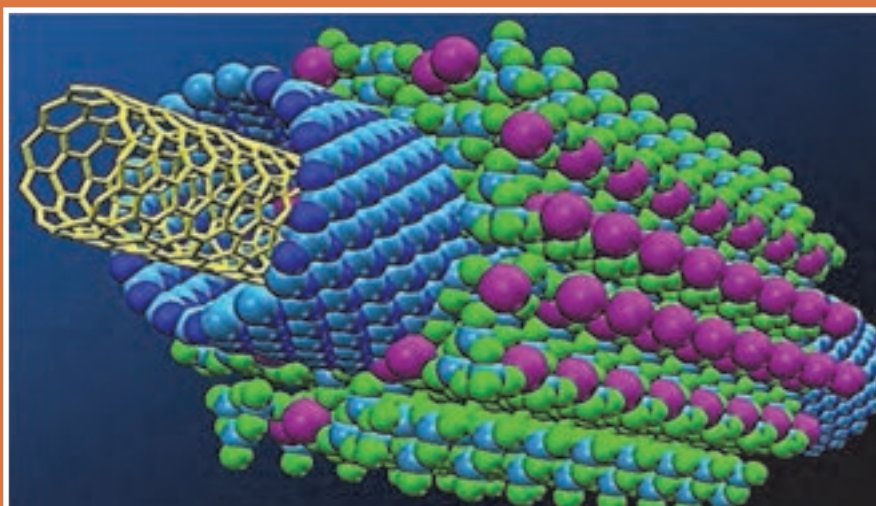




پودمان ۴

تحلیل نانومواد در نساجی



## آیا می‌دانید که:

- نانومقیاس و نانو ساختار چیست؟
- کاربرد مواد نانو در تکمیل پارچه چیست؟
- مواد نانو چگونه باعث ضدچروک و ضدآب و ضدباکتری و ضدآتش می‌شوند؟
- چگونه می‌توان از مصرف آب در صنعت نساجی کاست؟
- چرا و چگونه آب را در صنعت نساجی بازیافت و دوباره مصرف می‌کنند؟
- چرا با اینکه رنگرزی‌های بدون آب گران قیمت هستند ولی استفاده از آن گسترش می‌یابد؟
- چگونه نانو الیاف ساخته می‌شوند؟

## استاندارد عملکرد

پس از آموزش این پودمان انتظار می‌رود نانو مواد را تعریف کند و روش ساخت بعضی از آنها را بیان کند و روش‌های صرفه‌جویی در آب را فرا گیرد و نحوه ساخت موادی که باعث صرفه‌جویی مواد نساجی و انرژی مصرفی می‌گردد را بیاموزد.

## شایستگی ۱ – تحلیل نانومواد در صنعت نساجی

### نانو چیست؟

نانو از واژه یونانی «Nanos» به معنای کوتوله استخراج شده است. نانو یک ماده یا جسم نیست؛ بلکه فقط یک مقیاس با تأثیرات بسیار بزرگ در زندگی انسان می‌باشد. قدمت علم نانو به شروع حیات روی کره زمین بر می‌گردد. اولین مهندس فناوری نانو در حقیقت خود طبیعت می‌باشد. جانوران نرم‌تن صدف‌دار و حلزون‌ها، صدف‌های بسیار سختی را می‌سازند که در واحد نانو، دارای ساختار بسیار مستحکمی می‌باشند. نانو در گذشته به فیزیک اتمی شهرت داشت. پس از کاربردی شدن آن، به نانو شهرت یافت که کاربردی شدن آن، زندگی انسان را متحول ساخت. قرن بیست و یکم؛ قرن فناوری نانو، مهم‌ترین دوران صنعتی بشر خواهد بود. قرن معاصر، قرن نانو، قرن سلامتی، صرفه‌جویی و آرامش نامیده می‌شود.

واژه نانو همانند سانتی، میلی، دسی، کیلو، میکرون، مگا و... یک پیشوند اندازه و به معنای یک میلیاردم یا ( $10^{-9}$ ) هر مقیاس یا کمیت می‌باشد. در نانو، تعداد ذرات مهم نیست؛ بلکه اندازه و بزرگی ذرات مهم می‌باشد. هر گاه حداقل یک بُعد از ابعاد ماده بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد، به آن ماده «نانومواد» گفته می‌شود.

چهار نوع نانوذره بر اساس تعداد ابعاد نانو موجود می‌باشد:

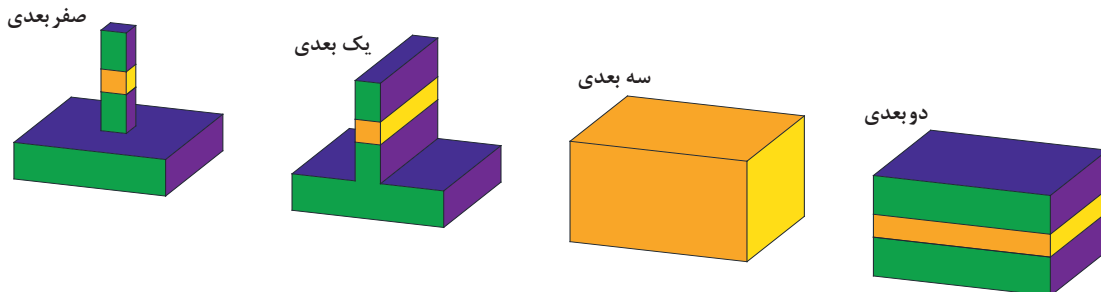
۱ صفر بعدی یا نانوذرات

۲ یک بعدی مثل نانوسیم، نانو لوله و نانوالیاف

۳ دو بعدی یا نانوپوشش‌ها مثل نانوپوشش ضدآب

۴ سه بعدی مثل نانو کامپوزیت، مواد حجیم نانو ساختار

در صورتی که هیچ کدام از ابعاد، خارج از محدوده مشخص شده نباشد، نانوذره، صفر بعدی یا نانوذرات اطلاق می‌شود. در شکل ۱ انواع نانوذرات بر اساس تعداد ابعاد آزاد با رنگ زرد نشان داده شده است.



شکل ۱- انواع نانوذرات (زرد رنگ) بر اساس تعداد ابعاد آزاد

## فناوری نانو (نانوتکنولوژی)

به هر فناوری که با ابعاد ۱۰۰ نانومتر و کوچک‌تر از آن سر و کار دارد، فناوری نانو گفته می‌شود. فناوری نانو، توانمندی طراحی، ساخت، تولید، توسعه، هدایت و کاربرد و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی این مقیاس در مواد، ابزارها و سیستم‌ها و سامانه‌های جدید با در دست گرفتن کنترل سطوح مولکولی و اتمی مواد در ابعاد حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. از فناوری نانو به عنوان رنسانس فناوری و روان‌کننده جریان سرمایه‌گذاری یاد می‌شود. یک نانومتر معادل یک میلیاردم متر می‌باشد. این مقدار حدود ۴ تا ۱۰ برابر قطر یک اتم می‌باشد. مکعبی به ابعاد ۲/۵ نانومتر حدود ۱۰۰۰ اتم را در خود جا می‌دهد. برای تجسم بهتر می‌توان تار موی انسان را مثال زد که اگر قطر آن در حدود ۶۰ هزار نانومتر باشد در مقایسه با جسمی به قطر ۶۰ نانومتر، ۱۰۰۰ برابر کوچک‌تر است.

ورود محصولات متکی بر این فناوری جهشی بسیار عظیم در رفاه و کیفیت زندگی و توانمندی دفاعی و زیست‌محیطی به همراه خواهد داشت و موجب تحولات بزرگ اقتصادی می‌گردد. شاید بتوان گفت که تسخیرکنندگان علم و فناوری آینده در سه گروه فناوری اطلاعات، نانو فناوری و زیست‌فناوری خلاصه می‌شوند. فناوری نانو به دلیل پتانسیل بسیار بزرگی که برای ایجاد تغییرات در زندگی انسان‌ها دارد از دهه‌های آخر قرن بیستم مورد توجه بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران قرار گرفته است. فناوری نانو با تسلط انسان بر اتم و دست‌کاری و آرایش دادن مجدد اتم‌ها، پیامدهای بسیار عظیمی در پی داشته است. همه فنونی که انسان در طول تاریخ جهت تولید قطعات مختلف استفاده کرده است؛ نظیر ذوب کردن، چکش‌کاری، قالب‌گیری و... به منظور تغییر چیدمان اتم‌های آن ماده بوده است. حرارت دادن به مواد جامد جهت ذوب کردن آنها، باعث فعال شدن اتم‌ها و تغییر حالت ماده از جامد به مایع می‌شود که هنگام انجماد در قالب مورد نظر نظم جدید و دلخواه به اتم‌ها داده می‌شود. در فناوری نانو، به اتم‌ها به صورت تک تک و دلخواه نظم می‌دهند و به طور مستقیم، قطعه مورد نظر با کیفیت عالی ساخته می‌شود. علم میان‌رشته‌ای نانو، تمام علوم را در بر گرفته است؛ به طوری که امروزه علوم و فناوری نانو در صنایع سنگین، نساجی و پوشاک، بهداشتی و آرایشی، کشاورزی، شیمیایی، برق و کامپیوتر، خودروسازی، نظامی، هوافضا، دریایی، عمران و ساختمان، راه‌سازی، غذایی، پتروشیمی، معدن، داروسازی، و... به سرعت در حال گسترش می‌باشد و دستاوردهای شگرفی داشته است.

بهره‌گیری از خواص ماده در مقیاس نانو، فواید و منافع بسیار زیادی دارد که موجب تحولات اساسی در زندگی انسان می‌شود. صرفه‌جویی در مصرف انرژی، صرفه‌جویی اقتصادی، صرفه‌جویی در زمان، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش کیفیت محصولات، افزایش کیفیت استانداردهای زندگی، ایجاد زندگی سالم، کاهش وابستگی اقتصادی، افزایش درآمدهای ملی، کاهش سوخت‌های فسیلی، گسترش کامپیوترهای کوچک و کم‌مصرف، گسترش سطوح و لباس‌های همیشه تمیز و هوشمند، حذف آلاینده‌های شهری و صنعتی، حذف عوامل خطرناک جنگ‌های شیمیایی و میکروبی، ارسال دقیق دارو به نقاط مورد نظر بدن، افزایش طول عمر انسان‌ها، گسترش تجهیزات نظامی هوشمند و... از مهم‌ترین فواید بهره‌گیری از فناوری نانو می‌باشد.

با کمک فناوری IT فیلم، عکس، انیمیشن و طرح‌واره‌هایی از کاربردهای فناوری نانو در حوزه‌های مختلف نمایش داده شود.

عکس و فیلم



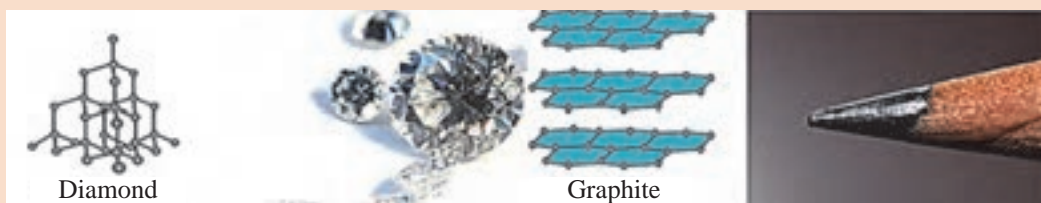
## تغییرات خواص مواد در شرایط نانو

رنگ، شفافیت، خواص الکتریکی، خواص مغناطیسی، میزان سختی، میزان حلالیت، نقطه ذوب، سرعت واکنش، میزان واکنش پذیری، رسانایی، الاستیسیته، استحکام، درصد ازدیاد طول، چگونگی ساختار اتصالات و پیوندهای شیمیایی و... از جمله خواص فیزیکی و شیمیایی مواد در ابعاد معمولی (ماکروسکوپی و قابل مشاهده) می باشند که بنابر تحقیقات علمی و تجربه در شرایط عادی، قابل تغییر نمی باشند و مواد از این طریق شناسایی می شوند.

تحقیق کنید



گرافیت نرم و الماس سخت هر دو از اتم‌های کربن تشکیل شده‌اند. علت اختلاف میزان سختی این دو ماده چیست؟



شکل ۲- ساختار گرافیت لایه‌ای و الماس شبکه‌ای

در مقیاس نانو به علت افزایش اثرات سطحی و کوانتومی در مواد، ویژگی‌ها و خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی، و بیولوژیکی جدید در مواد حاصل می‌شود؛ به طوری که اگر برخی از مواد را در اندازه حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر کوچک‌تر کنید، اثر متقابل اتم‌ها با یکدیگر افزایش می‌یابد و امکان کنترل برخی از خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در مواد به وجود می‌آید که همین امر منجر به ایجاد خصوصیات جدید و تولید محصولات و فناوری‌های جدید با کارایی بالاتر و خواص جدید می‌گردد.

در ادامه به برخی از تغییرات خواص مواد در مقیاس نانو و ایجاد خواص جدید در مواد پرداخته می‌شود:

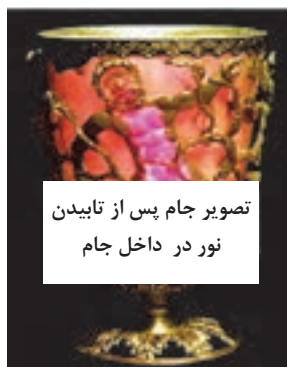
### تغییر رنگ

طلای خالص در حالت معمولی، زرد رنگ می‌باشد و رسانای نور نمی‌باشد، ولی همین ماده بسته به مقیاس‌های نانو می‌تواند به رنگ‌های قرمز، بنفش، نارنجی یا متمایل به سبز ظاهر شود که قادر به جذب نور می‌باشد. یکی از مهم‌ترین دلایل این تفاوت‌ها، افزایش نسبت مساحت سطحی مواد در مقیاس نانو می‌باشد. وقتی یک ذره به مقیاس نانو می‌رسد، مساحت سطح کل آن افزایش می‌یابد؛ در واقع وقتی که اندازه ذره کاهش می‌یابد، تعداد اتم‌هایی که در سطح ماده قرار می‌گیرند، نسبت به حالت توده یا معمولی افزایش می‌یابد و خصوصیات جدید و غیر منتظره‌ای ایجاد می‌کند.

ایرانیان در قرن‌های چهارم تا هفتم هجری از نانوذرات نقره و مس برای تزیین لعاب سفال‌های خود استفاده می‌کرده‌اند. نانوذرات طلا و نقره موجود در جام لیکرگوس در شهر رم در نور روز به رنگ سبز و با تاباندن نور به داخل جام به رنگ قرمز و صورتی دیده می‌شود. در شکل ۳ تصویر جام لیکرگوس در نور روز و پس از تاباندن نور به داخل آن مشاهده می‌شود.



تصویر جام در نور روز



تصویر جام پس از تابیدن نور در داخل جام

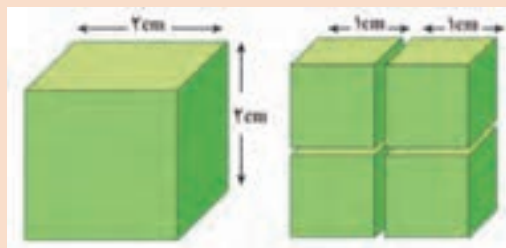
شکل ۳- تصویر جام لیکرگوس در نور روز و پس از تاباندن نور به داخل آن

### تغییر واکنش پذیری

موادی نظیر طلا و اکسید آلومینیوم در حالت معمولی در معرض هوای آزاد هیچ واکنشی انجام نمی‌دهند. با تغییر این مواد به ابعاد نانویی، سطح تماس این ذرات با محیط اطراف افزایش می‌یابد و بالطبع باعث افزایش واکنش پذیری این مواد می‌گردد. این واکنش آن قدر زیاد می‌باشد که از نانوذرات اکسید آلومینیوم به عنوان سوخت موشک و از نانوذرات طلا به عنوان کاتالیزور استفاده می‌گردد.

بزرگ‌تر شدن مساحت سطحی مواد، سطح بیشتری از مواد را نسبت به اتم‌های درون ساختار یک ماده، برای برهم‌کنش و واکنش پذیری آن ماده ایجاد می‌کند (اثر سطحی). افزایش واکنش پذیری مواد با کاهش اندازه ذرات، به این علت می‌باشد که اتم‌های داخل ماده به دلیل تعداد زیاد اتم‌های اطراف آن و تکمیل ظرفیت و پایداری، تمایلی به انجام واکنش ندارند؛ اما اتم‌هایی که در سطح ماده می‌باشند با تعداد کمتری اتم در ارتباط می‌باشند؛ بنابراین ظرفیتشان ناقص و به علت ناپایداری، واکنش پذیری بیشتری نسبت به اتم‌های داخل ماده دارند تا به سطح انرژی پایین‌تری برسند. حل شدن سریع شکر نسبت به قند بر این مطلب دلالت می‌کند.

از طریق تغییر در آرایش اتم‌ها، تغییر طول پیوند و زاویه پیوند، اتم‌ها به پایداری می‌رسند که این تغییرات سبب تغییر در خواص ماده می‌گردد. در زمان کار با نانوذرات، جهت جلوگیری از چسبیدن نانوذرات به یکدیگر و خطر کلوخه شدن آن، از مواد سطح فعال با دو سر آب‌دوست (قطبی) و آب‌گریز (غیر قطبی) استفاده می‌شود که با ایجاد دافعه الکتریکی و ممانعت فضایی مانع از به هم چسبیدن مجدد نانوذرات به یکدیگر و ایجاد کلوخه می‌گردد.



شکل ۴- تأثیر اثرات سطحی اجسام در جهت برهم‌کنش

فرض کنید یک قطعه به شکل مکعب به ابعاد ۲ سانتی‌متر موجود باشد. در صورتی که این مکعب را به ۸ مکعب با ابعاد ۱ سانتی‌متر تقسیم کنید، سطح آزاد چند برابر می‌شود؟ با افزایش سطح تماس چه اتفاقی می‌افتد؟

فعالیت  
کلاسی

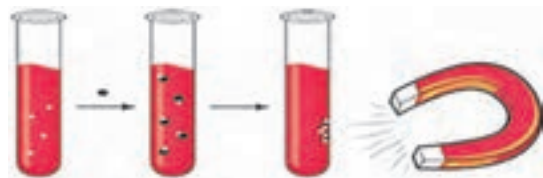


### تغییر شفافیت

شفافیت، میزان توانایی هر ماده در عبور نور مرئی از خود را مشخص می‌کند. هرچه میزان عبور نور از یک ماده بیشتر باشد، آن ماده شفاف‌تر خواهد بود. با توجه به خصوصیات هر ماده، آن ماده می‌تواند مقداری از نور را از خود عبور دهد و مابقی نور را جذب یا بازتاب کند. کرم‌های ضدآفتاب حاوی اکسید روی و تیتانیوم از مواد بسیار مفید برای جذب نور فرابنفش می‌باشند که نور مرئی را بازتاب می‌کنند و در سطح صورت به رنگ سفید مشاهده می‌شوند که جهت مصرف‌کننده ناخوشایند می‌باشد؛ حال اگر از نانوذرات اکسید روی و تیتانیوم در کرم‌های صورت استفاده شود، به دلیل اینکه طول موج بازتابیده شده از این مواد از طول موج نور مرئی کمتر می‌باشد؛ بنابراین نور مرئی را عبور می‌دهند و اثر سفیدی کرم بر روی پوست دیده نمی‌شود.

### تغییر خواص مغناطیسی

یکی از تغییرات بسیار کاربردی که در ابعاد نانویی برخی از مواد به وجود می‌آید، ایجاد خاصیت مغناطیسی می‌باشد. موادی نظیر طلا و اکسید آلومینیوم هر چند در حالت معمولی، خاصیت مغناطیسی ندارند، ولی نانوذرات آنها دارای خاصیت مغناطیسی می‌باشند. از خاصیت نانومغناطیسی مواد در پزشکی و داروسازی استفاده می‌شود؛ به طوری

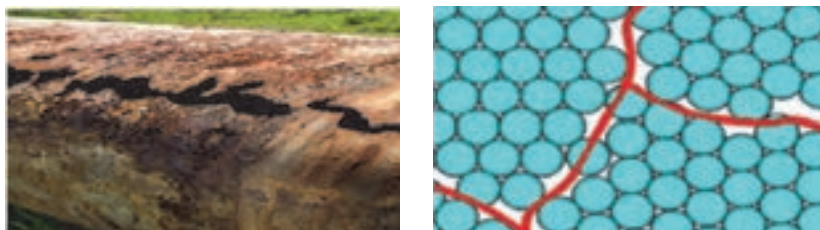


شکل ۵- اثر میدان مغناطیسی خارجی بر ذرات نانومغناطیس

که استفاده از برخی نانوذرات مغناطیسی باعث انتقال هدفمند دارو می‌شود و با کنترل میدان مغناطیسی خارجی، بعد از وارد شدن به بدن در محل بیماری، آزاد می‌شوند. در شکل ۵ اثر میدان مغناطیسی خارجی بر ذرات نانومغناطیس در خون مشاهده می‌شود.

### کاهش خوردگی در فلزات

در فلزات، اتم‌ها در حفره‌هایی منظم، به نام دانه قرار گرفته‌اند. اگر ۳ دانه با هم برخورد کنند، به محدوده مشترک بین آنها، مرزدانه گفته می‌شود که متعلق به هیچ دانه‌ای نمی‌باشد و با اتم‌های کناری خود پیوند کمی برقرار می‌کنند. زمانی که یک ماده خورنده در پوشش فلزی نفوذ می‌کند با اتم‌های مرزدانه پیوند تشکیل می‌دهند و مواد جدیدی نظیر زنگ آهن تولید می‌کنند که باعث خوردگی فلز می‌گردد. در برخی فولادهای حاوی نانوذرات مس که مساحت بیشتری از مرزدانه‌ها در معرض مواد خورنده می‌باشند، آثار کمتری از خوردگی و خستگی در فولاد مشاهده می‌شود. به نظر شما علت چیست؟ در شکل ۶ مرزدانه‌های فلزات معمولی در خطر پیوند با مواد خورنده همراه آثار زیان بار آن در خوردگی فلزات نشان داده شده است.



