موریلونیت، یکی از معروف‌ترین انواع رُسی است که تاکنون به‌عنوان بلوکه‌کننده نور در الیاف نایلون، بهبوددهنده خواص رنگ‌پذیری نایلون‌ها و پلی پروپیلن، ایجاد خواص ضد آتش و بهبود خواص مکانیکی پلی اولفین‌ها به کاررفته و نتایج خوبی را نشان داده است [۳]. یک گروه تحقیقاتی در دانشگاه اسکاتلند فرمول جدیدی از فوم پلی اورتان (این مواد در بسیاری از میلمان به‌عنوان بخش نرم یا تشک آنها به کار می‌رود) حاوی نانوذرات کلی را کشف کرده‌اند که نسبت به فوم‌های ضد آتش مرسوم کمتر سمی بوده و سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند [۳].

نانوذرات اکسید فلزی نظیر  $TiO_2$ ،  $Al_2O_3$ ،  $MgO$  و  $ZnO$  خواص فتوکاتالیستی، هدایت الکتریکی و جذب امواج ماورای بنفش خوبی را از خود نشان می‌دهند. این نمونه‌ها مخصوصاً دی اکسید تیتانیوم، توانایی اکسیداسیون نوری نمونه‌های شیمیایی و بیولوژیکی را دارند. به همین دلیل اخیراً تحقیقات گسترده‌ای در زمینه خواص ضد باکتری و خودتمیزشوندگی این نانوذرات، در لباس‌های نظامی انجام شده است [۱].

جدول (۱) میزان پیشرفت نانو کامپوزیت‌ها را از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ نشان می‌دهد [۶].

### ۳. کاربرد فناوری نانو در تکمیل کالای نساجی

#### ۱-۳. استفاده از نانو کپسول‌ها

کپسول پلیمری یک پوسته پلیمری حاوی مواد داخلی یا یک شبکه سه‌بعدی محبوس‌کننده مواد و یا یک پوشش سطح فعال است. مواد داخلی (موادی که خواص تکمیلی مناسب را به پارچه بدهند) می‌توانند مواد خوشبوکننده نظیر Citronellol، انعکاس‌دهنده نظیر میکا، جاذب امواج ماورای بنفش نظیر اکسیدهای آهن، روی و تیتانیوم، ضد قارچ و میکروب نظیر نیترا نقره باشند.

### ۲-۳. کاربرد نانوذرات در تکمیل کالای نساجی

#### ۱-۲-۳. ایجاد اثر خودتمیزشوندگی یا پدیده لوتوس

طبیعت با به کارگیری علوم فیزیک و شیمی توانسته است سطوح دافع آب فوق العاده‌ای را ایجاد کند؛ به همین دلیل برگ‌های برخی از گیاهان (مثل نیلوفر آبی یا همان لوتوس)، پوست سوسک و بال حشرات همیشه تمیز باقی می‌ماند. با عکس برداری از پوست این گیاهان مشخص شد که تعداد زیادی از ذرات برجسته بسیار ریزی سطح این برگ‌ها را پوشانده‌اند (شکل ۲). از این ایده برای ایجاد پارچه‌هایی با قابلیت خودتمیزشوندگی استفاده شد. در ساخت الیاف لوتوس دو مطلب را باید در نظر گرفت:

الف) الیاف باید انرژی سطحی کمی داشته باشند؛

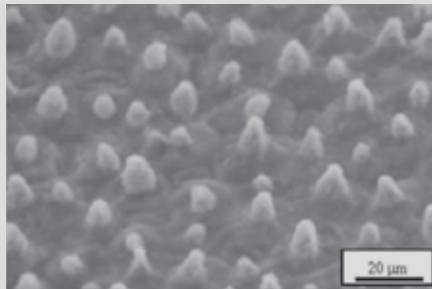
ب) ناهمواری زیادی باید روی سطح ایجاد شده باشد.

