نانو تکنولوژی

کاربـــرد نانـــوتکنولـــوژی در منسوجات با کارآیی بالا

ترجمه: نرگس غلامپور سیگارودی* علیرضا نیکوکار**

چکیده

این مقاله خلاصه ای از پیشـرفت های اخیر نانوتکنولوژی در زمینه منسـوجات شامل شکل گیری وتکمیل آن‌ها می‌باشد. جزئیات در مـورد دو جنبـه مهم فنی، اسـتفاده از مواد نانوسـایز و بـکار بردن روش های خاص برای ایجاد سـاختارهای نانوسـایز در مواد تشکیل‌دهنده منسوجات ، به تفصیل بیان خواهد شد.

تعدادی از پرکننده‌های نانوسایز و نتیجه عملکرد آنها مورد بررسی قرار گرفته است. به ویژه ، مونتاژ لایه های نانو، که مبحث جدید در پوشـش‌دهی سطوح می باشد، ارائه شده اسـت. در پایان به پیشرفت های آتی نانوتکنولوژی برای منسوجات هوشمند پرداخته شده است.

مقدمه

نانوتکنولـوژی یـک فنـاوری میان رشـته ای در حـال شـکل گیـری اسـت که طـی دهه اخیـر در زمینـه هـای مختلـف از جملـه علـم مـواد، مکانیک،الکترونیـک، اپتیـک، پزشکی،پلاستیک،انرژی و هوافضا در حال رشد و توسعه بوده است.

تاثیـر اجتماعی عمده آن به عنوان یک حرکت عظیم، انقلاب صنعتـی دیگری رابوجود آورده است.

نانـو در نانوتکنولوژی از لغت یونانی (nanos) به معنی کوتوله گرفته شـده است. دانشمندان این پیشـوند را برای نشان دادن یک میلیاردم بکار می برند.

یک نانومتر برابر اسـت با یـک میلیاردیوم متر که حدود ۱۰۰ هزار بـار کوچک تر از قطر تار موی انسان است.

هدف فعالیتهای نانـو تکنولوژی،هدایت اتم‌ها، مولکـول هـا و ذرات نانوسـایز به یک شـیوه دقیق وهدایت شـده برای سـاخت مـوادی با یک سازماندهی بنیادی جدید و خواص جدید می‌باشـد. اسـاس نانوتکنولوژی بر پایه "مونتاژ اتمی " می باشـد که اولین بار در سـال ۱۹۵۹ توسـط فیزیکدانی بنام ریچـارد فاینمن بطور علنی بیـان شـد. نانوتکنولوژی یـک فناوری بی‌پایان شـناخته می شـود کـه از طریق این فناوری مواد حجیم را می توان به شکل قطعات کوچکی درآورد. ایـن روش متفاوت با فناوری سـاختاری سـنتی می باشـد. بنابرایـن مواد به دسـت آمده دارای معایـب کمتر و کیفیت بالاتری هستند.

اساس نانوتکنولوژی بر این حقیقت استوار است کـه خواص مواد در هنگامی کـه اندازه آنها به حد نانومتر می رسـد به طور چشمگیری تغییر می یابد. وقتی یک ماده حجیم، به ذرات دارای انـدازه کوچک و با دارا بـودن یک یا چند بعد (طول، عرض،یا ضخامت) در مقیاس نانومتر یا حتی کوچک تر تقسـیم می شود، ذرات مجزا خواصی را از خود نشان می دهند که با خواص ماده حجیم متفاوت می باشد.

مـی دانیـم که اتـم هـا و مولکول هـا دارای عملکردهای متفاوتی نسـبت بـه ماده حجیم هسـتند در حالـی که خـواص ذرات اتم های مجـزا با روش هـای مکانیـک کوانتومی قابل توصیف هسـتند، خواص ماده حجیم از طریق