شکل ۶- مرزدانه‌ها و خوردگی فلزات در خطر پیوند با مواد خورنده



## تغییر خواص مکانیکی

خواص مکانیکی مواد تابع اندازه ذرات می باشد؛ به طوری که با کوچک تر شدن اندازه ذرات، خواص مکانیکی آنها نظیر سختی، خستگی، استحکام کششی و... نیز تغییر می کند. هر چه مقاومت ماده در برابر خراش و نفوذ اجسام بیشتر باشد، آن ماده سختی بیشتری خواهد داشت. در ماشین آلات، مقاومت رنگ ماشین آلات در برابر خراش همواره مورد توجه قرار گرفته است. بارها دیده شده است که یک خراش کوچک بر سطح دستگاه و تماس آن قسمت با رطوبت، منجر به پوسیدگی و زنگ زدن بدنه دستگاه می گردد. نانو رنگ ها و نانو پوشش هایی که در رنگ دستگاه استفاده می شود چندین برابر رنگ های معمولی در برابر عوامل محیطی مقاوم می باشند.

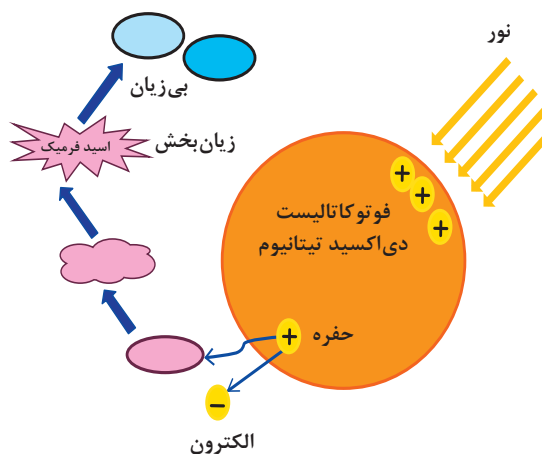
بحث کنید



دو عامل اساسی، نیروهای بین اتمی و ساختار سطحی مواد بر روی سختی مواد تأثیر گذار می باشد. به نظر شما دلیل افزایش سختی مواد در ابعاد نانو بر اساس این دو عامل چیست؟

به نیروهایی که به دلیل تغییر جهت نیرو، باعث شکستگی در یک ماده می شوند، خستگی گفته می شود. اگر یک سیم فلزی را چند بار به سمت بالا و پایین خم کنید، پاره یا شکسته می شود. بسیاری از سوانح و شکستگی ها که در قطعات صنعتی و ماشین آلات اتفاق می افتد به علت عامل خستگی در فلزات می باشد. خاصیت مکانیکی خستگی یک فلز را می توان با ریزدانه شدن یک ماده در ابعاد نانو و کاهش عیوب سطحی آن بهبود بخشید.

## ایجاد خواص آنتی باکتریال

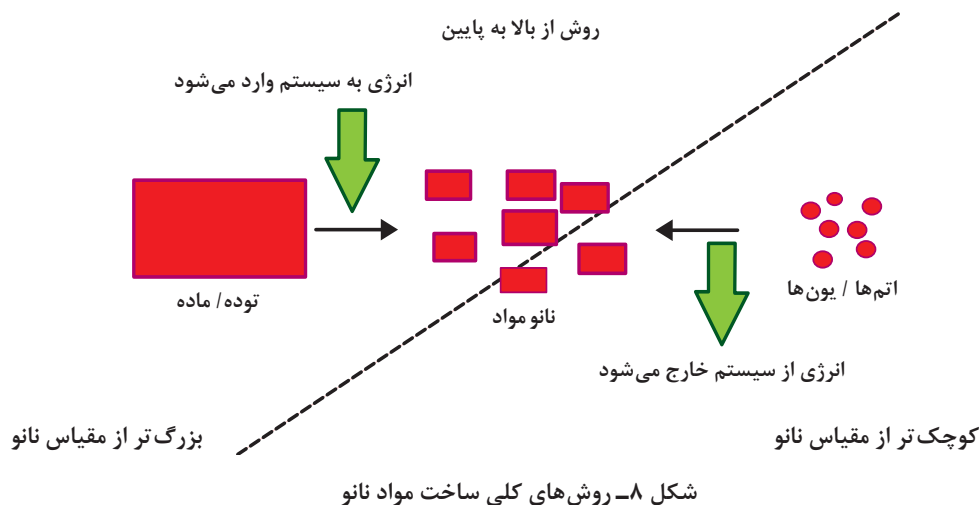


نانوذرات طلا و نقره دارای خواص ضد میکروب و آنتی باکتریال می باشند؛ بنابراین میکروارگانیسم های بیماری زا (پاتوژن ها) بر روی سطح آنها رشد و تکثیر نمی کنند. این مواد در لوازم آرایشی، بهداشتی، پوشاک و نساجی استفاده می شوند. برخی از مواد آنتی باکتریال نظیر نانوذرات اکسید تیتانیوم و اکسید روی نیمه رسانا با خاصیت فوتوکاتالیستی زیادی که دارا می باشند، با جذب نور فعال می شوند و عامل هیدروکسیل را آزاد می کنند. این عامل با انجام واکنش شیمیایی سبب تجزیه ترکیبات آلی نظیر کلر، میکروب و آلاینده شده و آنها را به آب و دی اکسید کربن تبدیل می کند. شکل ۷ تأثیر فوتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر خواص ضد میکروبی نشان داده شده است.

شکل ۷- تأثیر فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر خواص ضد میکروبی

## روش‌های ساخت مواد نانو

روش‌های ساخت مواد نانو بسیار گسترده می‌باشد. از میان روش‌های ساخت نانوذرات می‌توان به دو روش کلی بالا به پایین و پایین به بالا اشاره کرد. در رویکرد بالا به پایین، اندازه یک ماده توده‌ای و حجیم به‌طور متناسب کاهش می‌یابد تا به یک ماده با ابعاد نانویی برسد. در رویکرد پایین به بالا، از کنار هم قرار دادن و دستکاری اتم‌ها با مقیاس کمتر از نانوذرات که ابعاد کوچک‌تری از مقیاس نانو دارند، جهت ساخت یک محصول نانومتری با چیدمان دلخواه استفاده می‌شود. در شکل ۸ روش‌های کلی در ساخت مواد نانو نشان داده شده است.

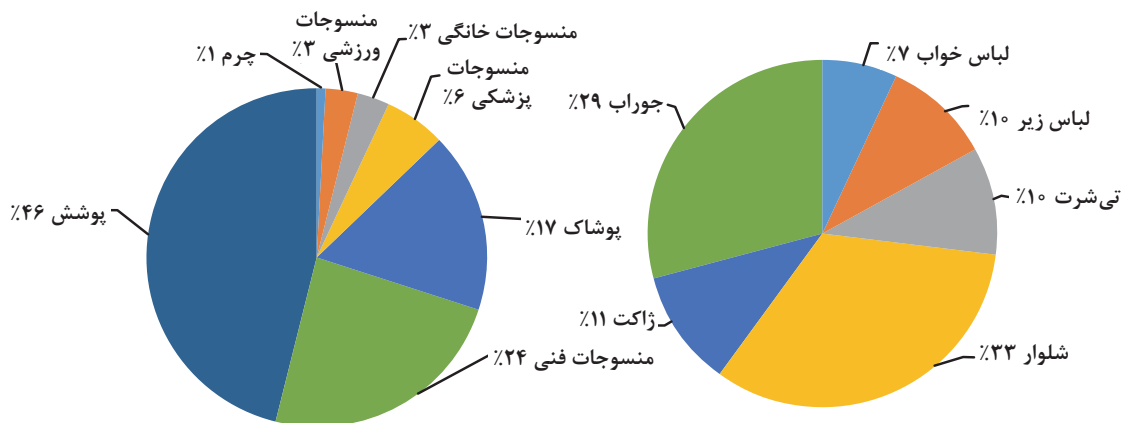


## فناوری نانو در صنعت نساجی

صنعت نساجی یک صنعت دیرپاست که از ابتدایی‌ترین تجهیزات تولید پوشاک آغاز و امروزه به یکی از گسترده‌ترین صنایع جهان تبدیل شده است. این صنعت با زنجیره تولید از مواد اولیه، الیاف، ریسندگی، بافندگی، رنگرزی، چاپ، تکمیل، انواع پوشاک، منسوجات صنعتی، فرش و... همواره میدان گسترده‌ای برای رشد و توسعه فناوری بوده است. در حال حاضر صنعت نساجی به یکی از اولین استفاده‌کننده‌ها از فناوری نانو تبدیل شده است. در صنعت نساجی بیشتر نانو ساختارها (Nano - Structure) و نانوپوشش یا نانو مقیاس (Nano - Scale) به منظور تولید مواد جدید نظیر نانو الیاف، اصلاح، بهبود و ایجاد خواص نوین در سطح و ساختمان مواد، افزایش کیفیت و کارایی محصولات و... به کار گرفته می‌شود.

با استفاده از فناوری نانو می‌توان ویژگی‌های اصلی منسوجات از قبیل نرمی، ماندگاری خواص، استحکام، قابلیت جذب رطوبت و... را بهبود بخشید و خواص کاربردی جدیدی از قبیل خواص ضد میکروبی، کند سوزی، ضد آب و لک، ضد سرما و گرما، ضد حشرات، ضد چروک، ضدالکتریسیته ساکن، ضد رنگ پریدگی، ضدسایش، ضدروغن، خود تمیز شونده، محافظت در برابر پرتوهای مضر، ضد بو و معطر سازی، کنترل تعرق، افزایش ثبات رنگ و... در منسوجات ایجاد کرد.

پیش‌بینی می‌شود در آینده‌ای نزدیک به مدد فناوری نانو و سایر راه‌حل‌های فناورانه در حوزه نساجی نظیر زیست‌فناوری و تکسترونیک و...، صنعت پوشاک به یکی از صنایع کارا، پر درآمد و پیشرو با بهره اقتصادی بالا و سازگار با محیط‌زیست تبدیل شود. در نمودارهای شکل ۹ میزان کاربرد فناوری نانو در پوشاک و سهم این فناوری در بخش‌های مختلف نساجی نشان داده شده است.



شکل ۹- نمودار میزان کاربرد فناوری نانو در پوشاک و سهم این فناوری در بخش‌های مختلف نساجی

با استفاده از فناوری نانو ایجاد خصوصیات عملکردی پیشرفته، بدون تأثیر نامطلوب بر ظاهر، زیردست و راحتی پارچه امکان‌پذیر می‌گردد. تکمیل‌های متداولی که برای ایجاد خصوصیات عملکردی در منسوجات به کار می‌روند، به‌راحتی با شست‌وشو یا استفاده کوتاه‌مدت از آن از بین می‌رود. از آنجایی که با استفاده از فناوری نانو تغییرات ایجاد شده در پارچه در سطح مولکولی اتفاق می‌افتد؛ بنابراین این تغییرات اغلب دائمی می‌باشند. فناوری نانو در نساجی به‌طور کلی اغلب شامل سه حوزه ۱- تولید نانومواد تک‌بعدی نانو الیاف (Nano - Fibers)، ۲- اصلاح خواص پوششی و چندگانه منسوجات با نانو مواد دو بعدی نانوپوشش یا نانو مقیاس (Nano - Scale) و ۳- اصلاح ساختار داخلی مواد و به‌کارگیری و سنتز نانومواد بر بستر منسوجات با نانومواد سه‌بعدی یا نانو ساختارها (Nano - Structure) می‌باشد.

در مورد کاربرد فناوری نانو در بخش‌های مختلف پوشاک و غیرپوشاک منسوجات (خانگی، فنی، محافظ و پیشرفته) در صنعت نساجی تحقیق کنید و در کلاس گزارش دهید.

تحقیق کنید



در شکل ۱۰ عمده‌ترین نانومواد مورد استفاده در صنعت نساجی به همراه عملکرد و کارایی آنها نشان داده شده است.

کربن بلک هیدروکربن یا تخلخل نانومتری پوشش‌های نیتروژن دی‌اکسید سیلیکون	دی‌اکسید تیتانیوم	نانولوله کربن فلوروکریلات دی‌اکسید سیلیکون دی‌اکسید تیتانیوم (اناناز)	نقره کاپتوسان دی‌اکسید سیلیکون دی‌اکسید تیتانیوم اکسید روی	نانولوله کربن اکسید آلومینیوم پلی‌بوتیل اکریلات دی‌اکسید سیلیکون اکسید روی	کربن بلک مس نانولوله کربن پلی‌پیرول پلی‌انیلین
بهبود رنگ‌پذیری	جاذب رطوبت	دافع آب و لکه / خود تمیز شونده	ضد میکروب	افزایش ثبات	رسانش الکتریکی / ضد الکتریسیته ساکن

### نانومواد مورد استفاده در صنعت نساجی و عملکرد آنها

مقاومت در برابر سایش	مقاومت در برابر پرتو الکترومغناطیس	رسانش یا عایق حرارتی	رهايش مواد مؤثر دارویی یا معطر	مقاومت در برابر آتش	مقاومت در برابر UV / رنگ‌پریدگی
نانولوله کربن	اکسید قلع ایندوم	نانولوله کربن دی‌اکسید وانادیوم	نانوساختارهای توخالی مانند سیکلودکسترین نانوذرات رس دی‌اکسید سیلیکون	نانولوله کربن بوروسیلوکسان نانوذرات رس خاکستر آتیموان	دی‌اکسید تیتانیوم (روتایل) اکسید روی

شکل ۱۰- عمده‌ترین نانومواد مورد استفاده در نساجی به همراه عملکرد آنها

هنرآموز گرامی، با نمایش فیلم، عکس، اسلاید، انیمیشن، جدول، نمودار و بازدید از مراکز مجهز به فناوری نانو، هنرجویان را با کاربردهای فناوری نانو در حوزه‌های مختلف نساجی بیشتر آشنا کنید.

عکس و فیلم



هنگامی که از نانومواد در فرایند تولید و تکمیل منسوجات استفاده می‌شود؛ این مواد در درون ساختار الیاف یا به صورت لایه پوششی خیلی نازک بر روی سطوح منسوج قرار می‌گیرند. استفاده از سامانه‌های نانومقیاس و تبدیل مواد به ذرات ریز نانویی در فرایندهای متداول نساجی نظیر تولید الیاف، تکمیل، پوشش‌دهی، رنگ‌ریزی، تصفیه آب و پساب و... باعث افزایش کارایی منسوجات می‌شود. در سال‌های اخیر منسوجات و کامپوزیت‌های لیفی در بخش‌های مختلفی نظیر کشاورزی، حمل‌ونقل، عمران و راه‌سازی، پزشکی، بسته‌بندی، محافظ، ورزشی، خانگی، خودروسازی، الکترونیک و... جایگزین مواد فلزی و پلاستیکی شده‌اند.

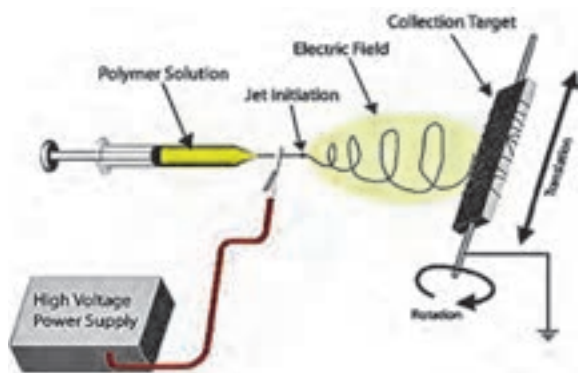
فناوری نانو به شیوه‌های مختلف می‌تواند سبب بهره‌وری بیشتر در صنعت نساجی، ارتقا کیفیت و طول عمر محصول، بهبود خواص مواد، تولید محصولات جدید و... شود و با ایجاد قابلیت‌های جدید و بهبود کارایی منسوجات، امکان حضور در بازارهای جهانی را فراهم کند. مطالعات نشان می‌دهد که در حال حاضر توجه عمده، بیشتر بر رویکردهای جدید تکمیل پارچه و نیز فناوری‌های پوشش‌دهی با آثار خارق‌العاده، متمرکز شده است. در جدول ۱ برخی از کاربردها و قابلیت‌های مهم فناوری نانو در منسوجات کاربردی نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی از روش‌های کاربردی و قابلیت‌های مهم فناوری نانو در منسوجات کاربردی

حوزه کاربردی	کاربردها و فناوری‌های به کار رفته
پوشاک ورزشی و بیرونی	ضدمیکروب، ضدباکتری، ضدآب و تنفس‌پذیر، ضدضربه، ضدلکه، ضدبو، مدیریت رطوبت، احساس راحتی و سبکی، خود تمیز شونده، منسوجات هوشمند، حسگرها، محافظت در برابر پرتو فرابنفش، عایق سرما و گرما و... با استفاده از فناوری‌های نانوالیاف‌ها، الیاف نانو کامپوزیت‌ها و پوشش‌دهی بسیار نازک منسوجات با نانوذرات مخصوص نظیر نقره، اکسید روی، اکسید مس و دی‌اکسید تیتانیوم
منسوجات پزشکی و بهداشتی	ایجاد خواص ضدمیکروب و باکتری و ضدبو، اکسیژن‌ساز و صافی شیمیایی، اعضای مصنوعی، کشت سلول، تشخیص بیماری، انواع محصولات بهداشتی زنانه و بچه‌گانه، حسگرهای زیست‌پزشکی، مهندسی بافت مصنوعی اعضای بدن، پوشش رها سازهای دارو، نخ‌های بخیه، ضدلکه و... با استفاده از نانوالیاف‌ها یا پوشش‌دهی منسوجات بیمارستانی با نانوذرات ضدباکتری با استفاده از فناوری‌های نانوالیاف کامپوزیت‌ها، نانولوله‌های کربنی، نانوذرات نقره، نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و سایر نانوپوشش‌های مخصوص با قابلیت پوشش‌دهی بسیار نازک منسوجات
منسوجات خانگی، صنعتی، کشاورزی نظامی، خودرو	ایجاد خواص ضدمیکروب، ضدقارچ، ضدباکتری، ضدحساسیت، ضدآب، ضدلکه، ضدروغن، ضدچروک، ضدآبرفتگی، آبدوست و جاذب رطوبت و عرق بدن، ضدبو، ضدچروک، ضدگرد و غبار، ضدپرتو فرابنفش و رادیواکتیو، ضدالکتریسیته ساکن، لباس گرم یا خنک‌کننده، سطوح و لباس خود تمیزشونده، عطرآگین کردن، افزایش ثبات رنگ و سایشی، افزایش قابلیت رنگ‌پذیری، عایق‌بندی صوتی و حرارتی، ضد حریق یا کندسوز، افزایش استحکام و ایمنی، پوشش حسگر، فیلتراسیون هوا و روغن و سوخت خودرو، جاذب صوت در موتور خودرو، الیاف تقویت‌کننده لاستیک و کامپوزیت‌ها در خودرو، کمربند ایمنی و کیسه هوا، پوشش کف و سقف و بدنه خودرو و... با استفاده از فناوری‌های نانو الیاف‌ها، نانولوله‌های کربنی، نانوذرات نقره، نانوذرات اکسید روی و پوشش‌دهی بسیار نازک منسوجات با نانوذرات مخصوص نمایشگرهای نوری، کاربردهای کامپیوتری، لباس‌های هوشمند، رباتیک، تصفیه‌کننده آب، ضدگلوله و ترکش، ضد مواد شیمیایی، ضدعفونت و... با استفاده از نانوالیاف و پوشش‌های نانو مقیاس گوناگون،

## فناوری نانوالیاف

فناوری نانو مفهوم جدیدی نیست. این فناوری به معنای استفاده از موادی می‌باشد که حداقل در یک بعد، نانومقیاس باشند. نانوفناوری دانشی است که به مطالعه و دست‌کاری مواد در سطح اتم یا مولکول می‌پردازد. هنگامی که قطر الیاف پلیمری از میکرون به چند صد نانومتر کاهش می‌یابد، خواص ویژه‌ای نظیر نسبت سطح به حجم بسیار بالا در مقایسه با مواد شناخته شده به دست می‌آورد. این خواص برجسته، نانوالیاف پلیمری را به گزینه‌ای مناسب جهت بسیاری از کاربردهای مهم از جمله فیلتراسیون، منسوجات پزشکی و... تبدیل می‌نماید. روش مرسوم در تولید نانو الیاف با قطر ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر، فرایند الکتروریسی می‌باشد. در این روش جریان مولکول‌های زنجیره پلیمری تغییر یافته شده محلول یا مذاب از طریق ایجاد اختلاف پتانسیل هزاران ولت بین نازل و جمع‌کننده الیاف (کالکتور) به سرعت از نازل خارج شده و تولید الیاف نانوالیاف پلیمری می‌گردد. در این روش نانوذرات یا نانولوله‌ها جهت بهبود خواص نانوالیاف همراه نانوالیاف استفاده می‌شود.



مهم‌ترین استفاده نانوالیاف در تولید فیلترهای هوا و تصفیه آب و پساب می‌باشد. نانوالیاف به سه گروه پلیمری، کربنی و معدنی تقسیم می‌شوند. از جمله کاربردهای فناوری نانو در منسوجات می‌توان به نانوالیاف به کار رفته در روکش مبلمان، روکش معطر اثاثیه و سطوح خودتمیزشونده اشاره کرد. شکل ۱۱ نمای شماتیک از تولید نانوالیاف در دستگاه الکترورسی نشان داده شده است.

شکل ۱۱- نمای شماتیک از تولید نانوالیاف در دستگاه الکترورسی

### نانوکامپوزیت‌ها و الیاف کامپوزیتی نانوساختار

نانوکامپوزیت به گروهی از کامپوزیت‌ها که حداقل یکی از اجزای آن نانومقیاس باشد، اطلاق می‌شود. نانوکامپوزیت‌ها از پلیمرها و نانوذرات فلزی، اکسیدها و سایر مواد دارای خواص متنوع و بهبود یافته ایجاد می‌شوند. به عنوان مثال از خاصیت خوب تأخیر در شعله‌پذیری کامپوزیت‌های مشتمل بر نانوذره سیلیکات، می‌توان به خوبی در منسوجات سرویس خواب، پرده‌ها و... استفاده کرد.