به منظور تهیه پارچه‌های خودتمیزکننده بدین ترتیب عمل می‌شود که یک پلیمر فعال نظیر پلی استایرن را بر روی سطح قرار می‌دهیم؛ به طوری که این پلیمر هم با سطح الیاف و هم با نانوذرات واکنش دهد، سپس نانوذرات را به سطح افزوده (مثلاً نانوذرات نقره) سپس یک لایه پلیمری آب‌گریز نظیر اولفین‌ها را روی سطح قرار می‌دهیم (شکل ۳).

#### ۲-۲-۳. استفاده از نانوذرات اکسید فلزی

از نانوذرات اکسید فلزی می‌توان به عنوان نانوپرکننده در نانوکامپوزیت‌هایی با قابلیت تولید الیاف استفاده کرد. علاوه بر این، نانوذرات اکسید فلزی می‌توانند به صورت یک

شکل ۲. تصویر از برگ گیاه نیلوفر آبی



ماده تکمیلی روی سطح پارچه قرار گرفته و همان خواص ضد باکتری، جاذب UV و غیره را ایجاد کنند. ساز و کار چسباندن نانوذرات به سطح باید به گونه‌ای باشد که پوشش یکنواخت و محکمی از نانوذرات را بر سطح تشکیل دهد و علاوه بر آن، تمامی سطح جذب‌کننده نانوذره اشغال نشود.

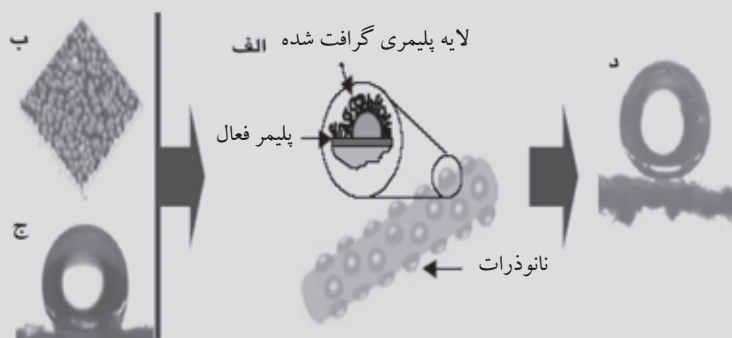
روش پوشش‌دهی اسکوییز (Squeeze coating) و روش پوشش‌دهی الکتروستاتیکی بدین منظور مناسب‌اند. در روش اول با استفاده از چسب، سطح ماده پوشانده شده و مقدار اضافی آن از طریق دمش، از سطح پارچه برداشته می‌شود و پس از آن نانوذرات تدریجاً روی سطح پاشیده شده و در نهایت چسب پخته می‌شود.

در روش دوم، نانوذرات در معرض یک میدان باردار الکتریکی قرار گرفته و بدین ترتیب قرار گرفتن ذرات بر سطح پارچه را آسان‌تر می‌کند، سپس ذرات بر روی سطح تثبیت می‌شوند.

پوشش‌های حاوی نانوذرات اکسید فلزی در مقایسه با

شکل ۳. نحوه تهیه سطح خودتمیزشونده.

الف) سطح خودتمیزشونده شامل پلیمر فعال و نانوذرات و لایه پلیمری گرافت‌شده، ب) نمای دور از سطح ناهموار، ج) قطره آب بر سطح پوش داده‌شده با پلیمر فعال، د) قطره آب بر سطح نهایی حاوی نانوذرات.





#### ۴. نانولایه‌های خودآرا

نانولایه خودآرا (Self-assembled nanolayers) یک رقیب جدی برای پوشش‌های نساجی مرسوم به شمار می‌آید. منظور از خودآرایی در فراوری و ساخت مواد، تمایل برخی از مواد به سازمان‌دهی خود به صورت آرایه‌های منظم است. این راهکارها وسیله‌ای برای دستیابی به مواد ساختار یافته «از پایین به بالا» است. تحقیقات در این زمینه مراحل اولیه را طی می‌کند [۳].

در روش خودآرایی مولکول‌های شیمیایی هدف، لایه‌ای را با ضخامت کمتر از نانومتر بر روی سطح منسوجات ایجاد کرده و لایه‌های اضافی بر روی سطح لایه اولیه قرار می‌گیرند و بدین ترتیب یک ساختار نانولایه‌ای ایجاد می‌شود.