مکانیک کلاسیک کنترل می شود.
میان این دو حوزه مجزا ،محدوده نانومتر برای گـذار از رفتار ماده ،آسـتانه نامطمئنی خواهد بود . به عنوان مثال ، سـرامیک ها که معمولا شکننده هستند، هنگامی که اندازه ذراتشان در حوزه نانومتر کاهش یابد به آسـانی قابل تغییر شکل می‌شـوند . یک ذره طلا با اندازه ۱ nm رنگ قرمز را نشـان می دهد.علاوه بر این یک مقـدار جزئی از گونه های نانوسـایز می توانند در شـبکه‌ی پلیمری که معمـولا دارای اندازه یکسـانی هسـتند تداخل ایجاد کنند. نتایج به دسـت آمده از سیستم در این سطح بی سابقه است.
دلایل ذکر شـده نشـان دهنده این اسـت که چرا نانوتکنولوژی توانسـته است مقادیر عظیم سرمایه‌های مراکز فعالیتهای تحقیقاتی و توجه رسانه ها را به خود جلب کند.
صنعت نسـاجی تحت تاثیر نانو تکنولوژی قرار گرفته اسـت . تحقیقات انجام شـده در مورد نانوتکنولـوژی بـرای بهبود عملکـرد یا ایجاد کارکرد جدید مواد نسـاجی بسـیار گسـترش یافته است. اساسـاً این تحقیقات بر استفاده از مواد نانوسـایز و ایجاد ساختارهای نانو در طی فرآیند تولید و پرداخت متمرکز گردیده است.

نانوتکنولوژی در تولید الیاف کامپوزیت

الیـاف کامپوزیـت نانوسـاختار در حـوزه‌ای قـرار می‌گیـرد کـه نانوتکنولـوژی در آن در حال پیشـرفت تدریجی می باشـد. در حالیکه بسـیاری از کاربردهـای دیگر هنـوز نیازمند تلاشهای زیادی برای رسیدن به نتیجه مطلوب اسـت. الیـاف کامپوزیـت ، از پرکننـده های نانوسـایز همانند ذرات نانو(خاک رس،اکسـید فلزات،دوده کربن) و نانو الیاف گرافیت (GNF) و نانو لوله‌های کربن(CNT) تشـکیل می‌شود. از این گذشـته ، الیاف کامپوزیت نانوسـاختار به جای اسـتفاده از پرکن‌های نانوسایز درطی فرآیند تولید کف، ایجاد می شوند .
عملکـرد مهم پرکن‌هـای نانوسـایز ، افزایش اسـتحکام مکانیکی و بهبود خـواص فیزیکی مانند عملکردهای رسـانایی و ضد الکتریسیته سـاکن می باشـد. این نانو پرکن هـا به دلیل سـطح وسـیع آنها، با ماتریکس پلیمری تاثیر متقابل بهتری دارد . از آنجایی که این پرکن‌ها در حوزه نانومتری قرار دارند با حرکت زنجیری پلیمر تداخل خواهند داشت و بنابراین تحرک زنجیری را کاهش می دهند.چون نانوذرات در ماتریکس پلیمری به طـور یکنواخت پراکنده شـده اند می توانند مقدار استقامت و مقاومت در برابر ساییدگی را افزایش دهند.
نانوالیاف می توانند فشار را از ماتریکس پلیمری انتقال دهند و استحکام کششی الیاف کامپوزیت را بـالا ببرند.عملکردهای فیزیکی و شـیمیایی دیگری که به الیاف کامپوزیت داده شـده است با خواص مشخص نانو پرکن‌های مورد استفاده تغییر می یابد. انتشار نانوپرکن‌ها در ماتریکس پلیمری در روشهای مکانیکی و شیمیایی یکی از جنبـه های مهمی اسـت کـه باعث کیفیت بالای الیاف کامپوزیت نانوساختارمی شود.
اگـر چه برخی از ذرات پرکن مانند خاک رس، اکسـید فلـزات و دوده کربن پیـش از این نیز بـه عنوان پرکن های میکرو در مواد کامپوزیت برای چند دهه مورد اسـتفاده قرار می گرفت ، کاهش اندازه آنها در حد نانومتر باعث افزایش عملکرد شده است.

نانوالیاف کربنی و نانوذرات کربنی

نانوالیـاف کربنـی و نانـوذرات دوده کربـن از پرمصرف ترین مواد پرکننده نانوسایز محسوب می شوند. نانو الیاف کربنی به طور موثر استحکام کششی الیاف کامپوزیت را افزایش می دهد، هر دوی این مواد دارای مقاومت شـیمیایی بالا و رسانایی الکتریکی قابل ملاحظه‌ای می باشند. تعدادی از الیاف پلیمری سـاخته شـده مورد اسـتفاده، مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته اند که از آن جمله می توان به پلی استر ، نایلون و پلی اتیلن با وزن پرکننده از ۰.۵٪ تا ۲۰٪ اشـاره کرد.