الیاف کامپوزیتی نانوساختار، الیافی می‌باشند که در ساختار آنها از مواد نانوساختار نظیر پرکننده‌های نانومقیاس مانند نانوذرات خاک رس، اکسیدهای فلزی، دوده، نانوالیاف گرافیکی و نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود. مزیت اساسی الیاف نانو کامپوزیتی تولید شده به روش ذوب‌رسی این است که تنها با اعمال تغییرات اندک می‌توان یک خط تولید الیاف پلیمری معمولی را به خط تولید الیاف کامپوزیتی نانوساختار تبدیل کرد.

### فناوری نانو در ریسندگی و بافندگی

قطعات ماشین‌آلات ریسندگی و بافندگی نظیر تسمه، چرخ دنده‌ها، دندانه‌های چرخ و تسمه و گیره‌های راپیر، سطح انواع سوزن‌ها و خارها در زنده‌ها و ماشین‌کارد و سوزن‌زنی و حلقوی، روتور، رینگ و شیطانک، سطح غلتک‌های کشش، پروژکتایل‌ها، نوار آپرون و... در معرض سایش، خوردگی، فرسودگی، تنش بالا، حرارت، اصطکاک، خراش، شکستگی، خستگی و... می‌باشند. امروزه با کمک فناوری نانو بسیاری از مشکلات استفاده از قطعات و ماشین‌آلات نساجی کاهش یافته است و بازدهی ماشین‌آلات نساجی به علت کاهش توقفات و افزایش عمر محصولات، افزایش یافته است.

جهت افزایش عمر کاری قطعات و ماشین‌آلات اغلب از فرایند آبکاری، به کارگیری قطعات سرامیکی و پلیمری مخصوص و... استفاده می‌شود که باعث آلودگی محیط‌زیست و افزایش قیمت تمام‌شده ماشین‌آلات می‌گردد.

نکات  
زیست‌محیطی



## برخی از کاربردهای نانو پوشش در قطعات ماشین‌های ریسندگی و بافندگی

- ۱ تعویض ۱ تا ۶ عدد از چرخ‌های راپیر یک ماشین بافندگی پارچه یا فرش ماشینی باعث توقف طولانی مدت ماشین بافندگی می‌گردد، در حالی که استفاده از نانو پوشش در سطوح دندان‌های چرخ دنده، عمر محصول را تا ۵ برابر افزایش می‌دهد.
- ۲ اعمال نانو پوشش‌های  $\text{SiO}_2$  بر روی نوار نقاله آپرون ماشین ریسندگی باعث کاهش ساییدگی و پارگی می‌شود و رفتار اصطکاکی را بهبود می‌دهد و بالطبع حرکت الیاف منسجم‌تر و متراکم‌تر می‌شود.
- ۳ کاهش ساییدگی، خوردگی، پایداری شیمیایی و چگالی قطعه پروژکتایل و افزایش رسانایی حرارتی آن در زمان ورود به محفظه ترمز پروژکتایل با اعمال نانو پوشش‌های  $\text{TiO}_2$  و  $\text{WS}_2$  و نانولوله‌های کربن
- ۴ کاهش سایش، شکستگی، خستگی، حرارت، اصطکاک و تنش در رینگ، شیطانک، سوزن‌ها و خارهای ماشین‌های ریسندگی، بافندگی و سوزن‌زنی با اعمال نانو پوشش‌ها در قطعات متحرک و ثابت
- ۵ کاهش خراش، ساییدگی و خوردگی در سطح دیسک چرخانه (روتور)، کاهش اصطکاک بین الیاف و روتور با اعمال نانو پوشش‌ها در سطح روتور یا چرخانه
- ۶ جلوگیری از ساییدگی غلتک‌های کشش، عدم نیاز به سنگ‌زنی، کاهش پارگی و توقف تولید با بهره‌گیری از نانو پوشش‌ها در سطوح غلتک‌های فولادی منطقه کشش

## فناوری نانو در رنگرزی و چاپ منسوجات

رنگرزی یک فرایند شیمیایی می‌باشد که در آن رنگینه به دلیل تمایل ذاتی در سطح الیاف جذب و سپس به درون الیاف نفوذ می‌کند. روش‌های مختلفی جهت جذب و نگهداری رنگینه‌ها توسط لیف وجود دارد. در جدول ۲ ساز و کار رنگرزی اغلب الیاف با رنگینه‌های ویژه آن مشخص شده است.

جدول ۲- ساز و کار رنگرزی اغلب الیاف با رنگینه‌های ویژه آن

الیاف	رنگینه	ساز و کار	الیاف	رنگینه	ساز و کار
سلولزی	مستقیم	پیوند هیدروژنی	پروتئینی	اسیدی	پیوند نمکی
سلولزی	راکتیو	پیوند کووالانسی	پروتئینی	کرومی، راکتیو	پیوند کووالانسی
سلولزی	خمی، گوگردی، یخی (آزوتیک)	غیر محلول کردن	نایلون	اسیدی	پیوند نمکی
آکریلیک	بازیک	پیوند نمکی	نایلون	راکتیو	پیوند کووالانسی
پلی‌استر	دیسپرس	تشکیل محلول جامد	استات سلولز	دیسپرس	تشکیل محلول جامد

نیاز به ثبات‌های رنگی بالا، افزایش قدرت رنگی با کاربرد مقدار ماده کمتر، کاهش آلاینده‌گی محیط‌زیست، کاهش مصرف انرژی، رنگ‌پذیر نمودن الیاف کریستالی غیر قطبی و فاقد گروه عاملی نظیر پلی‌پروپیلن، نایلون و... موجب افزایش استفاده از فناوری نانو در بخش رنگرزی و چاپ شده است.

نکات  
زیست‌محیطی



فناوری نانو به عنوان یک فناوری بین رشته ای در رنگرزی و چاپ باعث رشد روز افزون کیفیت و بهبود رنگرزی و چاپ شده است. فناوری نانو می تواند با انتخاب رنگینه و رنگزای مناسب و همچنین بهینه کردن فرایند رنگرزی و چاپ، نقش مهمی در جهت افزایش کیفیت رنگرزی و چاپ منسوجات ایفا کند. رنگ پذیری و افزایش سرعت جذب رنگزاهای دیسپرس و سایر قابلیت های دیگر در این منسوجات با وارد کردن نانوپرکننده ها بهبود می یابد. افزایش قابلیت رنگ پذیری پارچه ها با روش پوشش دهی مواد جاذب بر روی پارچه ها نیز صورت می گیرد. به عنوان مثال ایجاد لایه امولسیون از نانوذرات کیتوسان بر روی ابریشم باعث افزایش ۱۰۰ تا ۲۰۰ برابری قابلیت رنگ پذیری در این کالا می گردد که منجر به کاهش مصرف رنگزا و آلودگی شده و به پارچه خاصیت ضد میکروبی می دهد. در قسمت سمت راست شکل ۱۲ افزایش قابلیت رنگ پذیری ابریشم تکمیل شده با نانوذرات کیتوسان مشهود می باشد.



شکل ۱۲- افزایش قابلیت رنگ پذیری ابریشم تکمیل شده با نانوذرات کیتوسان

در برخی موارد با استفاده از فناوری پلاسما، اصلاحات سطحی فیزیکی و شیمیایی در حد نانو بدون تغییر خواص توده بر روی پارچه انجام می شود که سبب افزایش آبدوستی و تغییر گروه های شیمیایی سطح شده و بهبود و یا تغییر در رنگ پذیری و ثبات رنگی ایجاد می کند. یکنواختی چاپ و رنگرزی، میزان جذب رنگ بالا، ثبات رنگی مناسب، عدم ایجاد اثر نامطلوب بر خواص کالا و عدم ایجاد پساب رنگی و سمی و... از جمله پارامترهای مهم در انتخاب مواد رنگی می باشد. یکی از روش های نوین و پیشرفته در جهت تسریع سرعت رنگرزی، افزایش جذب مواد رنگی و ثبات رنگی، رنگرزی منسوجات فاقد گروه های عاملی و بهبود پساب رنگرزی، استفاده از فناوری نانو در رنگرزی و چاپ می باشد. در ادامه به برخی از رویکردهای مختلف استفاده از فناوری نانو در رنگرزی و چاپ منسوجات اشاره شده است.

#### رویکردهای مختلف استفاده از فناوری نانو در رنگرزی و چاپ منسوجات:

- ۱ استفاده از رنگزاهای و رنگدانه های نانو مقیاس به صورت مستقیم به عنوان رنگینه
- ۲ بهبود آبدوستی و رنگ پذیری منسوجات از طریق تکمیل با پوشش های نانو ساختار
- ۳ پوشش دهی پارچه رنگ شده با نانولایه به منظور بهبود ثبات رنگی
- ۴ تصفیه پساب رنگرزی با فناوری نانو و بازگشت آب تصفیه شده به چرخه تولید
- ۵ افزایش عمر قسمت های مختلف ماشین آلات و مخازن رنگرزی و چاپ با بهره گیری از نانوپوشش ها



کاربرد فناوری نانو در بخش رنگرزی و چاپ، مزایای بسیار زیادی به همراه دارد. در ادامه به برخی از این مزایا اشاره می‌شود:

### مزایای کاربرد فناوری نانو در چاپ و رنگرزی:

- ۱ افزایش عمق و درخشندگی رنگ
- ۲ کاهش مصرف آب، انرژی و مواد کمکی مصرفی
- ۳ رنگرزی و چاپ آسان منسوج با ساختار کریستالی و فاقد تمایل به جذب رنگینه
- ۴ تکمیل چندمنظوره منسوجات (ضد باکتری، ضد آب و... کردن پارچه در حین رنگرزی و چاپ)
- ۵ افزایش ثبات رنگ (ثبات شست‌وشویی، نوری، سایشی و...)
- ۶ بهبود کیفیت پساب رنگرزی و چاپ
- ۷ افزایش سرعت رنگرزی و چاپ و بهبود قابلیت رنگ‌پذیری

استفاده از نانومواد نظیر ترکیبات سیکلودکستین، درخت‌سان‌ها، نانورس‌ها، کیتوسان‌ها، نانوذرات فلزی و به‌کارگیری فناوری پلاسما، برخی از کاربردهای فناوری نانو در بخش رنگرزی می‌باشد. در ادامه به برخی از نانومواد و فناوری نانویی به‌کار رفته در بخش رنگرزی پرداخته می‌شود:

### سیکلودکستین‌ها

سیکلودکستین‌ها یکی از پرکاربردترین مواد نانو در نساجی می‌باشد که به سه دسته آلفا، بتا و گاما سیکلودکستین تقسیم‌بندی می‌شوند. مشخصه اصلی سیکلودکستین‌ها، توانایی تشکیل کمپلکس جامد (کمپلکس میزبان - میهمان) با گستره وسیعی از ترکیبات جامد، مایع و گاز از طریق برهم‌کنش مولکولی می‌باشد. این مواد به علت برخورداری از دو سر آبدوست و آب‌گریز، مکان‌های خوبی برای جذب مواد رنگ‌زا با ایجاد پیوندهای هیدروژنی و یا یونی ضعیف در رنگرزی ایجاد می‌کنند. مواد نانویی سیکلودکستین همچنین با تغییراتی که در سطح منسوجاتی نظیر پنبه، پلی‌استر، پشم، پلی‌پروپیلن و... ایجاد می‌کنند، باعث افزایش جذب رنگ‌زا و ثبات‌های شست‌وشویی و سایشی در منسوجات می‌شوند.

رنگرزی پارچه‌های نایلونی در حضور سیکلودکستین موجب افزایش حدود ۴ تا ۱۰ برابری یکنواختی رنگرزی و تغییر اندکی در قدرت رنگی می‌شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که حضور گاما سیکلودکستین در مقایسه با بتا سیکلودکستین، به دلیل پایداری نسبی بالاتر، کمپلکس سیکلودکستین - رنگ و سرعت نسبی رهایش رنگ‌زا و نفوذ آن به درون لیف منجر به افزایش جذب رنگ‌زا و یکنواختی بیشتر در رنگرزی می‌گردد. رنگ‌زاهای کاتیونی (بازیک) مهاجرت بسیار کمی بر روی الیاف اکریلیک دارند؛ بنابراین عدم یکنواختی رنگرزی در این دسته الیاف مشهود و مشکل‌ساز می‌باشد. استفاده از بتا سیکلودکستین در رنگرزی الیاف آکریلیک با رنگ‌زاهای بازیک (کاتیونی) ضمن ایجاد یکنواختی در رنگرزی، عمق رنگی را نیز افزایش می‌دهد. رنگ‌پذیری الیاف پلی‌پروپیلن اصلاح شده با سیکلودکستین، با به‌کارگیری رنگ‌زاهای اسیدی، دیسپرس و راکتیو در روش رمق‌کشی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. پارچه پلی‌پروپیلن با فرایند پد-خشک-پخت و از طریق واکنش اتصال عرضی با سیکلودکستین به فرم پلی‌پروپیلن اصلاح شده تبدیل می‌شود. تشکیل کمپلکس درجا میان رنگینه و بتا سیکلودکستین متصل به الیاف پلی‌پروپیلن موجب افزایش سرعت رمق‌کشی رنگ‌زا در حمام رنگرزی می‌شود.

## درخت سان‌ها

درخت سان‌ها، پلیمرهای شاخه‌ای با وزن مولکولی کم می‌باشند که دارای گروه‌های پایانی و گروه‌های عاملی زیاد با یک هسته مرکزی می‌باشند. گروه‌های عاملی بیرونی، تعیین‌کننده میزان حلالیت و واکنش‌پذیری درخت سان‌ها می‌باشند.

پلی پروپیلن اصلاح شده و پلی آمیدو آمین دو درخت سان پر کاربرد با گروه‌های انتهایی آمین می‌باشند که نقش بسیار زیادی در اصلاح پارچه‌های نایلونی ایفا می‌کنند. این مواد همچنین بر روی پارچه‌های پنبه‌ای و پشمی باعث بهبود رنگرزی و ایجاد خاصیت ضد میکروبی می‌گردد. این مواد با اندازه مولکولی کوچک به راحتی در کالاهای نساجی نفوذ می‌کنند؛ به طوری که رمق‌کشی و تثبیت رنگ‌زای راکتیو را بر روی الیاف اصلاح شده افزایش می‌دهد.

پیش‌عملیات رنگرزی با درخت سان‌ها، قدرت رنگی پارچه‌های پنبه‌ای را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال اتصال پلیمر بسیار شاخه‌دار با گروه انتهایی آمین به لیف پنبه سبب افزایش قدرت رنگی لیف در زمان رنگرزی بدون نمک با رنگ‌زای راکتیو می‌شود. از طرفی، در حضور اسیدسیتریک، پیش‌عملیات پنبه با پلیمرهای بسیار شاخه‌دار با گروه انتهایی آمین به عنوان عامل اتصال عرضی می‌تواند رنگ‌پذیری الیاف پنبه‌ای با رنگ‌زاهای راکتیو را ارتقاء دهد.

جهت رنگرزی الیاف پلی پروپیلن، ابتدا درخت سان آلکیل دار شده با پلی پروپیلن مخلوط می‌شود و سپس به صورت لیف ریسیده می‌شود. زمانی که این لیف درون محلول رنگی مناسب قرار می‌گیرد، رنگ درون درخت سان موجود در لیف قرار می‌گیرد و لذا لیف به آسانی رنگرزی می‌شود.

منشأ اصلی مشکلات رنگرزی پلی آمید، محدودیت تعداد گروه‌های آمینی موجود در طول زنجیرهای مولکولی آنها می‌باشد که با افزایش تعداد گروه‌های آمینی، خواص رنگرزی این دسته پلیمرها بهبود می‌یابد. افزودن درخت سان‌های پلی آمیدی و آمینی به پلیمر سبب دستیابی به پلی آمید ابر جاذب با هزینه پایین می‌شود؛ به طوری که میزان رنگ‌پذیری برخی پلیمرهای اصلاح شده با این روش تا ۳۰ برابر افزایش می‌یابد.

## نانوذرات فلزی

پارچه‌های متشکل از الیاف طبیعی (پنبه‌ای و پشمی) با خواص چندگانه نظیر پارچه‌های رنگ شده، ضد میکروب و محافظ در برابر پرتو فرابنفش به طور مؤثر از طریق سنتز در جای نانوذرات نقره درون پارچه قابل تهیه می‌باشند. عمل کردن پارچه پشمی، ابریشمی، و پنبه‌ای با نانوذرات نقره علاوه بر خواص ضد میکروبی، استحکام کششی و عمق رنگی این پارچه‌ها را نیز افزایش می‌دهد. جهت اضافه کردن نانوذرات بر سطح پارچه، پارچه مورد نظر را در درون محلول نیترات نقره غوطه‌ور می‌کنند و سپس دمای محلول را تا رسیدن به نقطه جوش افزایش می‌دهند و در انتها محلول تری سدیم سیترات به صورت قطره قطره به این مخلوط اضافه می‌کنند.



افزودن نانوذرات نقره به پارچه‌های پنبه‌ای، پشمی و ابریشمی از طریق روش پد کردن (غوطه‌وری پارچه درون محلول نانونقره به مدت ۱۰ دقیقه، پد کردن با برداشت ۷۰ درصد، خشک کردن و پخت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه و سپس رنگ‌رزی این پارچه‌ها با رنگ‌زای مستقیم، موجب افزایش قدرت رنگی می‌شود. در ضمن عمق رنگی، ثبات شست‌وشویی و نوری پارچه با عملیات بعدی پارچه با نانو کلونیدها افزایش می‌یابد. هنرآموز گرامی: در صورت فراهم بودن امکانات، این آزمایش در آزمایشگاه رنگ‌رزی انجام شود.

تکمیل نمودن پارچه پنبه‌ای با نانوذرات مس، رنگ‌پذیری لیف پنبه‌ای با رنگ‌زای مستقیم را افزایش می‌دهد. در ضمن خواص ضد میکروبی، ثبات شست‌وشویی و نوری نیز افزایش می‌یابد. نانوذرات اکسید مس نیز به عنوان یک ماده رنگ‌زا جهت رنگ‌رزی کالای پشمی استفاده می‌شود. پارچه‌های رنگ‌رزی شده با این نانوذرات از خواص ضد میکروبی و ضد اشعه فرابنفش برخوردار می‌باشند و طیف وسیعی از رنگ‌های قهوه‌ای را در پارچه می‌توان با آن ایجاد کرد.

به کارگیری نانوذراتی نظیر دی‌اکسید زیر کونیوم به عنوان دندان در رنگ‌رزی الیاف پشمی با رنگ‌زای طبیعی به روش پیش‌دندان، سبب افزایش رنگ‌پذیری و ایجاد خاصیت کندسوزی و ضد میکروبی در پارچه پشمی می‌گردد. تکمیل نمودن پارچه پلی‌استری با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و رنگ‌رزی این الیاف در غیاب ماده سمی کریر علاوه بر ایجاد فام مناسب، خواص چندگانه‌ای از قبیل خود تمیزشوندگی، آبدوستی و حفاظت از کالا در برابر پرتوی فرابنفش را به همراه دارد. با انجام عملیات فراصوتی، نانورنگ‌زاهای دی‌سپرسی تولید شده است که منجر به افزایش قدرت رنگی الیاف پلی‌استر رنگ‌رزی شده در دمای پایین می‌گردد. جهت افزایش ثبات رنگی نیز می‌توان کالای رنگ‌رزی شده با دی‌سپرسیون نانوذرات اکسید روی درون پروپانول به مدت ۱۰ دقیقه غوطه‌ور کرد. یکی از جدیدترین رویکردها در تولید الیاف پلی‌پروپیلن، اختلاط پلی‌پروپیلن با نانوذرات آلومینا و معدنی می‌باشد. این نانوذرات در حالت مذاب در داخل ماتریس پلی‌پروپیلن قرار داده می‌شوند. این نانوذرات مسیرهایی برای عبور رنگینه و جذب آن در توده پلیمر ایجاد می‌کنند. مقدار برداشت رنگینه توسط کامپوزیت پلی‌پروپیلن - نانوذرات خاک رنگ‌رزی شده با رنگ‌زاهای دی‌سپرس، با افزایش درصد نانوذرات به صورت خطی افزایش می‌یابد. استفاده از مستربچ اصلاح‌شده با نانوذرات خاک رس نیز باعث بازده بهتر رنگ‌رزی پلی‌پروپیلن می‌شود. از نیترات نقره به عنوان نمک نقره و از کلرید قلع به عنوان احیا کننده و دندان رنگ‌رزی استفاده می‌شود. در این فرایند، ابتدا عملیات دندان دادن پارچه نایلونی با کلرید قلع انجام می‌شود. پس از آن سنتز همزمان نانوذرات نقره به صورت درجا در محیط آبی بر روی سطح پارچه نایلونی و رنگ‌رزی با رنگ‌زاهای کرومی انجام می‌شود.

### نانوذرات خاک رس

خاک رس به طور معمول دارای ساختار لایه‌ای متشکل از سیلیکات آلومینیوم آب‌دار در ابعاد بسیار کوچک می‌باشد. در رنگ‌رزی به دو روش نانوذرات خاک رس استفاده می‌شود:

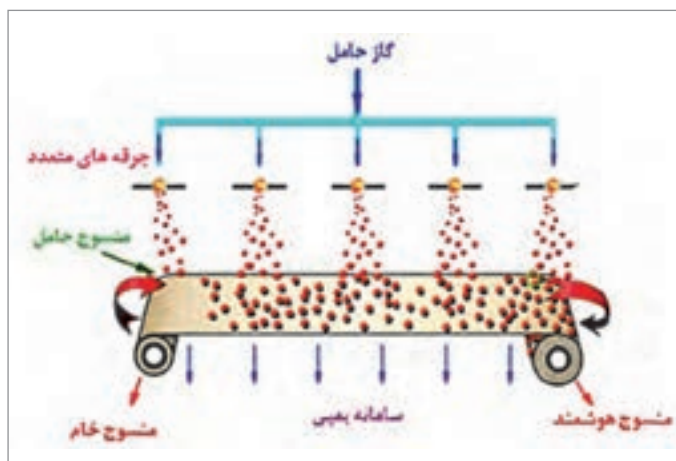
**روش اول:** نانو پوشش‌دار کردن سطح الیاف، که به علت تمایل رنگ‌زا به نانوذرات، جذب رنگ‌زا از طریق پیوندهای هیدروژنی افزایش می‌یابد و رنگ‌زای بیشتری روی پارچه جذب می‌شود.