روش‌های مختلفی در ایجاد این نانولایه‌ها پیشنهاد شده‌است؛ یکی از این روش‌ها استفاده از جذب الکتروستاتیکی برای ایجاد نانولایه‌ها بر سطح منسوجات، به منظور به دست آوردن خواص محافظتی یا بهداشتی است. مخصوصاً این روش به دلیل کنترل دقیق بر ضخامت، همگن بودن و ترتیب لایه‌ها به وسیله کنترل معماری مولکول‌ها و نیروهای استاتیکی، مطلوب است.

فرایند خودآرایی بدین ترتیب انجام می‌شود که یک سطح باردار در یک محلول پلی‌الکترولیت با بار مخالف قرار گرفته و مقدار ماده جذب شده با چگالی بار روی زمینه کنترل می‌شود و پس از آن مقدار اضافی پلیمر چسبیده به سطح، با یک شستشوی ساده در یک محلول خنثی تحت شرایط مناسب جدا می‌شود [۴].

پوشش‌های محافظ مرسوم (که حاوی کربن فعال هستند) مزایایی نظیر سبک و ارزان بودن، سم‌زدایی علاوه بر محافظت و مدت زمان استفاده نامحدود را دارند. امروزه در بسیاری از تی‌شرت‌ها و جوراب‌ها از نانوذرات  $TiO_2$  استفاده می‌شود.  $TiO_2$  با جذب امواج ماورای بنفش از نور خورشید و نشان دادن خواص فوتوکاتالیستی باعث کشته شدن میکروب‌ها می‌شوند [۱۵].

#### ۳-۲-۳. رنگرزی منسوجات با نانوذرات کربن

یکی از کاربردهای فناوری نانو در نساجی، کاربرد مستقیم نانوذرات رنگدانه (پیگمنت) در رنگرزی منسوجات است. چنین رنگرزی هنگامی عملی است که نانوذرات در حمام رنگرزی کاملاً پراکنده شده و تراکم نداشته باشیم. نشان داده شده‌است که نانوذرات کربن سیاه با اندازه معمولی ۸ نانومتر می‌توانند به آهستگی پلی‌استر و اکریلیک را در دماهایی بالاتر از دمای ذوب شیشه ( $t_g$ ) تحت شرایط معمول، رنگرزی کنند. در رنگرزی پنبه، پشم، نایلون و اکریلیک، توزیع مناسب نانوذرات در محیط آبی و جذب آنها بر روی سطح الیاف دو نکته کلیدی هستند. به منظور جلوگیری از تراکم رنگ‌ها در محیط آب‌دوست، باید توانایی توزیع نانوذرات را بالا برد؛ لذا عملیات اکسیداسیون برای ایجاد گروه‌های کربوکسیلیک روی سطح نانوذرات کربن سیاه انجام می‌شود. بدین منظور پودر نانوذرات کربن سیاه با اسید نیتریک مخلوط و در مدت زمان مشخصی گرما داده می‌شود، سپس مخلوط سانتریفیوژ شده و نانوذرات از پراکنده جدا می‌گردد و پس از خشک شدن در فرایند رنگرزی معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵. شرکت‌های معتبر در زمینه تهیه و کاربرد فناوری نانو در صنعت نساجی

شرکت‌های مختلفی نظیر نانو فینیش (Nano-finish)، نانو فابریک (Nano-fabric)، نانو واشینگ (Nano-washing)، نانو اسکیل (Nano-skill) در زمینه کاربرد و تهیه نانو در صنعت نساجی فعال هستند؛ ولی شرکت نانو تکس اولین و در حال حاضر یکی از معتبرترین شرکت‌های سازنده نانومواد برای صنعت نساجی است. این شرکت تا به حال محصولات مختلفی با نام‌های تجاری Nano-Care (پارچه‌های کتانی و پنبه‌ای با خواص ضد چروک، ضد آبرفتگی، ضد آب و ضد لک)، Nano-Pel (تکمیل ضد آب و ضد روغن فوق‌العاده پایدار)، Nano-Dry (تکمیل آب‌دوست پایدار) و ano-touch (الیاف مصنوعی با پوسته و ظاهر شبیه الیاف طبیعی) را ارائه داده است.