نانو ذرات رس

نانـوذرات رس از چندیـن گونـه از آلومینیوم سیلیکات های آبدار تشکیل می‌شوند . هر گونه از آنها در ترکیب شـیمیایی و سـاختار بلوری بـا بقیه متفاوت اسـت . نانـوذرات رس دارای مقاومت الکتریکی ، گرمایی و شیمیایی هستند و مـی توانند مانع ورود پرتو UV شـوند و در برابر فرسایش نیز مقاوم می‌باشند.
بـه عنوان مثـال، نانوذرات مونـت موریلونیت یکـی از متداول تریـن رس ها می باشـدکه در الیاف کامپوزیت نایلون به عنوان سـد پرتو UV بکار گرفته شده است . رس با کسرجرمی تنهـا ۰.۵٪ ،باعـث تغییـر در خـواص مکانیکی مانند افزایش ۴۰ درصدی اسـتحکام کششـی، ۶۸درصـدی ضریـب کشسـانی و ۶۰درصدی استحکام خمشی و ۱۲۶درصدی مدول خمشی می‌شود.

شمای یک نانوسیلیکات کامپوزیت

به علاوه دمـای واپیچش گرمایـی(HDT) از ۶۵ درجه سـانتیگراد به ۱۵۲ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. ذرات رس نانوسایز به طور متناوب و با تراکم زیاد مرتب شده اند، بنابراین مواد کامپوزیت دارای عملکرد ضد آبی، ضدمواد شیمیایی و ضدگونه های مضر دیگر می‌باشند. عملکرد دیگر نانـوذرات رس ایجاد محل های جذب رنگ و فضایی برای بازداری از نگهداری رنـگ در الیاف پلی پروپرین می باشـد که به دلیل فشـردگی سـاختاری و فقـدان مناطق جذب رنگ به عنوان الیاف رنگ ناپذیر شناخته می‌شوند.
نانوذرات مونت موریلونیـت در مجاورت نمک آمونیوم تغییر یافته و سپس ، پیش از آنکه نمک آمونیوم بتواندازآن خارج شـود با پلی‌پروپرین مخلوط می شـوند . در نتیجه پلـی پرو پرین بـا نانوذرات رس و با درصد وزنی ۰.۵٪ بوسـیله رنگ های افشـانه ای و رنگ های اسیدی قابل رنگ‌آمیزی هستند.

نانو ذرات اکسید فلز

ذرات نانوسـایز ZnO، Al_2O_3، TiO_2 و MgO یک گروه از اکسـیدهای فلزی هستند کـه دارای توانایـی فوتوکاتالیـزی ، رسـانایی الکتریکـی، جذب پرتوUV و فوتو اکسایشـی در مقابلـه با گونه های شـیمیایی و زیسـتی می‌باشند.
تحقیقـات فشـرده و عمیـق انجـام گرفته بر روی نانوذرات اکسـید فلـزات بر روی عملکرد ضدمیکروبی ، آلودگی زدایی و جلوگیری ازورود پرتـو UV در زمینه تجهیزات حفاظتی نظامی

و همچنین لوازم بهداشتی افراد غیر نظامی متمرکز شده است. الیاف نایلون که با نانو ذرات ZnO پر شده است، می توانند در برابر ورود پرتو UV به عنوان محافظ عمل کنند و الکتریسیته ساکن الیاف نایلون را کاهش دهند. الیاف کامپوزیت دارای نانو ذراتTi_2O_3/MgO می توانند عملکرد خوداستریل سازی داشته باشند.

نانو لوله های کربنی

در حال حاضر نانو لوله های کربنی(CNT) یکی از قالب های ساختاری مناسب می باشند. استحکام بالاتر و رسانایی الکتریکی زیاد آن با نانو الیاف کربنی قابل مقایسه نیست. نانولوله های کربنی از پوسته های کوچک گرافیتی تشکیل شده است که در درون یک لوله پیچیده شده‌اند. نانو لوله‌های کربن دارای استحکام کششی معادل ۱۰۰ برابر فولاد با یک ششم وزن می باشد. رسانایی گرمایی آن از همه و حتی خالص ترین الماس ها بیشتر است. رسانایی الکتریکی آن مشابه مس است اما این توانایی را دارد که جریان الکتریکی بیشتری را منتقل سازد . به نظر می رسدکه نانو لوله های کربنی یک ماده بسیار اعجاب‌انگیز هستند.