**روش دوم:** مخلوط کردن حین فرایند ذوب‌ریسی الیاف مصنوعی، که در این حالت این مواد وارد شبکه الیاف می‌شود و در نتیجه باعث افزایش جذب رنگ‌زا در پارچه نهایی می‌شود.

## فناوری نانو در تکمیل منسوجات

هدف از به کارگیری نانو پوشش‌ها یا تکمیل نانومتری در منسوجات، تغییر خواص سطحی و ایجاد خصوصیات مختلفی نظیر ضد میکروبی، خود تمیز شونده، کندسوزی، معطر سازی، ضد بو کردن، ضد لک کردن، ضد حریق، ضد آب کردن، ضد پرتو کردن، ضد سایش، ضد حشره، ضد شعله، ضد الکتریسیته ساکن، ضد چروک و... در منسوجات می باشد.

بهبود عملکرد منسوجات با استفاده از فناوری نانو از طریق سه رویکرد الیاف حاوی نانو مواد، عملیات تکمیلی و الکترو رسی صورت می گیرد. اغلب منسوجات با خواص ارتقاء یافته موجود در بازار از طریق عملیات تکمیلی نظیر پوشش حاوی نانوذرات یا عملیات پلازما تهیه می شوند. وظیفه نانو پوشش‌ها پوشاندن سطح منسوج با لایه‌های نانومتری جهت کسب خواص مورد نظر می باشد. شکل ۱۳ دو سامانه نانومقیاس تکمیل افشانه‌ای پارچه جهت تولید و پوشش دهی نانوذرات بر سطح منسوج نشان داده شده است.



شکل ۱۳- دو سامانه نانومقیاس تولید و تکمیل افشانه‌ای نانوذرات بر روی پارچه

نانوساختارهای شفاف مورد استفاده در تکمیل منسوجات از نظر نحوه عملکرد به چهار دسته ویسکرها، تورها، لفاف‌ها و سایر نانوساختارها تقسیم می شوند. در طبیعت زنجیرهای سلولزی به صورت بلورهای فشرده (ویسکر) آرایش می یابند؛ به طوری که این ساختار از طریق پیوندهای هیدروژنی درون و میان مولکولی تثبیت می شوند؛ به همین علت در آب و اکثر حلال‌های آلی انحلال ناپذیر می باشند. ویسکرها نانوالیاف میله ای شکل بلوری می باشند که با استفاده از عامل اتصال دهنده به سطح الیاف متصل می شوند و بدون تغییر در قابلیت تنفس منسوجات باعث ایجاد خواصی نظیر دفع آب، دفع روغن، دفع لک، ضد چروک، افزایش نرمی و حفظ زبردست، افزایش ثبات شست و شویی و... در منسوجات می گردند؛ بنابراین در مقایسه با رزین‌های تکمیلی از مقبولیت بیشتری برخوردارند.

قرارگیری الیاف در مرکز یا هسته توری‌های نانومتری با ساختار مولکولی سه بعدی، امکان تغییر خواص الیاف مصنوعی نظیر پلی استر را فراهم می کند و زبردست آنها را شبیه پنبه می کند. خاصیت موینگی ایجاد شده در الیاف، سبب جذب و انتشار سریع رطوبت بدن و خنک شدن شخص می شود؛ به طوری که به فرد احساس راحتی می دهد.

لغاف‌های نانومتری با دربرگرفتن الیاف به صورت کامل، سبب تغییر و بهبود خواص الیاف می‌شوند. این نوع تکمیل باعث افزایش استحکام، بهبود ثبات رنگ، جلوگیری از چروک پذیری پارچه، مقاومت در برابر الکتریسیته ساکن و... می‌شود.

در صنعت نساجی نانوساختارهایی نظیر نقره، دی‌اکسید سیلیکون، دی‌اکسید تیتانیوم، اکسید روی، اکسید (هیدروکسید)‌های آلومینیوم، نانوذرات خاک رس، نانو لوله‌های کربن، کربن سیاه، اکسید (هیدروکسید)‌های مس، طلا، آهن و... بیشترین کاربرد را دارا می‌باشند. با استفاده از نانومواد و ساختارهای نانومتری امکان ایجاد گستره وسیعی از خصوصیات و عملکردها نظیر کندسوزی، ضدآب و روغن، خود تمیزشوندگی، افزایش ثبات رنگ، ضد میکروبی، ضد پرتویی، ضد الکتریسیته، ضد لک و... را می‌توان در منسوجات ایجاد کرد. هنگامی که از نانومواد در فرایند تولید و تکمیل منسوجات استفاده می‌شود؛ این مواد ممکن است به درون الیاف وارد شوند (نانوساختار) یا به صورت پوشش (نانو پوشش) بر سطح الیاف قرار بگیرند. در ادامه به برخی از خصوصیات و عملکردهای افزوده شده در منسوجات با استفاده از فناوری نانو پرداخته می‌شود.

### منسوجات ضد میکروب، ضد مایت (کنه خانگی) و ضد بو و عطر آگین

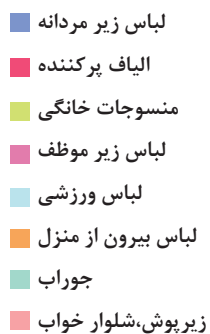
استفاده از منسوجاتی با خواص ضد میکروبی در البسه، فرش و اثاثیه منزل مزایای زیادی دارد. در پارچه‌های تهیه شده از الیاف مصنوعی نظیر نایلون، پلی پروپیلن و فرش‌ها می‌توان از بی نظیرترین و رایج‌ترین مواد ضد میکروب یا ضد پاتوژن یا میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (قارچ، باکتری، ویروس، جلبک، هاگ و...) و مواد ضد مایت فرش، نظیر اکسید روی، اکسید مس، دی‌اکسید تیتانیوم و نانوذرات نقره و طلا برای ایجاد خاصیت ضد میکروبی و مهارکننده باکتری‌ها و قارچ‌ها استفاده کرد.

منسوجات ضد میکروب، اغلب در مراحل تولید الیاف (ذوب ریزی، تر ریزی، الکترو ریزی)، با عبور منسوج از درون محلول حاوی نانوذرات و یا با افزودن مواد ضد میکروب در مراحل تکمیل و رنگرزی، ضد میکروب می‌شوند. نانوذرات نقره به دلیل توانمندی آن در کشتن باکتری و قارچ‌ها و جلوگیری از ایجاد بوی زننده حاصل از میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا بر روی البسه استفاده می‌شود. ذرات نانو نقره با بار مثبتی که ایجاد می‌کنند، موجب توقف عملکرد سلول‌های باکتریایی می‌شوند. اندازه کوچک ذرات باعث می‌شود که پارچه نرمی و قابلیت پوشش خود را از دست ندهد.

کفپوش‌های معطری نیز با سیکلودکسترین‌ها، درخت‌سان‌ها یا نانو کپسول‌های پلیمری تولید می‌شوند که ماده معطری درون حفره میانی این مواد قرار داده می‌شود که بر اثر فشار ناشی از راه رفتن بر روی فرش آزاد شده و رایحه خوشی را در محیط خانه رها می‌کند. استفاده از رنگینه‌های طبیعی نظیر پوست انار، حنا، پوست گردو، زردچوبه و... ضمن ایجاد رایحه خوشایند در منسوج، خاصیت ضد قارچ و ضد باکتریال نیز به منسوج اضافه می‌کند.

آیا می‌دانید





شکل ۱۴- نمودار آمار مصرف برخی منسوجات ضد باکتری

لباس های خانگی، زیرپوش های زنانه و مردانه، لباس های تنگ پایین تنه، باندهای زخم، ماسک ها، منسوجات بیمارستانی و آزمایشگاهی، منسوجات ورزشی و بیرونی، منسوجات بسته بندی مواد غذایی، منسوجات داخل خودرو و هواپیما، روکش کفش ها، جوراب ها، فیلتر هوا و تصفیه آب، کفپوش های ماشینی، چمن های مصنوعی و سایر لباس های زیر نیز بیشترین تقاضا را برای منسوجات ضد میکروبی دارند. شکل ۱۴ نمودار آمار مصرف برخی منسوجات ضد باکتری در دنیا نشان داده شده است.

به طور کلی دو رویکرد مختلف به منظور کنترل بوی نامطبوع منسوجات ناشی از تعریق وجود دارد:

**روش اول:** روش جلوگیری؛ در این روش جلوگیری از ایجاد بوی نامطبوع در منسوجات با استفاده از نانو مواد ضد میکروب نظیر نانوذرات فلزی امکان پذیر می باشد. در این روش از رشد و تکثیر باکتری های مسبب تجزیه ترکیبات و ایجاد کننده بوی نامطبوع، جلوگیری به عمل می آید.

**روش دوم:** روش جذب؛ در این روش نانومواد جاذب بوی نامطبوع در منسوجات نظیر گروه های سیکلودکسترین ها، نانوذرات کربن فعال، نانوذرات خاکستر بامبو و پلیمرهای قاصدکی و... بدون تغییر در ساختار ترکیبات ناشی از تعریق، مولکول های ایجاد کننده بو را مهار می کنند یا به دام می اندازند. نانوذرات یا نانومواد ضد میکروب با استفاده از روش های تخریب غشای سلولی، رهایش یون های سمی، اختلال در انتقال الکترون، اکسیداسیون پروتئین، جمع شدگی غشا و تولید اکسیژن فعال میکروارگانیسم ها (عوامل بیماری زا) را غیر فعال می کنند. منسوجات ضد میکروبی و ضد عفونی کننده از نظر روش های تأثیر بر میکروارگانیسم ها به سه دسته تقسیم می شوند:

**۱ منسوجات با خاصیت فعال شوندگی در برابر نور:** منسوجات تکمیل شده با دی اکسید تیتانیوم در اثر جذب نور، غشای سلولی میکروارگانیسم ها را اکسید می کنند و سبب از بین رفتن آنها می شوند. مواد فوتوکاتالیستی که از خاصیت ضد میکروبی برخوردار می باشند، در معرض پرتوهای الکترومغناطیس نظیر فرابنفش، اکسیژن فعال تولید می کنند که طیف وسیعی از ترکیبات مضر و بدبو را اکسید می کنند.

**۲ منسوجات با مواد ضد میکروب غیر قابل انتشار:** پوششی نانویی از مواد ضد میکروب بر سطح منسوجات قرار می گیرد. برهم کنش میان بار مثبت ماده ضد میکروب و بار منفی غشای سلولی میکروارگانیسم ها باعث کاهش رشد و تکثیر میکروب ها و نابودی آنها می شود.

**۳ منسوجات با قابلیت رهایش مواد ضد میکروب قرار داده شده در آنها:** در این حالت ماده ضد میکروب نظیر تریکلوسان، نقره و مس منتشر شده، سبب جلوگیری از رشد میکروب، بیماری، قارچ و دفع بوی بد و عفونت می شود. نانوذرات خاکستر بامبو در مرحله تولید الیاف کفپوش های نایلونی، پلی استری، پلی پروپیلنی علاوه بر حبس مولکول های ایجاد کننده بو در منافذ نانومتری موجود در خاکستر بامبو، سبب افزایش خاصیت عایق حرارتی این الیاف شده و گرمی بیشتری در محیط ایجاد می کنند.

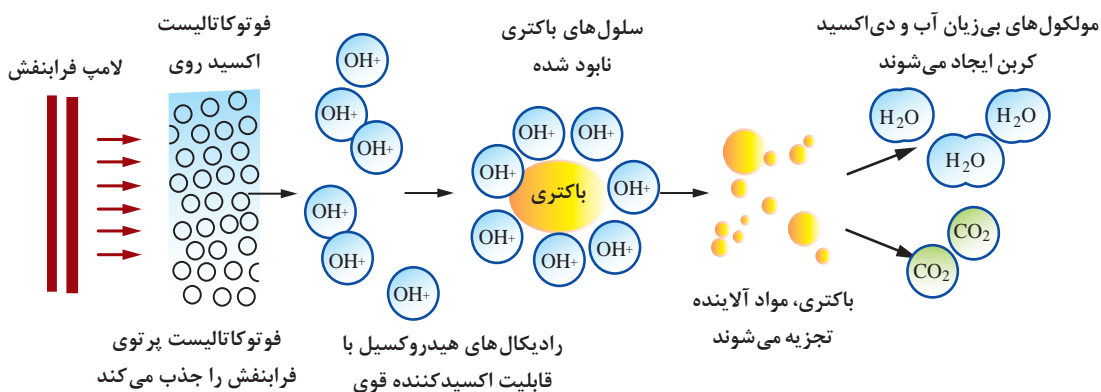


تولید پارچه‌های ضد میکروب و ضد بو با استفاده از نانوذرات اکسید روی، اکسید مس و نقره در مقایسه با روش‌های شیمیایی و سنتی، سازگاری بیشتر و بهتری با محیط زیست دارد. جوراب‌هایی که با نانوذرات نقره تکمیل شده‌اند از رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها و ایجاد بو در پا جلوگیری می‌کنند.

## منسوجات ضد پرتوی فرابنفش

محافظت در برابر پرتوهای فرابنفش به دلیل تخریب لایه ازن و تهدید ناشی از سرطان، پیر شدن زود هنگام پوست، آفتاب سوختگی پوست و... از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. فناوری نانو امکان تولید لباس‌های مناسب، نازک و سبک مناسب و محافظ در برابر پرتوی فرابنفش را برای فعالیت در فضای بیرون از خانه فراهم کرده است. پوشش نانویی ضد UV ایجاد شده روی منسوجاتی نظیر پرده، مانع از ورود پرتوی فرابنفش به فضای منزل می‌گردد و از آسیب به پوست و چشم جلوگیری می‌کند. این مواد مانع از سفید شدن و رنگ پریدگی در منسوجاتی نظیر پرده، فرش، مبلمان و... می‌گردند.

برای این منظور از پوشش‌های نانو کامپوزیت‌های نیمه‌هادی حاوی نانوبلورهای اکسید روی، دی‌اکسید تیتانیوم، دی‌اکسید سیلیسیم، تری‌اکسید آلومینیوم و... در یک بستر پلیمری استفاده می‌شود که علاوه بر شفافیت، در برابر سایش مقاوم بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشند. نانواکسید روی به محض اینکه در معرض نور خورشید یا اشعه فرابنفش قرار می‌گیرند، فوتوکاتالیست مؤثر اکسید روی تولید می‌کند که طی فرایندی منجر به تجزیه باکتری‌ها و مواد آلاینده می‌شود. اکسید روی همچنین به عنوان ماده ایجادکننده خواص خود تمیز شونده و ضد میکروب در منسوجات نیز استفاده می‌شود. پارچه‌های تکمیل و اصلاح شده با این نانوذرات در مقایسه با پارچه اصلاح نشده، میزان محافظت پارچه در برابر پرتوی فرابنفش را ۵ برابر بیشتر می‌کند و پس از ۵۵ بار شست‌وشو، همچنان کیفیت عدم جذب پرتو در این پارچه باقی می‌ماند. در شکل ۱۵ تأثیر فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی در مجاورت پرتوی فرابنفش بر خواص ضد میکروبی نشان داده شده است.



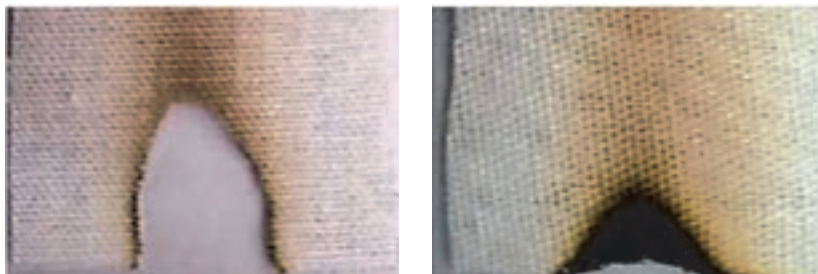
شکل ۱۵- تأثیر فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی در مجاورت پرتوی فرابنفش بر خواص ضد میکروبی

در حال حاضر استفاده از نانوذرات اکسید روی با خاصیت محافظت در برابر پرتو فرابنفش، ضریب ایمنی بالا در لباس زیر و کودک، عدم تغییر رنگ و شفافیت سطح پارچه در انواع ملحفه، روتختی، روبالشی، رومیزی، مبلمان، پرکننده‌های بالش و لحاف و... بسیار معمول شده است.

همواره رعایت احترام، ادب، حیاء، دقت، انضباط کاری و اخلاق حرفه‌ای را در سرلوحه کار خود قرار دهید. در حفظ و نگهداری وسایل و تجهیزات کوشا باشید و در زمان کار از وسایل و تجهیزات ایمنی استفاده کنید.

## منسوجات ضد آتش و دیرسوز یا کندسوز

یکی از کاربردهای دیگر فناوری نانو، تکمیل منسوجات با نانو ساختارها جهت ایجاد خاصیت دیرسوزی در منسوجات می‌باشد. انواع پوشش‌های نانومقیاس نظیر پوشش‌های محافظ آتش که در منسوجات به کار می‌رود باعث افزایش ایمنی و ارزش افزوده در منسوجات می‌گردد. البسه و کفپوش‌ها از مهم‌ترین عوامل اصلی گسترش آتش‌سوزی، در منازل و اماکن عمومی، ساختمان‌های تجاری و مسکونی مرتفع می‌باشد. بروز آتش‌سوزی‌ها در این اماکن باعث تشکیل دود و گازهای سمی، گازهای اسیدی مخرب می‌شود و بالطبع خفگی ساکنان را به همراه خواهد داشت. یکی از روش‌های ممکن جهت کاهش خسارات ناشی از آتش‌سوزی منازل و اماکن عمومی استفاده از مواد تأخیرانداز شعله نظیر نومکس می‌باشد. این مواد به شکل فیزیکی با ایجاد پیوند بر روی پلیمر منسوجات، مانع از گسترش سریع آتش در اماکن، لباس آتش‌نشانان، کارگران ذوب فلزات و... می‌شوند. نانوذرات رس، بوروسیلوکسان و نانولوله کربنی، نانو هیدروکسید آلومینیوم و منیزیم، تری هیدرات آلومینا، اسیدبوریک و نمک‌های هیدراته آن، بورات سدیم (بوراکس)، نمک‌های آمونیوم، دی آمونیوم فسفات، کربنات آمونیوم، ترکیبات نیتروژن، نمک‌های معدنی (کربنات سدیم) و... با مکانیزم‌هایی از قبیل کاهش دمای سوختن، افزایش نقطه اشتعال الیاف، کاهش سرعت حرکت آتش، کم کردن طول شعله، ایجاد لایه‌ای نفوذناپذیر بر روی کالا، تولید خاکستر غیر قابل اشتعال، پوشش کالاهای نساجی توسط نمک‌های آمونیوم و... مانع از گسترش سریع آتش می‌گردند. استفاده از نانوذرات کندسوز در مرحله ذوب‌ریسی الیاف مصنوعی نیز معمول می‌باشد. شکل ۱۶ عکس‌العمل نمونه پارچه خام و نمونه عمل شده با مواد نانویی تأخیرانداز شعله



شکل ۱۶- عکس‌العمل نمونه پارچه خام و عمل شده با مواد نانویی تأخیرانداز شعله



مواد نانوساختار نظیر نانوذرات رس، نانولوله کربنی، نانوذرات سیلیکونی و اکسید فلزی، میکا (ورقه نازک سیلیکا)، نانوهیدروکسید آلومینیوم و منیزیم و... به خوبی در درون ماتریس پلیمری نفوذ کرده و دیسپرس می‌شوند. این مواد نانو کامپوزیت‌هایی را تشکیل می‌دهند که ضمن حفظ نرمی و لطافت پارچه، باعث بهبود خواص ضدآتش در الیاف، کاهش سرعت رهایش حرارت، افزایش تشکیل خاکستر، کاهش میزان تولید دوده، کاهش میزان تولید گاز مونواکسید کربن، کاهش میزان رهایش گازهای ناشی از سوختن پلیمر، افزایش استحکام و سایر خواص فیزیکی و... می‌شوند.

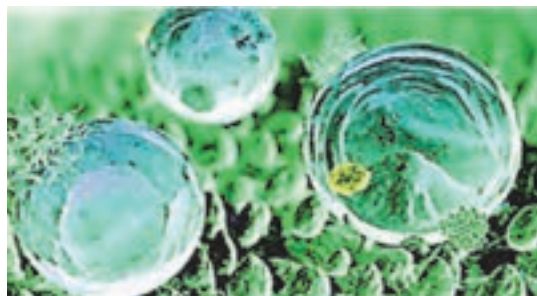
تحقیق کنید



در مورد ضد آتش کردن پارچه‌های ریون، پشمی، پنبه‌ای، نایلونی، پلی پروپیلنی، پلی استری و... با فناوری نانو در ایران و سایر کشورهای دیگر تحقیق و بررسی کنید و نتایج را در کلاس گزارش دهید.