## ۶. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی مزایای استفاده از نانوذرات در تکمیل کالای نساجی عبارتند از:

(۱) ثبات در شستشوی بالا؛

(۲) کاربرد ساده و مستقیم مواد بر روی کالای نساجی، به عبارت دیگر نیازی به عملیات پیچیده و وقت‌گیر شیمیایی نبوده و به دنبال آن ضایعات کمتری تولید می‌شود؛

(۳) نانومواد قابل تجزیه زیستی بوده و در نتیجه به چرخه طبیعت بازمی‌گردند؛

(۴) این مواد غیر سمی هستند، یعنی در مقایسه با مواد تکمیلی دیگر نظیر ترکیبات هالوژن‌دار، ایجاد خارش و حساسیت پوستی نمی‌کند؛

(۵) در صورت استفاده از این مواد پارچه خواص تنفسی خود را از دست نمی‌دهند، یعنی بدن انسان احساس خفگی یا ناراحتی در پوشش (بر خلاف برخی از تکمیل‌های مرسوم) ندارد.

لازم به ذکر است در کنار مزایای مذکور، استفاده از نانوذرات در تکمیل کالای نساجی معایبی نیز دارد که

عبارتند از:

(۱) اثرات ناشناخته این نانوذرات بر سلامت انسان، با توجه به اینکه نانوذرات در هر سه بعد، نانومتری هستند، در نتیجه از کلیه وسایل محافظتی نظیر ماسک، دستکش عبور خواهند کرد [۱۰].

(۲) هم‌اکنون، استفاده از فناوری نانو در مقایسه با روش‌های مرسوم، گران‌تر است که البته امید است با پیشرفت این فناوری و کاربرد بیشتر آن این مشکل نیز برطرف گردد.

## منابع

- ۱- نداف، غزال و توانایی، حسین؛ "کاربرد نانوذرات و نانوکپسول‌ها در تکمیل کالای نساجی" سمینار کارشناسی ارشد مهندس نساجی و علوم الیاف، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۴
- 2- L. Qian, J. Hinestroza, journal of textile and apparel technology
- 3- <http://www.nano.ir>
- 4- h. watt "nanotechnology in textiles,"inneurotex , 12-14 march 2005
- 5- L. lec, C. zengt, X. cao , X. ham, J. shen, G. xu, composite science and technology 65 , 2344-2363 , 2005
- 6- NT network presentation "Nanotechnology for present and future markets ", November 2005
- 7- Y. kim, A. lewis, S. warner, P. Parta, P. calvert, NTC project: moo – moo8 , November 2002
- 8- J. kim, D. Reneker, polymer composites , Vol. 20, 12-131, 1999.
- 9- N. jalili, NTC projecr: mo3-oo , November 2003
- 10- L. Rejnnders, journal of cleaner production, 2005
- 11- Q. Fan, S. ugbolue, A. Wilson, Y. Dar, Y. Yong, NTC project: CO 1-MD 20 , 2003 , 2004 , 2005
- 12- L. Raza fimahefa, S. Chlebicki, I. Vroman, E. Devaux, Dyes and pigments , 66 , 55-60, 2005
- 13- W. gionanni, G. Perfrara, G. pellegati, R. Perira, present situation and forecasts of Nanotechnology in: materials , health and medical systems , energy , Italy, November 4-5 , 2005
- 14) R. wahi, W. yu, Y. liu, Journal of molecular catalysis A: chemical 242 , 48-56, 2005
- 15- Hartley, holly Axtell gentex corporation, O. Koper, K. Klabunde, Nanoscale materials, manhatton , ks66502
- 16- J. soane, united state patent , 2003
- 17- H. Planck, T. stegmaier, V. Arnim, Inshitut for textile.