معمولا نانو لوله های کربنی به دو نوع نانوذرات کربنی یک دیواره(SWNT) و نانو ذرات کربنی چند دیواره (MWNT)تقسیم بندی می شوند. کاربردهای بالقوه نانو لوله های کربنی شامل تولید الیاف کامپوزیت رسانا و با استحکام بالا ، ابزارهای ذخیره و تبدیل انرژی و حسگرها است.

یکی از نمونه های موفق الیاف کامپوزیت نانو لوله کربنی،SWNT - الیاف پلی وینیل الکل با الیافی با قطر میکرومتر است که با استفاده از فرآیند چرخان انعقادی۱۴ به وجود می‌آید . سختی و استحکام این الیاف نسبت به سیم‌های فولادی با وزن و طول یکسان دو برابر ومقاومت آن‌ها ۲۰ برابر است. به علاوه استقامت الیاف می تواند ۴ برابر الیاف ابریشم و ۱۷ برابر الیاف کولار۱۵که در جلیقه های ضد گلوله مورد استفاده قرار می‌گیرد، باشد. بنابراین این گونه از الیاف دارای کاربردهای بالقوه در کمربندهای ایمنی، پتوهای ضد انفجار و سپر الکترومغناطیسی می‌باشد. تحقیقات دیگری که برروی الیاف نانو لوله‌های کربنی انجام می‌گیرد در رابطه با مطالعه قالب‌های الیاف پلیمری مختلف مانند پلی‌متیل متا آکریلات(PMMA)، پلی آکریلو نیتریل (PNA) وهمچنین انتشار و جهت یابی نانو لوله‌های کربنی است.

ساختارهای نانو سلولی موجود در کف

به کارگیری پرکن های نانوسایز یکی از متداولترین روش ها برای تولید الیاف کامپوزیت نانوساختار می باشد. روش دیگر، ایجاد ساختارهای سلولی نانوسایز در ماتریکس پلیمر است.

شمایی از اکستروژن مایع فوق بحرانی الیاف نانو سلولی

یک مقدار معین از تخلخل نانوسایز در مواد باعث ویژگیهایی مانند وزن کم، عایق بندی حرارتی مناسب و مقاومت بالا در برابرترک خوردگی می‌شود بدون اینکه از استحکام مکانیکی آن کم شود. یک کارکرد بالقوه ساختار سلولی گنجاندن مولفه‌های مفید در درون سلولهای نانوسایز است.

یکی از این روش ها ، به کارگیری استحکام ترمودینامیکی برای تولید مواد نانوسلولی است. از مقدار مشخص CO_2 فوق بحرانی برای متناسب کردن غلظت یک پلیمر مذاب استفاده می شود. وارد کردن CO_2 در پلیمر مذاب بر حجم پلیمر می افزاید البته در صورتیکه فشار وارده بر سیستم ناگهان کاهش یابد. سپس هنگامی که دما به زیر دمای جامد شدن شبکه‌ی پلیمر سقوط می کند نانوحباب‌ها در داخل پلیمر به دام می افتند. تخلخل در کامپوزیت نهایی حدود۲۰-۱۰nm خواهد بود.

برای اینکه اندازه منافذ درحدود اندازه نانومتری باقی بماند ، باید تلاشهای زیادی برای کنترل ترمودینامیکی فرآیند کف سازی صورت گیرد. الیاف نانوسلولی حاصله می تواند به عنوان الیاف کامپوزیت دارای کیفیت بالا در ساخت لوازم ورزشی و هوا و فضا استفاده شود.

نانوتکنولوژی در تکمیل منسوجات

تاثیر نانوتکنولوژی در زمینه تکمیل منسوجات باعث ایجاد روش های تکمیل و همچنین روش‌های کاربردی جدیدی شده است. برای اینکه مراحل پرداخت پایانی به صورت کنترل شده تر و دقیق تری انجام گیرد دقت زیادی انجام شده است. در حالت مطلوب ، می‌توان با روش‌های ترمودینامیکی،الکترو استاتیکی و سایر روش‌های فنی مولکولهای مجزا یا نانوذرات فرآیند تکمیل را به صورت جداگانه و با آرایش یافتگی و مسیر مشخص در محل های مشخص شده بر روی مواد اولیه‌ی منسوجات قرار داد.