## منسوجات ضد لک، ضد آب و خود تمیز شونده

نیاز جهانی به منسوجات خانگی، نظامی، بیمارستانی، بهداشتی، ورزشی و... که نیازمند نگهداری نیستند، روزبه‌روز در حال افزایش می‌باشد. از جمله خواصی که در جهت رفع این نیاز می‌باشد، ایجاد خواص دفع آب و لک در منسوجات با اثر ماندگاری طولانی می‌باشد. با به‌کارگیری فناوری نانو در عملیات تولید و تکمیل پارچه، قطرات مایع نمی‌توانند درون پارچه‌های مقاوم در برابر مایعات نفوذ کنند. این اثر شبیه اثر موجود در پوست سوسک، بال حشرات و پروانه‌ها، برگ‌ها و گل‌های زنبق یا نیلوفر آبی یا گل لادن و... می‌باشد که با یک لایه واکس به ضخامت یک نانومتر پوشیده شده‌اند. قطرات آب یا باران بر روی این گل‌ها و برگ‌ها به صورت دانه‌های کوچک و گرد در می‌آیند که با لغزیدن بر روی سطح نانویی ناهموار برگ و گل گیاه، آلودگی، گرد و غبار و... که در قطرات آب معلق شده‌اند را نیز با خود خارج می‌کنند. در شکل ۱۷ اثر دفع آب، لک و خود تمیز شوندگی برگ گل نیلوفر در حالت عادی و زیر میکروسکوپ نشان داده شده است.



شکل ۱۷- اثر دفع آب، لک و خود تمیز شوندگی برگ گل نیلوفر در زیر میکروسکوپ و در حالت عادی

منسوجات فراوری شده با برخی نانومواد، قادرند مایعات را جذب کرده یا حرکت دهند و با این کار هر گونه آب، لک و آلودگی از قبیل لک سس، قهوه، چمن، روغن و... را از منسوج دور کنند و در عین حال خللی در تنفس پذیری منسوج ایجاد نکنند. اساس کار لباس‌های ضد لک و ضد آب تغییر در کشش سطحی منسوج می‌باشد.

دو روش مختلف برای ایجاد خاصیت خود تمیز شونده در منسوجاتی نظیر رومیزی‌ها، ملحفه‌ها و... وجود دارد: **روش اول:** نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با قابلیت فوتوکاتالیستی که از توانایی تجزیه لکه‌های آلی برخوردار هستند، روی سطح منسوج تثبیت می‌شوند. با استفاده از انرژی پرتوی خورشید، دی‌اکسید تیتانیوم، دو ماده واکنش‌دهنده اکسایشی رادیکال‌های هیدروکسیل و آنیون سوپراکسید ایجاد می‌کند. این دو ماده از طریق واکنش اکسایشی، لکه آلی را تجزیه می‌کنند.

**روش دوم:** با ابر آب‌گریز کردن سطح منسوجات با استفاده از نانولوله‌های کربنی، نانوذرات سیلیس و کامپوزیت‌های پلیمری حاوی فلئورواکریلات - نانوذرات، قطرات آبی که بر سطح منسوج می‌لغزند، آلاینده‌های سطحی منسوج را جدا می‌کنند.

ایجاد ناهمواری‌های نانومتری بر سطح منسوج (اصلاح شیمیایی و هندسی سطح منسوج) که مانعی در جهت چسبندگی سطحی بر سطح منسوج شده و امکان آب‌گریزی و دفع آلاینده‌های سطحی را فراهم می‌کند. آلودگی‌های سطح منسوج به راحتی در حضور آب از روی منسوج آب‌گریز غلتیده و جدا می‌شود و به این ترتیب سطح منسوج تمیز می‌گردد. جالب است بدانید که در ضدلک و ضدباکتریال کردن پارچه‌ها از خواص طبیعی گل‌هایی نظیر بنفشه، الگوبرداری می‌شود. روی سطح این گل‌ها برجستگی‌ها یا پرزهای بسیار ریز در حد نانو وجود دارد که مانع از نفوذ آب در گل‌ها و برگ‌ها می‌شود.

## تکمیل ضد الکتریسیته ساکن

در اثر تماس یا مالش منسوجات به بدن اشخاص، الکتریسیته ساکن در بدن شارژ می‌شود. برخی موارد تجمع بار الکتریکی به حدی می‌رسد که در اثر تماس شخص با فلزات، تخلیه بار همراه با جرقه همراه می‌شود که باعث ایجاد یک شوک و احساس ناخوشایند در اشخاص و گاهی احتمال انفجار در محیط‌های قابل اشتعال می‌گردد. به منظور ممانعت از ایجاد الکتریسیته ساکن در منسوجات، برخی از الیاف با مواد افزودنی آنتی‌استاتیک تکمیل می‌شوند. این مواد با افزایش رسانایی سطح لیف و یا کاهش اصطکاک میان الیاف، مانع ایجاد الکتریسیته و خواص نامطلوب و خطرناک آن می‌گردد. استفاده از نانوذرات کربن در تولید الیاف و یا استفاده از دیسپرسیون این ذرات به‌عنوان ماده تکمیلی بر روی الیاف می‌تواند با افزایش میزان رسانش و امکان انتقال الکترون، موجبات کاهش میزان الکتریسیته ساکن را بر روی منسوجات و کفپوش‌ها فراهم کند. استفاده از نانوذرات فلزی نظیر نقره، مس، روی، نیکل و... علاوه بر کاهش میزان الکتریسیته ساکن در الیاف منجر به ایجاد خواصی از قبیل خواص ضد میکروبی و ضد پرتوهای فرابنفش در منسوجات می‌گردد. در مورد کفپوش‌های اکریلیکی پوشش نانوذرات نقره، تیتانیوم و روی بر سطح الیاف موجب ایجاد خواص ضد میکروبی، آنتی‌استاتیک، محافظت در برابر پرتوی فرابنفش، دافع آب و کندسوزی می‌شود. از افشانه‌های خانگی حاوی نانوذرات نیز می‌توان برای کاهش میزان الکتریسیته ساکن در کف‌پوش‌ها و منسوجات استفاده کرد.

## منسوجات هوشمند

الیاف و پارچه‌های مبتنی بر فناوری نانو، بازه وسیعی از منسوجات هوشمند را شکل داده اند که می‌توانند در کاربردهای متفاوتی از قبیل لباس‌های ورزشی، ایمنی، منسوجات بهداشتی و پزشکی، ژاکت‌های خودشیرنگ، ژاکت‌های سرگرم‌کننده، جلیقه حسگر کودک، لباس‌های مد، پتو و حوله، کفپوش‌ها و... استفاده شوند. در برخی منسوجات هوشمند یک سامانه هوشمند حاوی نانوذرات یا نانو کپسول‌های حافظه‌دار و تغییر فاز دهنده وجود دارد که قادر به کنترل و حس کردن شرایط، محرک‌های محیطی، داده‌های حیاتی می‌باشد. محرک‌ها و پاسخ‌ها به صورت شاخص‌های الکتریکی، حرارتی، مکانیکی، شیمیایی، مغناطیسی و... می‌باشند.

منسوجات تنظیم‌کننده دما نمونه‌ای از منسوجات هوشمند به‌شمار می‌روند؛ به طوری که در محیط‌های سرد با آزادسازی انرژی حرارتی ذخیره شده، گرما تولید می‌کنند و در محیط‌های گرم با جذب عرق بدن و انرژی حرارتی، احساس خنکی را ایجاد می‌کنند. اخیراً با ترکیب فناوری‌های حسگر بر روی منسوجات، امکان تولید پارچه‌های تغییر رنگ دهنده در شرایط مختلف (مثل آفتاب پرست) جهت استفاده در استتار و... فراهم شده است. پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۲ میلادی رشد منسوجات هوشمند و فنی در دنیا از مرز ۴۵ درصد فراتر رود.

در منسوجات هوشمند با استفاده از فناوری نانو و تلفیق حسگرها و مدارات الکترونیکی و تغییر خواص فیزیکی ناشی از یک واکنش شیمیایی نظیر تغییر سطح مقطع الیاف و... خواصی نظیر جذب و دفع مواد، امکان تطبیق و تعدیل دمای بدن، محافظت از بدن در شرایط سخت، ذخیره انرژی، رهگیری و انتقال علائم حیاتی و... به پارچه داده می‌شود.

آیا می‌دانید



بسیاری از منسوجات هوشمند در لباس‌های ورزشی با هدف تأمین راحتی، ایمنی، انعطاف پذیری، نرمی و بهداشت استفاده می‌شوند. انتقال برخی خواص ضد میکروبی، ضد پرتو، ضد بو، ضد لک و... به لباس‌های ورزشی از طریق پوشش‌دهی منسوجات با فناوری نانو و استفاده از نانوالیاف با خواص ویژه انجام می‌شود.

نکات ایمنی و بهداشت



## معایب و مضرات فناوری نانو

هر چند گفته می‌شود نانوفناوری، قابلیت تولید و کاربرد فناوری‌های تمیزتر را دارا می‌باشد؛ اما در کاربرد نانومواد یا ریزمواد لازم است جانب احتیاط رعایت شود. تحقیقات در مورد خطرات بالقوه نانوذرات به اندازه تجاری‌سازی نانومواد پیشرفت نکرده است. تحقیقات نشان می‌دهد، برخی از نانوذرات نظیر نانونقره و دی‌اکسید تیتانیوم به کار رفته در البسه تحت تأثیر عوامل محیطی و تعریق از سطح منسوج جدا می‌گردد. استفاده گسترده نانونقره در منسوجات همچنین منجر به افزایش نقره در پساب کارخانجات تکمیل نساجی می‌شود که همین امر باعث مسمومیت و از بین رفتن آبزیان می‌گردد. با افزایش غلظت یون‌های نقره در پساب‌های کارخانجات نساجی و استفاده از لجن آن به عنوان کود، ضمن آلودگی اکوسیستم خاک در درازمدت، محصولات کشاورزی نیز به این سم آلوده می‌گردند. یون‌های نقره در غلظت‌های پایین باعث تکامل باکتری‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک می‌گردد.

تحقیقات نشان می‌دهد، افرادی که در معرض انتشار نانومواد قرار دارند، ممکن است دچار عوارض جبران‌ناپذیری گردند. ورود نانوذرات به آب‌های زیرزمینی و کشاورزی سبب آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد. یک دسته از نانومواد خطرناک، کربن سیاه می‌باشد که در صنایع چاپ، نساجی، لاستیک‌سازی و... استفاده می‌شود که استنشاق این ماده در درازمدت منجر به ایجاد بیماری‌های تنفسی نظیر برونشیت و سرطان ریه می‌گردد. از نانومواد مضر دیگر می‌توان به نانوذرات کربن و نانو اکسید تیتانیوم به کار رفته در مواد آرایشی و بهداشتی اشاره کرد که استفاده بلندمدت آنها باعث ورود به سلول‌های بدن و کاهش قدرت دفاعی بدن و تصلب بافت‌ها می‌گردد. دسته سوم نانوذرات مضر، نانوذراتی می‌باشند که به صورت ناخواسته به عنوان محصول فرعی بعضی فرایندها مثل سوخت‌های فسیلی، گداختن فلزات و حرارت دادن به پلیمرها تولید می‌شوند و از طریق استنشاق و پوست جذب بدن و سیستم گردش خون می‌شوند.

## چشم‌انداز نانو در صنعت نساجی

منسوجات همیشه نقش حیاتی در زندگی انسان بازی کرده‌اند و با گسترش فناوری نانو نقش آن در قرن بیست و یکم پررنگ‌تر شده است. از طرفی؛ در حالی که هیچ جایگزین جدی برای منسوجات متعارف در زمینه پوشاک و دکوراسیون داخلی وجود ندارد، پیش‌بینی می‌شود، در آینده‌ای نزدیک منسوجات و مواد مرکب مبتنی بر منسوجات، جایگزین بسیاری از مواد فلزی و پلاستیکی مورد استفاده در صنعت خودرو، کشتی‌سازی، ساختمان، هوانوردی، برق و الکترونیک، کالاهای ورزشی و پزشکی، تجهیزات کشاورزی، مواد چوبی یا چرمی مبلمان و... شوند. در مقیاس جهانی، صنعت تولید الیاف، منسوجات و محصولات مبتنی بر منسوجات در حال رشد و تکامل می‌باشد. بخش قابل توجهی از این رشد در مناطقی از جهان که تجربه سریع نرخ رشد در مصرف منسوجات مرسوم را دارند، نظیر کشورهای آسیای جنوبی و شرقی و آمریکای لاتین صورت خواهد گرفت. بنابراین چشم‌انداز آینده صنعت نساجی و پوشاک تنها حول مفهوم پویایی، نوآوری، حرکت مبتنی بر دانش و فناوری و شبکه‌های مشتری مدار تجارت شکل می‌گیرد.

از نظر چشم‌انداز بازار، منسوجات الکترونیکی و هوشمند در ابتدای راه می‌باشند. در عین حال توسعه آنها بسیار امیدبخش می‌باشد. در کوتاه‌مدت، اجزایی مانند آنتن‌های پارچه‌ای، الیاف تحریک‌شونده با گرما، حسگرهای دما، الکترودهای حسگر پارچه‌ای، کلیدهای عمل‌کننده با فشار، سلول‌های خورشیدی و پیل‌های خورشیدی تأمین برق و... و در بلندمدت رایانه‌های الکترونیکی آلی، پیل‌های سوختی، ژنراتورهای حرارتی و... با گسترش فناوری نانو بیشتر پیشرفت خواهند کرد.

در آینده‌ای نزدیک همچنین سربازان می‌توانند در پناه یونیفرم‌های نانویی مجهز به سیستم حسگر، الکترونیکی، ضد گلوله سبک، بادوام، مقاوم، نامرئی و همرنگ‌شونده با محیط اطراف، ایمنی بیشتری داشته باشند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۲ میلادی، رشد جهانی منسوجات نانوفناورانه در زمینه پوشاک ۱۱ درصد، منسوجات ورزشی ۱۳ درصد، پزشکی ۲۲ درصد، نظامی ۲۹ درصد، خانگی ۳۷ درصد، هوشمند و فنی ۴۵ درصد رشد داشته باشند.

پیش‌بینی می‌شود استفاده از منسوجات هوشمند و خود تمیز شونده، به علت تمایل مصرف‌کنندگان به افزایش سطح پاکیزگی، بحران و کمبود آب و مصرف بی‌رویه مواد شوینده نفتی با رشد چشمگیری در آینده‌ای نه چندان دور مواجه شود که نویدبخش حفاظت بیشتر از محیط زیست می‌باشد.

نکات  
زیست‌محیطی



## شایستگی ۲- کاهش تأثیر عملیات نساجی بر محیط زیست

### تأثیر مواد آلاینده بر محیط زیست

حفظ محیط زیست و بازیافت پسماندها یکی از دغدغه‌های همیشگی بشر بوده است؛ به طوری که امروزه باعث ایجاد محدودیت‌هایی در این زمینه شده است. آلودگی محیط زیست یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین معضلاتی می‌باشد که جهان امروز با آن مواجه می‌باشد. آگاهی انسان نسبت به اهمیت محیط زیست سالم و پاک برای زندگی بهتر و سالم‌تر رو به افزایش می‌باشد. تولید جهانی و استفاده از ترکیبات شیمیایی، که بسیاری از آنها در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم می‌باشند، در چند دهه اخیر به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این ترکیبات بعد از مصرف وارد محیط زیست می‌شوند؛ بنابراین ارائه راهکارها و استفاده از فناوری‌های جدید جهت کاهش مصرف و حذف آلاینده‌ها از محیط زیست ضروری می‌باشد.

پیشرفت و توسعه تکنولوژی در جوامع صنعتی و در حال رشد از یک منظر برای مردم آن جوامع، رفاه و آسایش به ارمغان آورده است، ولی از جنبه دیگر صدمات و ضررهایی به محیط زیست آنها وارد شده است که گاهی فاجع آفرین می‌باشد و در بیشتر موارد، امکان جبران ضایعات و خسارات وارد شده به اکوسیستم پیرامون غیر ممکن می‌باشد. برهم زدن موازنه فعال اکوسیستم، باعث نابودی و از بین رفتن گونه‌های مختلف جانوری و گیاهی می‌شود؛ به عنوان مثال اگر میزان اکسیژن محلول در آب‌های سطحی از میزان ۶ میلی‌گرم در لیتر کمتر شود، ادامه حیات آبزیان غیر ممکن می‌شود.

پساب یا فاضلاب صنایع نساجی یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست به شمار می‌رود که به علت تنوع روش‌های تولید، مصرف رنگ‌زا و مواد شیمیایی متنوع، آلودگی، پساب و فاضلاب‌های متنوع و بسیار زیادی تولید می‌کنند که در فرایند بازیافت، تصفیه و پاکسازی دارای پیچیدگی‌های خاصی می‌باشند. به علت غیر قابل تجزیه بیولوژیکی بودن این پساب‌ها، ورود آنها به محیط زیست، آثار منفی بسیار زیادی بر زیست جانداران و سلامت انسان می‌گذارد و آثار و عوارض نامطلوبی را در آینده به همراه خواهد داشت.

به کمک مربی خود فهرستی از عملیات نساجی که منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود را جمع‌آوری کنید و به بحث و تبادل نظر بپردازید.

نکات  
زیست‌محیطی



فعالیت  
کلاسی



## مواد آلاینده موجود در پساب نساجی

مهم‌ترین آلودگی در صنعت نساجی، آلودگی آب می‌باشد. هر چند آلودگی‌های دیگر نظیر آلودگی ناشی از تبخیر مواد شیمیایی و پرز، گردوغبار، سرو صدا و... را نیز نباید از نظر دور داشت؛ ولی آلودگی‌های مهم و قابل توجه در صنایع نساجی شامل مواد معلق مثل روغن و چربی، خرده‌الیاف و پرزها، مواد سطح فعال، مواد رنگ‌زا، اسیدها و قلیاها، نمک‌ها، گرد و خاک و کثافات، واکس‌ها، مواد آهاری، غلظت‌دهنده‌ها، پیگمنت‌ها، دترجنت‌ها، صابون‌ها و... می‌باشد. در میان انواع پساب‌های صنعتی، تخلیه پساب‌های رنگی و سمی بخش‌های رنگرزی و چاپ با بار آلودگی بسیار بالا، معضلات زیست‌محیطی شدیدی را به وجود می‌آورد. عمده‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست در بخش نساجی پساب یا فاضلاب‌های صنعتی حاصل از فرایندهای شست‌وشو، رنگرزی، چاپ و تکمیل نساجی می‌باشد؛ به طوری که جهت تولید هر کیلوگرم محصول صدها لیتر آب مصرف می‌شود. حدود ۱۵ درصد از مواد رنگ‌زا در طی فرایندهای رنگرزی، چاپ و... هدر می‌رود و به صورت پساب وارد محیط‌زیست می‌شود. هر متر مکعب پساب تصفیه نشده می‌تواند ۵۰ متر مکعب آب را آلوده کند.

تخلیه پساب‌های رنگی به همراه سایر مواد کمی مصرفی، ترکیبات آلی، مواد جامد معلق، فلزات سنگین با قابلیت تجزیه زیست‌محیطی کم و... در فرایندهای تر و خشک نساجی سبب برهم زدن جنبه‌های زیبایی محیط‌زیست، جلوگیری از نفوذ نور به داخل آب، اختلال در عمل فتوسنتز گیاهان آبی و جلبک‌ها در آب، کاهش انتقال اکسیژن به داخل آب، از بین رفتن گونه‌های مختلف جانوری، گیاهی و آبزیان، تغییرات جنسی در آبزیان، گسترش امراض و بیماری‌های مختلف، افزایش اختلالات ذهنی و گوارشی، گسترش انواع سرطان‌ها و بیماری‌های لاعلاج، شیوع میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا، آلودگی خاک، و آب‌های زیرزمینی، خزه‌زدگی و... می‌شود.

پساب صنایع نساجی از نظر کمی زیاد و از نظر کیفی بسیار آلاینده و سمی می‌باشد. پساب کارخانجات نساجی که در فرایندهای آهارزنی، شست‌وشو، رنگرزی، چاپ و تکمیل کالای نساجی تولید می‌شود حاوی رنگ‌زا و ترکیبات آلی، مواد جامد معلق، فلزات سنگین با قابلیت تجزیه زیست‌محیطی کم و... با PH‌های متفاوت می‌باشند و شاخص‌های COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) و BOD (اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی) و TSS (کل ذرات جامد معلق) آنها بسیار بالا می‌باشد.

### پساب شست‌وشو، رنگرزی، چاپ و تکمیل

پساب حاصل از شست‌وشو و آهارگیری یکی از آلوده‌ترین پساب‌ها در نساجی می‌باشد. پساب حاصل از شست‌وشوی مواد اولیه نساجی نظیر خرده‌الیاف و پرز و کثافات پشم، پنبه و الیاف مصنوعی، حجم زیاد و گسترده‌ای از پساب‌های تولیدی در این صنعت را تشکیل می‌دهد. در این پساب مواد معلق یا محلول، مواد رسوب‌شونده، کلوئیدها و املاح و... از قبیل خار و خاشاک، چربی و روغن، واکس، شوینده‌ها، مواد آهاری، نشاسته، نرم‌کننده، انواع اسیدها و قلیایی‌ها، واکس، و مواد تعاونی دیگر می‌باشد. پساب‌های سفیدگری، مرسریزاسیون و کربونیزاسیون محتوی باقی‌مانده مواد سفیدکننده مانند ترکیبات کلردار و آب اکسیژنه، آب ژاول، مواد اکسیدکننده دیگر، مواد قلیایی و اسیدی آلی و معدنی و... می‌باشد.

مواد رنگ‌زا و تعاونی مصرفی در صنایع نساجی بسیار متنوع و در حال تغییر می‌باشد. پساب‌های رنگرزی و مواد شیمیایی همراه آن از قبیل انواع رنگ‌زاها و پیگمنت‌ها، دیسپرس‌کننده‌ها، یکنواخت‌کننده‌ها، نفوذدهنده‌ها، احیاکننده‌ها، اکسیدکننده‌ها، کریرها، اسیدها، بازها، ریتاردرها، غلظت‌دهنده‌ها و... از نظر کیفیت شیمیایی،

ترکیب‌های پیچیده‌ای می‌باشند؛ بنابراین تصفیه آن بسیار مشکل می‌باشد. بعضی از انواع مواد رنگ‌زا حاوی ترکیبات فلزی مانند مس، کروم، کبالت و... می‌باشند که وجود آنها در پساب رنگرزی باعث پیچیدگی تصفیه پساب می‌گردد. در اکثر موارد لازم است، جداسازی کروم از پساب رنگرزی قبل از اختلاط پساب با سایر پساب‌ها انجام شود.