بهینه سازی مراحل پرداخت شیمیایی و عملکردهای حاصل

نانوتکنولوژی نه تنها در ساخت الیاف کامپوزیت موجود در نساجی مورد استفاده قرار گرفته است بلکه در بهینه سازی شیمیایی مراحل پرداخت نیز موثر می باشد.

یکی از روش ها درفرآیند تولید، ایجاد امولسیون‌سازی در مقیاس نانو می باشد که باعث می‌شود مراحل تکمیل مواد تشکیل دهنده بافت به شیوه های دقیق تر و کامل‌تری انجام گیرد.

این روش های تکمیلی پیشرفته باعث ایجاد کارایی‌های غیر منتظره‌ای در منسوجات

می‌شـوند نظیر ضد لک بـودن و غیره. از فوائد دیگر این روش‌های تکمیلی ایجاد ویژگی های آب دوستی، ضد الکتریسیته ساکن، ضد چروک و ضد انقباضی مواد می باشد.

نانو ذرات در مرحله تکمیل

نانوذراتی چون اکسـید فلزات و سـرامیک نیز در مراحل تکمیل منسـوجات به کار می روند . ذرات نانوسایز دارای سطح زیادی بوده و بنابراین نسبت به ذرات دارای اندازه بزرگتر بازده بیشـتری دارند. گذشـته از این ، ذرات نانوسایز شـفاف هستند و رنگ و شـفافیت اجزا تشـکیل دهند بافت را کدر نمـی کنند . با ایـن وجود ممانعت از انباشـتگی نانوذرات مـی تواند باعث ایجـاد عملکرد مطلوب آن‌ها شود.

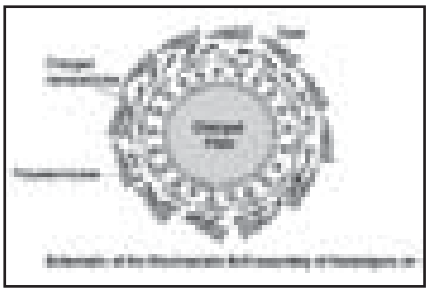
بـه عنـوان مثـال پارچـه ای که بـا نانـوذرات MgO,TiO_2 تولید شده اسـت جانشین الیافی شده که دارای کربن فعال می باشند و در گذشته به عنـوان مواد محافـظ بیولوژیکی و شـیمیایی کاربرد داشـته اند. فعالیت فوتوکاتالیزی نانوذرات MgO,TiO_2 می‌تواند عوامل شـیمیایی سمی و عوامل مضر بیولوژیکی را از بین ببرد. این نانوذرات می توانند برای محافظت اجزا تشکیل دهنده بافت از طریق پوشـش رنگ های اسـپری با روش های الکترواستاتیک طراحی شوند.

پرداخـت بافت ها با نانوذرات می تواند الیاف را به مواد پایه حسـگر تبدیل کند. اگر ذرات سرامیک به منسوجات افزوده شود، الیاف حاصله می توانند نیروهای مکانیکی به کار رفته را به سـیگنال های الکتریکـی تبدیل کننـد در این صـورت کنترل عملکردهـای بـدن مانند ضربان قلـب و نبض در صورتـی که این الیاف بر روی پوسـت قرار گرفته باشند، قابل اجرا خواهد بود.

خود مونتاژی نانولایه ها

پوشـش نانولایـه هـای ایجاد شـده توسـط خود نانولایه‌ها (SAN) تلاشـی اسـت بـرای جایگزینی روشهای قدیمی تحقیقات در این زمینه که هنوز در مراحل اولیه قرار دارد. در روش پوشش نانولایه‌های ایجاد شده توسط خود نانولایه ها (SAN)مولکولهای شیمیایی مورد نظر لایه ای را که ضخامت آن کمتر از نانومتر سـطح مواد بافت می باشد ایجاد می کند. لایـه های دیگر نیز بر روی لایـه های زیرین ایجاد می‌شود که باعث ایجاد ساختار نانو لایه ای می شود. روش مذکور به این دلیل مورد بررسی قرار گرفته تا بتواند ویژگی های خاص را به مواد تشـکیل دهنده منسوجات اضافه کند.

یکـی از روش هـای تکنیکـی اسـتفاده از جذب الکترواسـتاتیک در پوشـش نانو لایه هـا در مواد تشکیل‌دهنده‌بافت‌برای‌فراهم‌شدن‌عملکرد‌حفاظتی و بهبودبخشی می باشد. روش الکترواستاتیک که به بررسی ضخامت، یکپارچگی و تسلسل این لایه‌ها می پردازد می تواند از طریق کنترل سـاختار مولکولی، خودترکیبی و تاثیر متقابل الکترواسـتاتیکی تحت کنتـرل قرار گیـرد. به علاوه توانایی بهینه سـازی نانولایه ها توسط خود نانولایه‌ها این روش را عاری از هرگونه معایب و نواقص ساخته است .

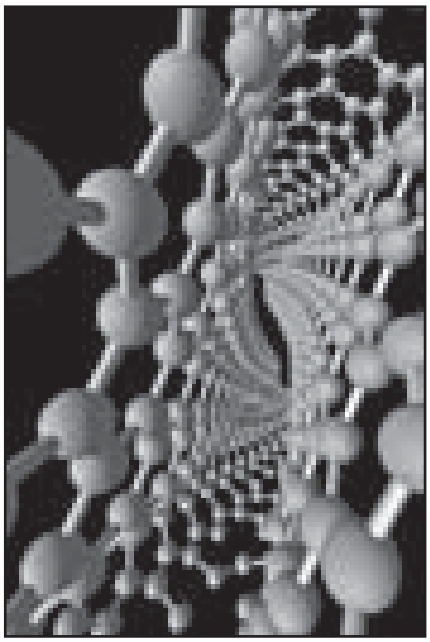


شمای نانو لایه های ایجاد شده توسط خود نانو لایه های الکترواستاتیک روی الیاف نساجی باردار

فرآیند خود مونتاژی لایه ها با قرار گرفتن یک سـطح باردار در معرض یک محلول الکترولیت با بارمخالـف آغاز می شـود.مقدار ماده جذب شـده توسط سـطح بسـتگی به ظرفیت ماده تشـکیل‌دهنده دارد . محلـول پلیمر مازاد ، از طریق شستشوی ساده آن با یک محلول خنثی برطرف می شود. تحت شرایط مناسب پلی یون با عدد استوکیومتری بیشتری نسبت به مقادیر ماده تشکیل دهنده جذب شده ، اثر سطح باردار را تغییـر می دهد . در نتیجه هنگامی که ماده اصلی تشکیل دهنده در معرض محلول دیگری که شـامل پلی یون ها می باشدقرار می‌گیرد، یک لایه پلی یون اضافی باعث می شود که اثر سطح باردار یک بار دیگر تغییر یابد.

اگرچه این روش بر اساس جذب الکترواستاتیک بین گونه های باردار مثبت و منفی می باشـد تاثیر متقابل میان این گونه های باردار به ماهیت ماده تشکیل دهنده و ماهیت پلی‌الکترولیت ها بستگی دارد.

میـزان جذب پلی الکترولیـت تقریبا غیر قابل تغییر اسـت، بنابراین لایه های تشـکیل شده



سـاختار متعادلی ارائه نمی دهد. این عمل به کاربـرد چند جانبـه این روش مـی افزاید. اما نشـان می دهد که کنترل سـینتیکی فرآیند جـذب باید انجام گیـرد تا بتوانـد ضخامت و افزایش لایه را کنترل نماید.

ترتیب الکترواسـتاتیک احتمالا به عوامل موثر در آشـفتگی زنجیره پلیمر ماننـد جرم مولی، انعطـاف پذیری زنجیـره ها،قابلیت تبادل یون و همچنیـن برهم کنش هـای هیدروفوبیک، برهم کنش هـای انتقال بار و پیوند هیدروژنی بستگی دارد. هیچ فرضیه مجزایی وجود ندارد که بتواند تعریف کاملی از فرآیند ترکیب لایه‌های نانو را ارائه نماید ، به علاوه ، شناخت عمیق تـر ویژگی برهم کنش هـای یون-یون و یون- سوبسـترا بر روی سـطح مـواد صنایع نساجی هنوز یک چالش محسوب می شود.

پی‌نوشت:

*کارشـناس اداره کل اسـتانداردو تحقیقـات صنعتی گیلان

**کارشناسی ارشد شیمی کاربردی

منبع:

"Application of Nanotechnology for high performance textiles", JTATM (JOURNAL OF TEXTILE AND APPAREL.TECHNOLOGY AND MANAGEMENT) Volume4, Issue1