پساب حاصل از شست‌وشوی کالای چاپ‌شده یا شابلون‌ها محتوی مقدار زیادی رنگ‌زا، رنگدانه، غلظت‌دهنده و... باقی‌مانده بر کالای می‌باشد. در قسمت تکمیل نیز انواع عملیات تکمیلی نظیر آهارگیری، ضدآب کردن، ضدآتش کردن، ضدبید کردن، ضدالکتریسیته ساکن و... انجام می‌شود که هر کدام مستلزم مصرف آب و بالطبع تولیدکننده پساب می‌باشند. پساب چاپ و تکمیل همانند پساب رنگرزی از تنوع زیاد رنگ‌زا و مواد تعاونی برخوردار است. درجه حرارت اغلب پساب‌های نساجی بالا می‌باشد که همین دمای بالا مانع فعالیت مناسب باکتری‌ها در تصفیه بیولوژیکی پساب می‌شود. به همین علت لازم است جهت تصفیه پساب، تعدیل حرارت انجام شود.

## تصفیه پساب در صنعت نساجی

در کتاب دانش فنی پایه سال دهم به اختصار با مباحثی از قبیل آلودگی‌های آب و خاک و هوا و صوتی، پساب‌های صنعت نساجی، آزمایش‌های پساب، اندازه‌گیری PH و شاخص‌های COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) و BOD (اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی)، TSS (ذرات جامد معلق)، اندازه‌گیری مواد معلق، سمی، پاک‌کننده، روغن‌ها، مواد آلی، فلزات سنگین و سایر مواد موجود در پساب، مراحل تصفیه پساب شامل فیزیکی، تنظیم PH در محدوده ۷ تا ۸، جدا کردن مواد آلی یا معدنی محلول موجود از روش‌هایی نظیر رسوب‌دادن، زغال فعال، اکسیداسیون، مواد اکسیدکننده، صافی‌های بسیار ریز و... آشنا شدید. در این بخش از کتاب دانش تخصصی با مباحث مکمل دیگری از تصفیه پساب پرداخته می‌شود.

فرایند رنگرزی و تکمیل طیف وسیعی از رنگ‌ها و مواد شیمیایی را به پساب صنعت نساجی وارد می‌کند؛ به طوری که به ازای هر کیلو کالا ۳۰ تا ۶۰ لیتر پساب تولید می‌شود. روش‌های تصفیه زیستی به علت کم بودن قابلیت تجزیه پذیری زیستی رنگ‌زا و مواد شیمیایی و سمی چندان مؤثر نمی‌باشد. تصفیه پساب به فرایندهایی اطلاق می‌شود که برای حذف آلاینده‌های موجود در پساب با هدف تولید پساب سازگار با محیط زیست، استفاده مجدد از پساب و تجزیه مواد آلی، جلوگیری از شیوع بوهای نامطبوع و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست برای تخلیه پساب صنایع نساجی به انواع منبع پذیرنده بر طبق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳- استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست برای تخلیه پساب نساجی

پارامتر	PH	COD $\Delta$ mg/l	BOD mg/l	TSS mg/l	فرآورده نفت
استاندارد تخلیه به آب‌های سطحی	۶/۵-۸/۵	۱۰۰	۵۰	۶۰	۱۰
استاندارد تخلیه به چاه‌های جذبی	۵-۹	۱۰۰	۵۰	—	۱۰
استاندارد مصارف کشاورزی	۶-۸/۵	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰

مهم‌ترین روش‌های تصفیه پساب در نساجی عبارت‌اند از:

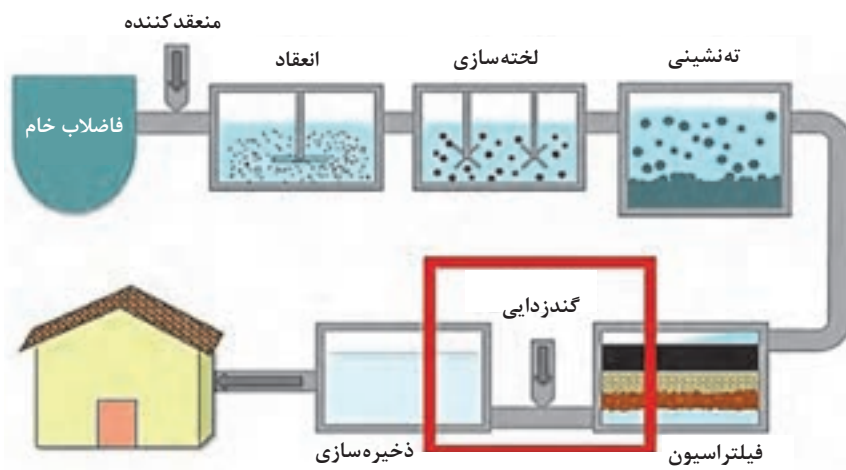
- ۱ فیزیکی و شیمیایی (انعقاد با پلیمر، ترسیب یونی کاتیونی، جذب مواد معلق توسط منافذ کربن یا زغال فعال، تبادل یونی، فنتون، فرایند فتوکاتالیستی بر پایه پرتوفراابنفش (UV) یا نور مرئی، روش فراصوت، تابش نور خورشید یا نور مصنوعی، تصفیه الکترولیتی، انعقاد با آهک و فلوکولاسیون و...)
- ۲ گندزدایی و کنترل میکروبی یا تصفیه بیولوژیکی و زیستی (استخر هوازی یا بی‌هوازی تثبیت فاضلاب، لاگون هوادهی، فرایند لجن فعال، صافی چکنده، سانتریفیوژی، صاف کردن فشاری، پمپ خلأ، آبگیر موئین، الک کردن، استفاده از نانوذرات نقره و اکسید روی و منیزیم و نانولوله کربنی، دی‌اکسید تیتانیوم و...)
- ۳ روش اکسیداسیون (اکسیژن تحت فشار، پمپ هوای مکانیکی)
- ۴ استفاده از اکسیدکننده‌ها (کلر و آب‌اکسیژنه، ازن)
- ۵ الکترو شیمیایی (انعقاد الکتریکی، اکسایش-کاهش شیمیایی)
- ۶ استفاده از فرایندهای غشایی و صافی‌های مخصوص
- ۷ فناوری نانو (فرایند جذب، فرایند فوتوکاتالیستی، فرایند فیلتراسیون، فرایند الکتروشیمیایی، نانوذرات مغناطیس و...) انتخاب روش مناسب برای تصفیه پساب به خصوصیات پساب، صرفه اقتصادی، سهولت عملیات، استاندارد تخلیه و... بستگی دارد. متداول‌ترین روش‌های حذف رنگ از فاضلاب نساجی شامل انعقاد الکتریکی و لخته‌سازی، تصفیه با معرف فنتون یا الکتروفنتون، فتواکسایش، جذب سطحی، ازن‌زنی، اسمز معکوس، استفاده از فیلترهای غشایی و اکسایش پیشرفته می‌باشد. شایان ذکر است که امروزه استفاده از روش‌های نانو کربن فعال، اسمز معکوس، الکترو شیمی، تبادل یونی، غشاهای نانو صافش، ازن‌زنی و... علی‌رغم بازدهی بالا به دلیل مشکلات عملیاتی و هزینه‌بر بودن در حذف آلاینده‌های نساجی مرسوم نمی‌باشد. تصفیه زیستی مکمل روش‌های تصفیه شیمیایی در حذف تمام آلودگی‌ها می‌باشد. در این مرحله با افزودن موادی نظیر ازت، فسفات و متانول به پساب، ترکیبات مورد نیاز جهت زیست‌آنزیم‌ها و باکتری‌ها در آب با PH خنثی فراهم می‌شود. در شکل ۱۸ برخی از مهم‌ترین روش‌های متداول تصفیه پساب نشان داده شده است.



شکل ۱۸- روش‌های متداول تصفیه پساب در صنعت نساجی



تصفیه زیستی آخرین مرحله تصفیه پساب می‌باشد. در شکل ۱۹ یکی از مراحل تصفیه زیستی پساب پس از فرایند تصفیه فیزیکی و شیمیایی، جهت مصرف مجدد در فرایندهای تولید و رهاسازی در طبیعت نشان داده شده است.



در شکل ۱۹- مراحل تصفیه زیستی پساب جهت مصرف مجدد در فرایندهای تولید و رهاسازی در طبیعت

با گسترش هر چه بیشتر منسوجات نانویی با قابلیت‌ها و کارایی‌های گسترده، امکان حفظ سلامت و بهداشت عمومی، پایش سلامت افراد به خصوص افراد آسیب‌پذیر جامعه نظیر کودکان و سالمندان فراهم می‌شود.

بهداشت  
عمومی



### حذف رنگ‌ها از پساب رنگرزی

روش‌های متفاوتی برای از بین بردن رنگ پساب حاصل از رنگرزی موجود می‌باشد. یکی از معروف‌ترین این روش‌ها استفاده از نانوساختارهای دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان فوتوکاتالیست می‌باشد که به‌علت نیاز به نور خورشید و نور مرئی از محدودیت‌هایی برخوردار می‌باشد. حذف رنگ‌زای متیلن بلو (رنگ‌زای پرکاربرد در رنگرزی) در حضور نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در مدت زمان ۳۰ دقیقه امکان‌پذیر می‌باشد. نانوکاتالیست (پلادینیوم - هیدروکساید - ذرات نانومغناطیسی اکسید آهن) بدون نیاز به نور مرئی در عملیات حذف رنگ از پساب رنگرزی استفاده می‌شود. با به‌کاربردن نانولوله‌های کربن چندجداره در محیط اسیدی نیز آلاینده‌های زیست‌محیطی و رنگ‌ها از پساب رنگرزی حذف می‌شوند.

هنرآموز گرمی، با نمایش فیلم، عکس، اسلاید و انیمیشن یا بازدید و... هنرجویان را با پساب‌های موجود در نساجی و راه‌های مختلف تصفیه انواع پساب آشنا کنید و راهکارهای بهینه را تشریح کنید.

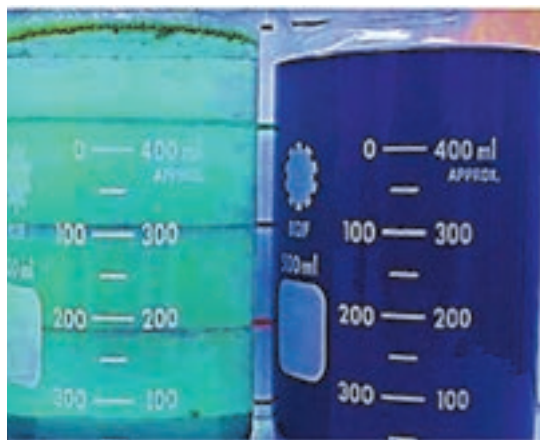
عکس و فیلم



### تصفیه پساب به روش انعقاد الکتریکی (روش EC)

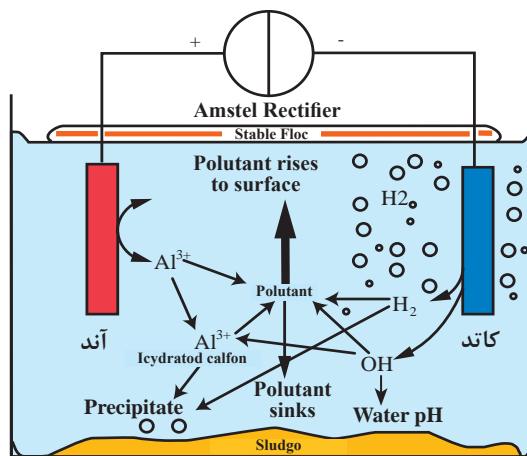
یکی از بهترین و مؤثرترین روش‌ها جهت تصفیه پساب رنگرزی، استفاده از روش الکتروشیمیایی و در راس آن انعقاد الکتریکی یا الکتروکولوئاسیون می‌باشد. در این روش با اعمال جریان برق مستقیم DC به الکترودهای صفحه‌ای فلزی آهن یا آلومینیم شناور در پساب یک الکترولیت شیمیایی در فاضلاب ایجاد می‌شود. در طی این فرایند یون‌های فلزی در آند و یون‌های هیدروژن و اکسیژن در کاتد تشکیل می‌شود. عوامل منعقدکننده یا لخته‌های هیدروکسید فلزی در آند با تولید یون‌هایی با بار مثبت قابلیت جذب سطحی بالای مواد آلاینده با بار منفی به همراه حذف فلزات سنگین، حذف TSS و COD و BOD و کدورت، مواد نفتی و روغن‌ها، رنگ‌زا و... را دارا می‌باشند. در این فرایند با به هم چسبیدن ذرات معلق و کلوئیدی ریز یک کمپلکس قابل ته‌نشینی رسوب می‌کند. در ضمن در طی این فرایند مقادیری گاز هیدروژن در کاتد متصاعد می‌شود که سبب شناورسازی ذرات سبک‌تر بر روی سطح پکیج انعقاد الکتریکی می‌گردد.

فرایند انعقاد الکتریکی یک واکنش الکترولیز می‌باشد که اجرای واکنش‌های الکتروشیمیایی در آن مستلزم اعمال پتانسیل الکتریکی مناسب بین دو یا چند الکتروود فلزی جهت انجام واکنش اکسایش - کاهش (آند - کاتد) در سطح مشترک الکتروود و محلول از طریق یک منبع الکتریکی خارجی می‌باشد. شکل ۲۰ فرایند انعقاد الکتریکی و شناورسازی جهت تصفیه پساب به همراه تصفیه یک نمونه پساب رنگی با این مکانیزم نشان داده شده است.



پساب تصفیه شده

پساب



روش تصفیه الکتریکی پساب

شکل ۲۰- فرایند انعقاد الکتریکی جهت تصفیه پساب به همراه تصفیه یک نمونه پساب رنگرزی با آن

روش انعقاد الکتریکی به علت وسعت عمل برای تصفیه انواع پساب‌ها، طراحی ساده سیستم، هزینه پایین راه‌اندازی و بهره‌برداری، عدم نیاز به مواد شیمیایی خاص، کارکرد طولانی الکترودها، زمان واکنش کم، نیاز به راکتور تصفیه کوچک، بازرسی هفتگی، تولید کم لجن، گندزدایی آب، سازگاری با محیط‌زیست، حذف ۹۹ درصد فلزات سنگین، حذف ۵۰ تا ۸۰ درصد از TSS، حذف بیش از ۵۰ درصد از COD و... یکی از تأثیرگذارترین و بهترین روش‌های تصفیه پساب می‌باشد.



روش انعقاد الکتریکی بر خلاف انعقاد شیمیایی نیاز به تزریق انواع مواد معدنی و شیمیایی منعقدکننده و کمک منعقدکننده پلیمری و موادی جهت تنظیم PH ندارد و لجن تولیدی آن نیز کمتر می‌باشد. حجم راکتور تصفیه در انعقاد شیمیایی بیش از دو برابر انعقاد الکتریکی می‌باشد و زمان بازرسی به راکتور انعقاد شیمیایی به طور مستمر می‌باشد.

نتایج آزمایش ۲۵۰ سی سی پساب رنگی با برقراری جریان برق با شدت ۸۰ تا ۹۰ آمپر بر متر مربع در زمان ۸ دقیقه، حذف ۹۴ درصد شدت رنگ و ۸۲ درصد میزان COD پساب را نشان می‌دهد. کارایی حذف رنگ و COD پساب به میزان تولید یون‌های الکترودهای به کار گرفته شده دارد که این میزان به شدت جریان و زمان الکترولیز وابسته است.

## فناوری نانو در تصفیه پساب

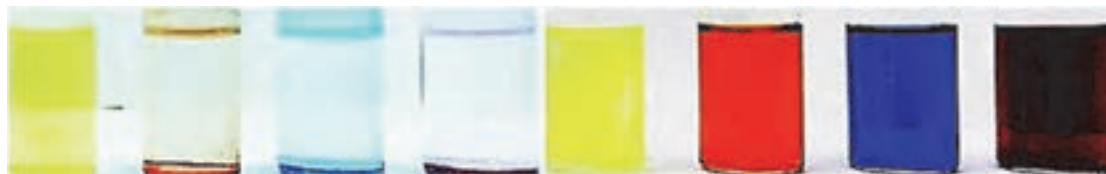
امروزه با گسترش فناوری نانو، بخش تصفیه آب و پساب در صنایع نساجی نیز از این فناوری بهره‌مند شده است. استفاده از نانوجاذب‌ها، اصلاح جاذب‌ها با نانوساختارها، پوشش‌دهی سطح الکترودها با نانومواد، نانوفیلترها، نانوفتوکاتالیست‌ها، نانوذرات مغناطیسی و... به دلیل تغییر در خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد، بهبود چشمگیری در روش‌های تصفیه معمولی می‌دهد. در ادامه به چند مورد از استفاده فناوری نانو در تصفیه پساب پرداخته می‌شود.

### تصفیه پساب با نانوجاذب‌ها

استفاده از مواد نانوجاذب با ویژگی‌هایی از قبیل سطح جانبی و مکان‌های جذب بیشتر، سرعت بالای نفوذ آلاینده در آنها، قابلیت تنظیم اندازه حفره‌های ساختاری و... سبب افزایش کارایی فرایند جذب آلاینده‌ها در تصفیه پساب می‌شود. انواع مختلفی از این نانومواد جاذب برای حذف آلاینده‌ها از پساب مورد استفاده قرار می‌گیرد که پرکاربردترین آنها نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره و چنددیواره، نانوجاذب‌های اکسید فلزی، نانوجاذب‌های پلیمری، اکسید گرافن و گرافن، پلیمرهای درخت‌سان و پرشاخه می‌باشد. به عنوان مثال هر گرم پودر گرافیت سطحی با مساحت ۰/۶ مترمربع را می‌پوشاند؛ در حالی که نانولوله کربنی و گرافن به ترتیب سطحی با مساحت ۲۵۴ و ۲۶۳۰ مترمربع را پوشش می‌دهند؛ بنابراین میزان مصرف این مواد برای حذف آلاینده‌ها بسیار کاهش می‌یابد. مزیت دیگر این نانوجاذب‌ها، احیا و امکان بازیابی و استفاده مجدد از این مواد بدون کاهش چشمگیر بازدهی آنها می‌باشد.

حضور گروه‌های فعال انتهایی و همچنین حفره‌های میانی در ساختمان پلیمرهای درخت‌سان و پرشاخه، این مواد را به ابرجاذب‌هایی تبدیل می‌کند که قادر به حذف ترکیبات آلی و فلزات سنگین می‌باشند. پرکاربردترین پلیمرهای درخت‌سان در حوزه تصفیه پساب پلی‌آمیدوآمین و پلی‌پروپیلن‌ایمین می‌باشد. یکی دیگر از روش‌ها برای استفاده از فناوری نانو در فرایند جذب، اصلاح مواد جاذب با نانوساختارها و یا تهیه نانو کامپوزیت‌ها برای

حذف آلاینده‌ها می‌باشد. در شکل ۲۱ کاهش شدت رنگ در پساب رنگ‌زا قبل و بعد از استفاده از نانو جاذب‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲۱- کاهش شدت رنگ در پساب رنگ‌زا قبل و بعد از استفاده از نانو جاذب‌ها

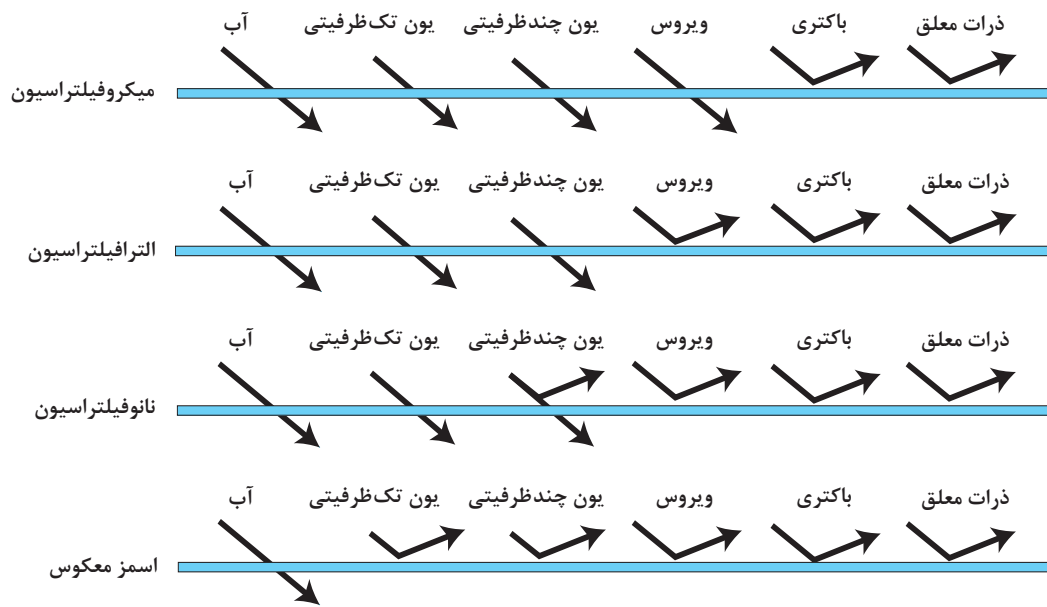
### فرایند نانو فیلتراسیون (فرایند نانو غشایی)

در فرایند فیلتراسیون با قرار دادن صافی‌های نانو با انواع غشاهای پلیمری، لیفی یا سرامیکی بر سر راه جریان پساب، می‌توان آلاینده‌ها را بر اساس اندازه آنها جدا نمود. مصرف بالای انرژی، انسداد غشاها و پیچیدگی طراحی فرایند از مهم‌ترین معایب این روش به‌شمار می‌رود. استفاده از فرایند الکتروریسی برای تولید نانوالیاف، روشی ساده، ارزان و مؤثر برای تولید فیلتر یا صافی نانو هوا و آب می‌باشد. نانوالیاف تولید شده در این فیلترها دارای سطح مخصوص و خلل و فرج بسیار بالایی می‌باشند. در مواقع لزوم با تنظیمات دستگاه الکتروریسی قطر، ساختار، ترکیب درصد و آرایش یافتگی نانوالیاف را تغییر می‌دهند. این غشاها اغلب به‌عنوان فیلتراسیون اولیه، قبل از اولترافیلتراسیون و یا اسمز معکوس استفاده می‌شود. غشاهای نانو فیلتراسیون (نانوصافش) دارای حفره‌هایی به ابعاد ۱ تا ۵ نانومتر می‌باشند که تحت فشار ۲۰ تا ۴۰ بار، امکان عبور نمک، آب و مولکول‌های آلی با وزن مولکولی کمتر از ۲۰۰ را فراهم می‌کند. غشاهای نانوالیاف بدون کاهش فشار آب خروجی، ذرات درشت و باکتری‌ها را از پساب جدا می‌کنند تا طول عمر غشاهایی مثل اسمز معکوس افزایش یابد. امروزه تهیه غشاهای نانو کامپوزیتی و بیولوژیکی مورد توجه محققان قرار گرفته است، به این صورت که با استفاده از نانوذرات اکسید فلزی نظیر  $(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2)$  آب‌دوستی غشاها را افزایش می‌دهند و بالطبع باعث انسداد کمتر غشاها می‌شود. از نانوذرات نقره و نانو لوله‌های کربنی برای ایجاد خواص ضد میکروبی در غشاها استفاده می‌شود.

اسمز معکوس (هایپر فیلتراسیون) به عبور آب از یک غشای نیمه‌تراوا با حفره‌هایی به ابعاد ۱ آنگستروم تحت فشار ۳۰ تا ۶۰ بار از طریق ساز و کار انتشار محلول گفته می‌شود. غشاهای الترافیلتراسیون (فراصافش) دارای حفره‌هایی به ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشند که تحت فشار ۱ تا ۱۰ بار نمک‌ها و اجزایی با وزن مولکولی بسیار پایین از آن عبور می‌کند و جامدات معلق بزرگتر، برخی مواد رنگی، ذرات کلوئیدی، برخی ویروس‌ها و باکتری‌ها را از آب یا پساب جدا می‌کنند. قبل از فرایند اسمز معکوس از اسمز مستقیم با فشار کمتر جهت مکش آب از یک فشار اسمزی کم به یک فشار اسمزی بیشتر استفاده می‌شود. جهت آگاهی بیشتر در شکل ۲۲ قابلیت انواع مختلف فیلتر غشایی در عبور ذرات مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

آیا می‌دانید





شکل ۲۲- مقایسه قابلیت انواع فیلتر غشایی در عبور ذرات مختلف

در سال‌های اخیر در کشور ما استفاده از غشاهای نانو فیلتراسیون برای تصفیه آب و پساب گسترش یافته است. طراحی تجهیزات مورد نیاز تولید نانو غشاء سرامیکی و هارمودینامیکی امروزه در ایران نیز انجام می‌شود. اخیراً مؤسسه تحقیقاتی Fraunhofer آلمان، غشاهای سرامیکی نانو فیلتراسیونی تولید کرده است که قادر به حذف انواع آلاینده‌های رنگی حاصل از پساب نساجی می‌باشد. در شکل ۲۳ فرایند حذف مواد رنگ‌زا با استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون به همراه نمونه پساب رنگی قبل و بعد از فیلتراسیون نشان داده شده است.



شکل ۲۳- غشای نانوفیلتراسیون به همراه نمونه پساب رنگی قبل و بعد از فیلتراسیون پساب رنگی

### فرایند فتوکاتالیستی (نانوذرات فتو کاتالیستی)

به فرایندی که در آن از تأثیر نور فرابنفش بر عملکرد کاتالیست‌ها در شرایط واکنش استفاده می‌شود، فرایند فتوکاتالیست گفته می‌شود. در این روش تابش پرتوهای فرابنفش باعث تخریب ساختار آلاینده‌های میکروبی و بیماری‌زا می‌شود. این فرایند جزء روش‌های اکسیداسیون پیشرفته می‌باشد. در این فرایند، رادیکال‌های اکسیدکننده تولید شده، به سرعت به مواد آلاینده آلی حمله کرده و آنها را به طور کامل تخریب می‌کند یا

به ترکیبات ساده‌تر تبدیل می‌کند. از مهم‌ترین کاتالیست‌های نیمه‌هادی می‌توان به نانوذرات  $ZnO$ ,  $TiO_2$  و  $Fe_3O_4$  اشاره کرد که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) شاخص‌ترین و پرکاربردترین آنها در تصفیه آلاینده‌ها و ضدعفونی کردن آب به‌شمار می‌رود.

بهره‌گیری از کاتالیزورهای فعال شونده در نور (نانوذرات فتوکاتالیستی) به منظور بهره‌برداری همزمان از پرتوی رایگان فرابنفش خورشید و کوچک شدن ذرات در حد نانومتر به عنوان کاتالیزور در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی همواره مورد توجه می‌باشد. شرکت Puroxi با استفاده از فناوری نورتابی توسط لامپ‌های LED و نانومواد فتوکاتالیست، سیستمی را طراحی کرده است که قادر به حذف پساب‌های رنگی در نساجی می‌باشد.

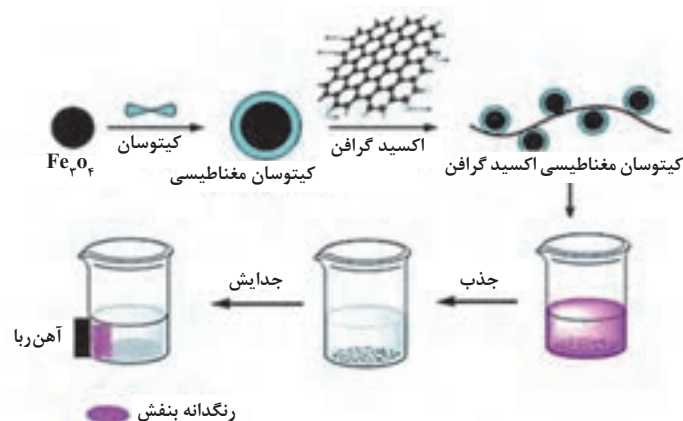
### فرایند اکسیداسیون الکتروشیمیایی

فرایندهای اکسیداسیون الکتروشیمیایی پیشرفته که براساس واکنش فنتون عمل می‌کنند، یکی از مؤثرترین و بهترین روش‌های تصفیه پساب می‌باشد که به علت استفاده از منابع سالم انرژی الکتریسیته به عنوان دوستدار محیط‌زیست معرفی می‌شود و مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این روش از ورقه‌های پلاتین، فولاد ضدزنگ، تیتانیوم و کاتدهایی از جنس مواد کربنی نظیر ورقه کربن، گرافیت، الیاف کربن فعال و... در تصفیه پساب استفاده می‌شود. اخیراً استفاده از الکترودهای نانوکامپوزیتی در روش فنتون نیز معمول شده است.

### نانوذرات مغناطیسی

اکسید آهن مغناطیسی به‌عنوان نانومواد با کاربردهای بسیار گسترده در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود، از این رو نانوذرات اکسید آهن با خواص دلخواه و پتانسیل بالای کاربردی تولید می‌شود. اکسید آهن ماده‌ای است که به دلیل زیست‌سازگاری مناسب، مورد توجه محققان قرار گرفته است. از این نانوذرات در حذف آلاینده‌های سمی و برخی از فلزات سنگین از پساب استفاده می‌شود. اکسید آهن به عنوان عامل احیاکننده و تخریب ترکیبات شیمیایی سمی و متنوع در محیط‌های آبی عمل می‌کند. این نانوذرات می‌توانند به عنوان جاذب، یون‌های سرب و کروم را از محلول‌های آبی جدا کنند. سهولت کاربرد، زیست‌سازگاری، غیر سمی بودن، امکان بازیابی آسان با

میدان مغناطیسی و فعالیت کاتالیستی بالا در تخریب مواد آلی مختلف از مزایای قابل توجه کاربرد اکسید آهن در زمینه تصفیه پساب به‌شمار می‌رود. استفاده از نانوذرات مغناطیسی به‌عنوان جاذب در آب منجر به جداسازی و حذف آلودگی‌ها و رنگ از پساب می‌گردد. شکل ۲۴ نمونه‌ای از عملکرد نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوسان و اکسید گرافن به‌منظور حذف رنگ‌زای بنفش باقی‌مانده در پساب، نشان داده شده است.



شکل ۲۴- عملکرد نانوذرات مغناطیسی به منظور حذف رنگ‌زای بنفش باقی‌مانده در پساب

## تصفیه آب و فاضلاب با فناوری پلاسما

تصفیه پساب صنعتی بر پایه پلاسما با تخلیه الکتریکی و ایجاد میکروجرقه‌ها در پساب، باعث ایجاد محیط پلاسمایی و تشکیل حباب‌های نانویی در پساب می‌شوند. واپاشی حباب‌ها، باعث ایجاد دمای بالای موضعی و حرکت سریع ذرات موجود در پساب می‌گردد. با واپاشی الکترون‌ها و یون‌های ایجاد شده در حباب، انواع رادیکال‌های اکسیدکننده قوی و گندزدا نیز تشکیل می‌شود که در نهایت با کمک تابش پرتوی فرابنفش عمل میکروزدایی انجام شده و مواد محلول در آب به هم چسبیده و منجر به تشکیل لخته و رسوب، ته‌نشینی و جدا شدن آنها از پساب می‌گردد.

از مزایای تصفیه پساب با فناوری پلاسما، حذف حدود ۸۰ درصد فلزات سنگین و میکروارگانسیم‌های بیماری‌زا و مواد رنگ‌زا و رنگدانه، کاهش ۸۰ درصدی BOD و COD، PH، خنثی، کاهش اتمام فرایند در کوتاه‌ترین زمان (۲ دقیقه)، عدم مصرف مواد شیمیایی، کاهش ۷۰ درصدی هزینه تصفیه، شیرین‌سازی سالم آب دریا و گندزدایی آن تا مرحله آب آشامیدنی، کاهش کدورت، بو، رنگ و سختی آب، مصرف پایین انرژی (کمتر از ۲ کیلووات به ازای هر مترمکعب) و... می‌باشد.

## بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت نساجی

انرژی در دنیای امروز از اهمیت زیادی در رشد و توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی برخوردار است. در قرن بیست و یکم، بهینه‌سازی مصرف انرژی با توجه به پیامدهای مهم آن از قبیل کاهش هزینه‌ها، کاهش سرمایه‌گذاری‌ها، افزایش روزافزون تقاضا، سالم‌سازی محیط‌زیست و... در دستور کار اکثر کشورهای جهان قرار گرفته است. امروزه صنعت نساجی به عنوان یکی از صنایع مورد نظر در زمینه بهینه‌سازی انرژی، بیش از ۲۰ درصد از کل انرژی مصرفی بخش صنعت را به خود اختصاص می‌دهد. در صنعت نساجی در تمامی مراحل تولید، انرژی به اشکال مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان متوسط مصرف انرژی الکتریکی و فسیلی در فرایندهای ریسندگی ۴۸ درصد، بافندگی ۱۶ درصد و رنگرزی، چاپ و تکمیل در حدود ۳۶ درصد می‌باشد.

کشور ما حدود ۱ درصد جمعیت جهان را دارد ولی حدود ۲ درصد از انرژی جهان را مصرف می‌کند؟ مصرف انرژی در ایران ۳ برابر متوسط جهان و ۱۰ برابر متوسط کشورهای اروپایی می‌باشد.

آیا می‌دانید



## راهکارهای مدیریت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف نساجی

پتانسیل صرفه‌جویی در بخش صنعت براساس آمار مصرف انرژی در جهان و ایران به‌طور خوش‌بینانه ۳۸ درصد و به‌طور محافظه‌کارانه ۲۴ درصد می‌باشد. متوسط پتانسیل صرفه‌جویی در صنعت نساجی نسبت به مقادیر استاندارد داخل کشور ۱۰ تا ۱۵ درصد و نسبت به مقادیر استاندارد جهانی ۱۵ تا ۲۵ درصد برآورد شده است. شناخت منابع انرژی بر و افزایش کارایی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی از نخستین اقدامات در جهت

بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش نساجی می‌باشد. کاهش میزان مصرف انرژی با استفاده از فناوری‌های با کارایی بالا پیشنهاد مؤثری برای فائق آمدن بر بحران‌های جهانی انرژی می‌باشد. در ادامه، برخی از راهکارهای عمومی و اختصاصی در مدیریت مصرف انرژی عبارت‌اند از:

- راهکارهای عمومی جهت کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف صنایع نساجی
- استفاده از موتورهای الکتریکی با راندمان بالا و متناسب با بار و کنترل دور موتورها
- استفاده از سیستم روشنایی منطقه‌ای و موضعی و استفاده حداکثر از نور طبیعی در روز
- استفاده از لامپ‌های کم مصرف فلورسنت و LED، تمیز کردن مرتب لامپ‌ها
- استفاده همزمان از لامپ‌های کم مصرف زرد و سفید جهت کاهش خستگی چشم
- استفاده از درب و شیشه‌های دوجداره و رنگ‌های روشن در دیوارها و سقف‌ها
- بهینه‌سازی ابعاد و ارتفاع سالن‌ها جهت صرفه جویی در روشنایی و انرژی
- کاهش ارتفاع چراغ‌های سقفی از کف سالن جهت افزایش بازدهی شدت روشنایی (حداکثر ارتفاع ۶ متر)
- تنظیم شدت روشنایی سالن بر اساس جداول استاندارد ملی ایران بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ لوکس
- تنظیم مداوم شرایط محیطی دمایی و رطوبت سالن‌ها در فصول مختلف سال بر طبق استاندارد
- تنظیم نسبت سوخت و هوا در بویلرهای تولید بخار و نصب سیستم بازیافت حرارت از گازهای خروجی دیگر بخار
- کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسورها و نصب کنترل کننده ON/OFF و استفاده از توربو کمپرسورها
- تعویض و تمیز کردن دائمی فیلترهای هوای کمپرسورها و سیستم‌های تهویه سالن‌ها
- عایق کاری مناسب لوله‌های بخار و آب گرم و داغ و بازیافت حرارت از کندانس برگشتی
- نصب سیستم لوله کشی برگشت یا کندانس بخار و اطمینان از صحت کارکرد تراپ (تله بخار)
- جلوگیری از هدر رفتن آب از طریق آموزش پرسنل و کارگران، قطع جریان آب پس از اتمام کار دستگاه
- تدوین برنامه منظم آموزشی، انگیزشی، سرویس، تعمیرات و نگهداری دستگاه‌ها
- استفاده از فناوری‌های جدید نانو و پلاسما جهت تبدیل، توزیع و انتقال انرژی
- تنظیم محدوده شرایط محیطی سالن‌های ریسندگی پنبه‌ای و پشمی در فصول سرد و گرم بر طبق جدول ۴

جدول ۴- محدوده شرایط محیطی سالن‌های ریسندگی پنبه‌ای و پشمی در فصول سرد و گرم

الیاف		پنبه‌ای				پشمی			
سالن		ریسندگی		بافندگی		ریسندگی		بافندگی	
فصل		سرد و معتدل	گرم و خشک	سرد و معتدل	گرم و خشک	سرد و معتدل	گرم و خشک	سرد و معتدل	گرم و خشک
دما °C		۲۰-۲۴	۲۴-۲۸	۲۰-۲۴	۲۴-۲۶	۲۰-۲۴	۲۴-۲۸	۲۰-۲۴	۲۳-۲۴
رطوبت نسبی %		۵۰-۶۰		۶۰-۷۰		طبیعی تا ۶۵		۶۰-۷۰	





میزان شدت روشنایی نور خورشید در روز بیش از ۱۰۰۰۰۰ لوکس و در هوای ابری کمتر از ۱۰۰۰۰ لوکس می‌باشد. میزان روشنایی عمومی و محل کار در بخش‌های مختلف نساجی بر اساس استاندارد ملی ایران بر طبق جدول ۵ می‌باشد.

جدول ۵- میزان روشنایی عمومی و محل کار در بخش‌های مختلف نساجی

بخش‌های نساجی	شدت روشنایی (لوکس)
حلاجی و ریسندگی	۱۰۰-۳۰۰ لوکس
بافندگی	۳۰۰-۵۰۰ لوکس
رنگرزی	۲۰۰-۳۰۰ لوکس
آزمایشگاه رنگرزی	۳۰۰-۵۰۰ لوکس



هنرآموز گرامی، با نمایش عکس، فیلم، اسلاید، نمودار و جداول، بازدید و... هنرجویان را با راهکارهای عمومی و تخصصی حوزه نساجی جهت صرفه‌جویی در منابع انرژی و آب آشنا کنید.



راهکارهای عملی جهت کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ریسندگی:

- جلوگیری از کارکرد بی بار دستگاه‌های خط ریسندگی و استفاده از ظرفیت کامل خط ریسندگی
- بررسی امکان نصب موتورهای الکتریکی دور متغیر VSD در دستگاه‌ها و سیستم تهویه
- استفاده از ماشین‌های کار با سرعت بالا و استفاده از تمامی ظرفیت
- استفاده از ماشین اپن‌اند به جای مجموعه فلایر و رینگ برای نخ‌های ضخیم تر
- انتخاب مواد اولیه مرغوب برای کاهش ضایعات و بالا بردن کیفیت محصول
- کنترل فرایند به منظور کاهش مواد برگشتی و ضایعات و بازیافت و استفاده مجدد از ضایعات تولید
- استفاده از بطری‌های پلاستیکی و فرش‌های کهنه پلی‌استری در ذوب ریزی جهت بازیافت و تولید نخ
- استفاده از فناوری‌های نانو در بخش‌ها و قطعات مختلف بخش ریسندگی نظیر چرخانه و غلتک‌های کشش
- نصب تجهیزات اندازه‌گیری کنترل دما و رطوبت به همراه تنظیم اتوماتیک آنها
- سرویس کاری، روغن کاری، گریس کاری و تعمیر و نگهداری منظم و برنامه‌ریزی شده دستگاه‌ها و موتورها
- استفاده از تسمه‌های Cogged - Belt و Synchronus - Belt به جای Flat - Belt و V - Belt در الکتروموتورها



در واحدهای ریسندگی و تکمیل پارچه در ایران به طور متوسط به ازای تولید هر کیلوگرم نخ به ترتیب حدود ۶۰ مگاژول و ۳۰ مگاژول انرژی الکتریکی و فسیلی و ۱۰۰ تا ۲۰۰ لیتر آب تصفیه شده مصرف می‌شود.



- راهکارهای عملی جهت کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف بافندگی:
- کاهش زمان توقف دستگاه‌ها و افزایش ظرفیت تولید
- سرویس‌کاری و روغن‌کاری، تعمیر و نگهداری منظم دستگاه‌ها و به‌کارگیری قطعات یدکی استاندارد
- بررسی امکان نصب موتورهای الکتریکی دور متغیر VSD در دستگاه‌ها و سیستم تهویه
- استفاده از دستگاه‌هایی با حجم کمتر و ظرفیت تولید بیشتر
- استفاده از دستگاه‌ها با تکنولوژی‌های جدید و راندمان بالاتر



- در مراجعه به کارخانجات نساجی چک‌لیستی از راه‌های هدر رفتن انواع انرژی در بخش‌های مختلف تهیه کنید و راهکارهایی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه و گزارش دهید.



- راهکارهای عملی جهت کاهش مصرف انرژی در بخش رنگریزی، چاپ و تکمیل:
- بررسی امکان استفاده از موتورهای الکتریکی دور متغیر VSD در دستگاه‌ها و سیستم تهویه
- استفاده از خشک‌کن‌های غیرحرارتی مکانیکی و سانتریفیوژی‌های دور متغیر ستاره - مثلث
- بهره‌گیری از تکنولوژی جدید چاپ دیجیتال در چاپ پارچه و پتو و فرش ماشینی و...
- تصفیه آب و فاضلاب با تکنولوژی‌های نانو و تخلیه الکتریکی و ایجاد پلاسما در آب
- تعویض یا تعمیر تله‌های بخار (تراپ) معیوب
- استفاده از کنترل‌کننده‌های دور متغیر فن تهویه هوا، فن هوای گردش استنتر و درجه حرارت در ترموزول و استنتر
- کاهش ضایعات در فرایندهای رنگریزی، چاپ و تکمیل
- نصب تجهیزات اندازه‌گیری دما و رطوبت بر روی دستگاه‌ها
- عایق‌کاری مناسب دستگاه‌ها و مخازن رنگریزی جهت کاهش تلفات حرارتی
- بازیافت حرارت از گازهای خروجی از دودکش استنتر
- تفکیک فاضلاب‌های رنگی از فاضلاب‌های غیر رنگی سایر بخش‌ها
- تهیه راهنمای عملکرد استاندارد دستگاه‌ها از قبیل دما بر حسب نوع محصول
- استفاده از ماشین‌های رنگریزی، چاپ و تکمیل با تکنولوژی بالا نظیر فولارد مجهز به فشار قابل تنظیم گیره‌ها
- استفاده از روش‌ها و ماشین‌های رنگریزی با L:R پایین نظیر ماشین ژیگر، جت و سیستم کف (فوم) و هوا
- استفاده از فناوری‌های جدید نظیر فوق بحرانی رنگریزی پلی‌استر با CO<sub>2</sub> و تکنولوژی Colorzen بر روی پنبه
- بهینه‌سازی رنگریزی با استفاده از تکنولوژی پمپ چرخشی و مدار هیدرولیک در ماشین‌های رنگریزی
- استفاده از نانو ساختارها و نانو پوشش‌ها جهت کاهش وزن، خوردگی و خستگی در ادوات و ماشین‌آلات



ارائه راهکارهایی جهت صرفه جویی انرژی در ماشین آلات خشک کن و استنتر: خشک کن و استنترها جزء یکی از پرکاربردترین و پرمصرفترین میزان انرژی الکتریکی و گرمایی در صنایع نساجی می باشند. به کارگیری و مدیریت صحیح سیستم ها و کنترل و بهینه سازی دقیق فرایندها ضمن کنترل دقیق دما و رطوبت در سیستم باعث افزایش راندمان و بازده اقتصادی دستگاه ها می گردد. انجام اقدامات عملی نظیر ایزولاسیون و عایق کاری لوله ها و بدنه دستگاه ها، بهینه سازی دور فن ها در مناطق خشک کن و خنک کن، تنظیم دریچه های اگزوها یا دمپر ها، سرویس کاری، روغن کاری، گریس کاری و تعمیر و نگهداری منظم و با برنامه ریزی دستگاه ها، تنظیم بهینه دما و رطوبت دستگاه، جلوگیری از خشک شدن بیش از حد پارچه، آبیگری یکنواخت پارچه ها در مراحل قبلی، استفاده از تکنولوژی های جدید در فشار یکنواخت بر سطح پارچه در غلتک های فولارد و منگل (آبگیر)، جایگزینی سیستم مشعل گاز شهری به جای بویلر روغن، تنظیم مشعل گاز، برطرف کردن نشتی های بخار، تعمیر منظم تله بخار و... از مهم ترین اقدامات عملی در جهت صرفه جویی در مصرف انرژی در این دستگاه ها می باشد.

## بازیافت آب و مواد در صنعت نساجی

در کتاب دانش فنی پایه سال دهم با مباحث آب، منابع آب، مصارف آب، ناخالصی های آب، سختی آب، روش های تصفیه آب، اهمیت تصفیه آب و... آشنا شدید.

مهم ترین دلایل استفاده از بازیافت پساب نساجی استفاده از پساب تصفیه شده در صنعت و کشاورزی و اخذ تأییدیه محیط زیست در این خصوص می باشد. در برخی موارد آب تصفیه و ضد عفونی شده را می توان به آب های سطحی یا چاه های جذبی منتقل کرد. قبل از رهاسازی فاضلاب تصفیه شده در طبیعت لازم است در پساب تصفیه بیولوژیکی هوای یا بی هوای نیز انجام شود. در این مرحله با افزودن ازت، فسفات، متانول و مواد ضد عفونی به فاضلاب به منظور تأمین ترکیبات لازم برای زیست آنزیم ها و باکتری ها ضروری می باشد. در برخی کارخانجات به دلیل کمبود آب با استفاده از یک تصفیه تکمیلی دیگر پساب از این پساب تصفیه شده در خط تولید استفاده می کنند. تصفیه تکمیلی فاضلاب با روش هایی نظیر اولترا فیلتراسیون (UF) یا روش اسمز معکوس (RO) انجام می شود. به این نکته باید توجه شود که آب ورودی به واحد رنگرزی باید فاقد هرگونه رنگ و شوری یا هدایت الکتریکی پایین باشد؛ زیرا عملیات رنگرزی در حضور یون های مزاحم امکان پذیر نمی باشد. هزینه های مربوط به خدمات آب و فاضلاب هر کارخانه حدود ۵ تا ۱۰ درصد از کل هزینه خدمات را به خود اختصاص می دهد.

بخار به طور متمرکز مقدار قابل توجهی انرژی گرمایی در خود ذخیره دارد که در هنگام کندانس شدن این انرژی مصرف می شود. بخار در نساجی جهت تنظیم دما و رطوبت سالن، آب گرم مصرفی، عملیات مقدمات بافندگی، رنگرزی، چاپ و تکمیل استفاده می شود.

یک سیستم بخار ایده آل بخار و کندانس تولید شده، جدای از یکدیگر وجود دارند و جمع آوری می شوند؛ بنابراین اگر در مخزن جمع آوری کندانس برگشتی، بخار زنده وارد شود، دلیل بر وجود نقص در بخشی از سیستم توزیع بخار می باشد. خرابی تله بخار نصب شده روی خطوط آب کندانس شده (بازماندن دائمی دریچه تله بخار) باعث عبور دائم بخار و اتلاف انرژی موجود در بخار می گردد.



کنترل صحت کار تله بخار (تراپ) در زمان مراجعه به کارخانجات نساجی: با بازرسی و کنترل از طریق دیدن، شنیدن صدای عبور بخار و اندازه‌گیری دما می‌توان از اتلاف بخار جلوگیری کرد. در جدول اختلاف دمای سطح لوله در حدود ۳۰ سانتی‌متری طرفین یک تله بخار سالم نشان داده شده است. (جهت تبدیل دما به فارنهایت، ۳۲ واحد از فارنهایت کم کنید و عدد حاصل را بر ۱/۸ تقسیم کنید.)

جدول اختلاف دمای سطح لوله در حدود ۳۰ سانتی‌متری طرفین یک تله بخار سالم

اختلاف دما در دو طرف سطح لوله	دمای سطح لوله بعد تله بخار	دمای سطح لوله قبل تله بخار	دمای بخار	فشار بخار (Psg)
۲۵	۱۸۰	۲۰۵	۲۲۷	۵
۳۶	۱۸۰	۲۱۶	۲۴۰	۱۰
۳۵	۱۹۰	۲۲۵	۲۵۰	۱۵
۳۳	۲۰۰	۲۳۳	۲۵۹	۲۰
۳۵	۲۰۵	۲۴۰	۲۶۷	۲۵
۳۶	۲۱۰	۲۴۶	۲۷۴	۳۰
۴۳	۲۱۵	۲۵۸	۲۸۷	۴۰

بر اساس مطالعات انجام شده، رفع نشتی شیرآلات و تعویض آنها، بازبینی و بهبود عایق لوله‌های محتوی بخار، آب و روغن داغ، مخازن، شیرها، کانال‌ها، فلنج‌ها و... حدود ۲۰ درصد در انرژی گرمایی صرفه‌جویی می‌شود.



### بازیافت مواد در نساجی

فرایند بازیافت مواد به فرایندی اطلاق می‌شود که طی آن مواد زائد جدا شده و ضایعات قابل استفاده در خط تولید، جهت تولید محصولات جدید به کار گرفته می‌شود. استفاده مجدد از مواد بازیافت صنایع، باعث کاهش آلودگی محیط‌زیست، افزایش تولید ملی، کاهش مصرف مواد اولیه، صرفه‌جویی در آب، رنگ‌زا و سایر مواد کمکی، اشتغال و افزایش سطح بهداشت و بهره‌وری در تولید می‌گردد. صنایع نساجی نیز همانند صنایع دیگر دارای مواد قابل بازیافت می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده بیش از ۱۰ میلیون تن منسوج در کارخانجات و منزل دور ریخته می‌شود که ۵۰ درصد آنها قابل بازیافت می‌باشند. برخی از این ضایعات شامل ضایعات بخش‌های ریسندگی، سرنخ‌های الیاف، انواع پلیمر و ضایعات انواع پارچه و... می‌باشد که این مواد پس از بازیافت در بخش‌های کالای خواب، خودروسازی، پارچه‌تنظیف، ایزوگام، مبیل‌سازی، تولید نخ، موکت و پتو، تولید انواع لایی و نمد و... استفاده می‌گردند. منسوجات نایلونی و پلی‌استری تحت فرایند ذوب ریسی قابلیت بازیافت مجدد به نخ‌های قابل مصرف در نساجی را دارا می‌باشند.



اخيراً محققان آنزيم باکتریایی را اصلاح کرده‌اند که قادر می‌باشد، فرش‌ها و پارچه‌های پلی‌استری مستعمل، بطری و پلاستیک‌های دورریز PET را بشکند و به اتیلن گلیکول و اسیدترفتالیک مورد نیاز الیاف پلی‌استر تبدیل کند. در این صورت می‌توان از این مواد ضایعاتی به‌طور مکرر و مؤثر جهت تولید پلی‌استر بازیافتی استفاده کرد.



در مورد ماشین‌آلات بازیافت پارچه‌های ضایعاتی و پوشاک مستعمل تحقیق و گزارش کنید.

## صرفه‌جویی در مصرف آب، رنگ‌زا و مواد شیمیایی

کشور ایران به علت عدم مدیریت صحیح آب و فاضلاب در آستانه تخلیه آب‌های زیرزمینی و بحران بزرگ آب قرار دارد. صنایع یکی از بالاترین مصرف‌کننده‌ها و آلوده‌کننده‌های آب و محیط‌زیست در ایران می‌باشند. صنعت نساجی به ویژه بخش رنگرزی و تکمیل یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب و تولیدکنندگان پساب صنعتی در بین سایر صنایع می‌باشند. در حال حاضر بخش رنگرزی و تکمیل در صنایع نساجی حدود ۲۰ درصد پساب‌های صنعتی عمل‌نشده در جهان را به خود اختصاص می‌دهند. کمبود جدی آب شیرین و آگاهی‌های زیست‌محیطی در سراسر جهان به‌صورت جدی مورد توجه قرار گرفته است. در فرایند رنگرزی بدون آب، سالیانه در مصرف میلیون‌ها لیتر آب شیرین صرفه‌جویی می‌کند و آب‌های زیرزمینی و محیط‌زیست دستخوش آلودگی نمی‌گردد. بر طبق تحقیقات انجام شده، بیش از ۱۰۰ لیتر آب در فرایندهای تولید ۱ کیلوگرم منسوج و بیش از ۶۰ لیتر آب جهت تولید ۶۰ میلیون تن منسوج مصرفی کل دنیا؛ معادل مصرف ۲۱۹ روز آب آشامیدنی مردم سراسر جهان مصرف می‌شود.

تولیدکنندگان ماشین‌آلات رنگرزی و تکمیل با خلق تکنولوژی‌های جدید سعی در کاهش مصرف آب و انرژی جهت انجام فرایندهای تولید می‌باشند. استفاده از تکنولوژی رنگرزی کف یا فوم ضمن کاهش مصرف آب، رنگ‌زا، مواد کمکی و انرژی در کاهش تولید پساب و مشکلات زیست‌محیطی بسیار مؤثر می‌باشد. تولیدکنندگان رنگ‌زاها و مواد شیمیایی نیز تلاش می‌کنند تا با ارائه تکنولوژی‌های جدید به‌طور قابل توجهی مصرف مواد شیمیایی مورد نیاز را کاهش دهند و بهترین نرخ برداشت رنگ‌زا را در الیاف حاصل کنند. در نتیجه میزان مواد شیمیایی تخلیه‌شده در پساب‌ها و آب مورد نیاز کاهش می‌یابد.

تکنولوژی‌های Dye coo و Colorzen با کاهش چشمگیر مصرف آب و مواد شیمیایی در فرایندهای رنگرزی گامی بلند در جهت صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی و کاهش پساب‌های نساجی برداشته‌اند. در ادامه به معرفی این دو تکنولوژی جدید جهت رنگرزی پلی‌استر و پنبه پرداخته می‌شود.

در روش‌های متداول رنگرزی با آب، منسوجات لازم است به همراه مواد کمکی، سطح فعال‌ها، عوامل شست‌وشوی احیایی و... از مراحل و فرایندهای مختلفی عبور کنند. برعکس در تکنولوژی رنگرزی بدون آب رنگ‌زا در سیال فوق بحرانی حل می‌شود و به مخزن حاوی پارچه تزریق می‌شود. در این شرایط رنگ‌زا به خوبی از سطح پارچه به داخل آن نفوذ می‌کند.

## تکنولوژی فوق بحرانی CO<sub>2</sub> برای رنگری پلی استر

شرکت Dye Coo Textile Systems یک ماشین رنگری تولید کرده است که رنگری پلی استر با رنگزای دیسپرس را با دی اکسید کربن فوق بحرانی بازیافتی انجام می دهد. در این تکنولوژی نیازی به آب و مواد کمکی نمی باشد؛ به علاوه اینکه نسبت به روش های متداول رنگری مصرف انرژی به طور چشمگیری کاهش می یابد.

فعالیت  
کلاسی



صرفه جویی در مصرف آب، رنگزا و مواد شیمیایی با تکنولوژی فوق بحرانی CO<sub>2</sub> برای رنگری پلی استر: اولین نسل از ماشین رنگری با دی اکسید کربن دارای یک محفظه رنگری استیل متصل به واحد بازیابی و تأمین دی اکسید کربن متصل می باشد. این واحد به پمپ و مبدل حرارتی نیز مجهز است. بیم پارچه در داخل محفظه و در کنار رنگزای دیسپرس قرار می گیرد. سپس محفظه تحت فشار قرار گرفته و با گاز دی اکسید کربن پر می شود. حرارت دادن دی اکسید کربن و گرم کردن آن تا دمای بالای ۳۰ درجه سانتی گراد و فشار بیشتر از ۷۴ بار باعث فوق بحرانی شدن آن می شود. در این حالت دی اکسید کربن به صورت سیال در می آید. در این تکنولوژی جدید دی اکسید کربن به عنوان یک ماده واسط رنگری زمانی که تحت فشار قرار می گیرد به فازی بین مایع و گاز تبدیل می شود که در این حالت قدرت حلالیت خیلی بالایی پیدا می کند. در این شرایط رنگزا به آسانی حل می شود و با توجه به قابلیت نفوذ بسیار بالای دی اکسید کربن، رنگزا به سادگی و با عمق زیادی در الیاف جابجا می شود و رنگ های با وضوح بالا ایجاد می کند. پس از رنگری پارچه بدون هیچ چین و چروک و تغییر ابعادی از دستگاه خارج می شود و نیاز به آبگیری و خشک کردن ندارد. در رنگری به روش استفاده از سیالات فوق بحرانی فقط مرحله چرخش کالا نیاز می باشد و هیچ فاضلابی تولید نمی شود. به علاوه اینکه دی اکسید کربن پس از رنگری قابل جدا شدن از منسوج و رنگزا و قابلیت استفاده مجدد و بازیافت را دارد. سیالات فوق بحرانی فازی از مواد می باشند که دما و فشار آنها از دما و فشار در نقطه بحرانی بالاتر می باشد. نقطه بحرانی، نقطه ای می باشد که در آن فاز مایع و گاز یک ماده قابل تشخیص می باشد. این فاز از ماده (بین حالت گاز و مایع) دارای مزایای زیادی می باشد و در فرایندهای رنگری می تواند جایگزین آب شود. مهم ترین سیال فوق بحرانی که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد، دی اکسید کربن می باشد، زیرا نسبت به سایر مواد دارای دما و فشار بحرانی قابل دسترس و کنترل (۳۱ درجه سانتی گراد و ۷۳ بار فشار) می باشد. به علاوه اینکه دی اکسید کربن، قابل بازیافت تا ۹۵ درصد، غیر قابل اشتعال، ارزان، غیر سمی می باشد و هیچ گونه پسماندی ندارد و جهت مصارف صنعتی مفید می باشد. همچنین دی اکسید کربن از نظر شیمیایی و فیزیولوژی غیر فعال می باشد. در فرایند رنگری Dye coo دی اکسید کربن را تا دمای ۱۰۲ درجه سانتی گراد در فشار ۲۵۰ بار حرارت می دهند. با نفوذ دی اکسید کربن فوق بحرانی به درون الیاف پلی استر، الیاف متورم شده و انتشار رنگزا در آنها راحت تر صورت می گیرد؛ بنابراین رنگزاها در عمق الیاف آبگریز پلی استر نفوذ می کنند و زمان رنگری در مقایسه با روش های متداول رنگری به نصف کاهش پیدا می کند. در ضمن تمام مراحل رنگری در یک حمام انجام می شود. نسل جدیدتر این ماشین ها از سه محفظه تشکیل شده است؛ زمانی که رنگری در محفظه اول انجام می شود، اپراتور به ترتیب محفظه دوم و سوم را پر می کند. زمانی که عملیات در محفظه اول به پایان می رسد، دی اکسید کربن را به واحد تأمین باز می گردانند و دو مرتبه در فرایند رنگری استفاده می شود. کمپانی مذکور با شراکت با کمپانی های دیگر قصد دارد تا طیف کاملی از رنگزاهای مورد استفاده با این روش، تولید روشن کننده های فلورسنت، شست و شوی پارچه و رنگری سایر الیاف با این روش ارائه دهد.

همواره در حین کار به اخلاق حرفه ای، نظم و انضباط، همکاری با دیگران، نکات ایمنی و زیست محیطی، دقت و سرعت در کار، علائم و هشدارها، خطرات احتمالی و دستورالعمل‌ها پایبند باشید. در شکل ۲۵ یک نمونه ماشین رنگرزی فوق بحرانی CO<sub>2</sub> نشان داده شده است.



شکل ۲۵- یک نمونه ماشین رنگرزی فوق بحرانی CO<sub>2</sub>

از مزایای دیگر این روش رنگرزی می‌توان به کاهش دمای رنگرزی، کاهش تعداد و زمان چرخه عملیات رنگرزی و حذف مرحله خشک‌کن اشاره کرد به طوری که زمان رنگرزی به ۱۵ تا ۶۰ دقیقه کاهش می‌یابد و در مصرف انرژی صرفه جویی می‌شود. از نظر هزینه رنگرزی با این روش، می‌توان گفت که تجهیزات مورد استفاده در این روش گران می‌باشد ولی ماده فوق بحرانی دی‌اکسید کربن ارزان می‌باشد. سیال فوق بحرانی همچنین سبب متورم شدن پلیمرها در الیاف مصنوعی و بازیافته می‌گردد و به رنگ‌زایی مثل دیسپرس اجازه می‌دهد تا به آسانی جذب الیاف گردند و سبب انتشار بهتر مواد رنگ‌زا در ساختار منافذ و مویینه الیاف گردد. این نفوذ عمیق برای پلیمرهایی که به صورت ذاتی غیر آب‌دوست می‌باشند، بسیار مثر ثمر و در حدود ۹۸ درصد جذب مواد رنگ‌زا می‌باشد و پسماند رنگ‌زا در کمترین مقدار در حدود ۲ درصد می‌باشد که قابل بازیافت می‌باشد. به علت کم بودن ویسکوزیته محلول رنگرزی، گردش محلول راحت‌تر انجام می‌شود و در مصرف انرژی صرفه جویی می‌گردد. از آنجایی که رنگ‌زا به صورت یکنواخت بر روی پارچه پخش می‌شود و رنگ‌زا به طور عمیق جذب الیاف می‌شود، بنابراین رنگ‌های خالص، شاد، واضح و پررنگ بر سطح کالا ایجاد می‌شود.

در زمان کار و بازدید از کارخانجات، با همگان با ادب و احترام برخورد کنید و تابع نظم و مقررات باشید. از هرگونه شوخی، بی‌دقتی، عجله، هل دادن افراد، دویدن و دستکاری ماشین‌آلات و تابلوهای برق اجتناب کنید.



## تکنولوژی Colorzen جهت آماده‌سازی اولیه پنبه برای رنگریزی

تکنولوژی Colorzen یک تکنولوژی پیشگام در جهت کاهش آلودگی‌های آب و مصرف آب و انرژی در رنگریزی می‌باشد. در این تکنولوژی با تغییراتی که در ساختار مولکولی الیاف پنبه انجام می‌شود (Pre-Treatment) (پیش‌عمل شده)، رنگریزی پنبه بسیار کارآمدتر و طبیعی‌تر از حالت معمول می‌گردد. در این الیاف نیازی به مصرف نمک و سایر مواد شیمیایی جهت تثبیت رنگ‌زا نمی‌باشد و ضمن کاهش زمان رنگریزی در انرژی مصرفی نیز صرفه‌جویی می‌شود. استفاده از این تکنولوژی باعث می‌شود که با مصرف نیمی از رنگ‌زای مصرفی در حالت معمول، رنگ مورد نظر با یکنواختی مطلوب و رمق‌کشی ۹۸ درصد حاصل شود.

الیاف پنبه‌ای از پیش‌عمل شده را می‌توان به صورت نخ، پارچه یا پوشاک با روش‌های متداول رنگریزی کرد اما مراحل شست‌وشو و سفیدگری اولیه برای آنها حذف می‌شود، چون در حین فرایند Colorzen بسیاری از ناخالصی‌های موجود در پنبه خام از بین می‌رود و میزان آب‌کشی نیز به مراتب کمتر می‌شود؛ بنابراین در تمامی ماشین‌ها مصرف آب و انرژی به ترتیب ۹۰ و ۷۵ درصد صرفه‌جویی می‌شود و زمان انجام فرایند نیز ۷۵ درصد کاهش می‌یابد. تنها ماده شیمیایی مصرفی در این فرایند ماده ترکننده می‌باشد؛ بنابراین میزان مصرف مواد شیمیایی ۹۵ درصد کاهش می‌یابد. این پروسه دوستدار محیط‌زیست می‌باشد و میزان تخلیه مواد شیمیایی سمی در پساب را به صفر نزدیک می‌کند.

از ویژگی‌های بسیار خوب این تکنولوژی ایجاد یک افینیتی (تمایل به جذب) قوی بین لیف و رنگ‌زا و حذف مواد شیمیایی در پروسه رنگریزی می‌باشد؛ به طوری که از هرگونه مواد مضر عاری می‌باشد. علاوه بر ویژگی‌های گفته‌شده، ثبات رنگ به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و بر شفافیت و وضوح رنگ‌زاها افزوده می‌شود. در شکل ۲۶ تفاوت پساب حاصل از رنگریزی پنبه در حالت معمولی و در حالت استفاده از تکنولوژی Colorzen در یک رنگ تیره را نشان داده شده است.



شکل ۲۶- تفاوت پساب حاصل از رنگریزی پنبه در حالت معمولی و در حالت استفاده از تکنولوژی Colorzen

نخ پنبه‌ای عمل شده با این تکنولوژی را می‌توان با رنگ‌زاهای راکتیو، مستقیم و... رنگریزی کرد. این فناوری ابتدا جهت رنگریزی پارچه‌های کشف پنبه‌ای به کار گرفته شد، ولی امروزه از این تکنولوژی در رنگریزی پارچه‌های تاری-پودی ۱۰۰ درصد پنبه‌ای نیز استفاده می‌شود.



## استفاده از فناوری نانو جهت صرفه جویی در انرژی

در سال‌های اخیر فناوری نانو به‌عنوان یک ابزار کاربردی و پربازده در تولید منسوجات نانو ساختار مورد استفاده در تبدیل، ذخیره و توزیع انرژی، توجه محققان و صنعتگران را به خود جلب کرده است، به عنوان مثال ساختارهای نانولیفی در مقایسه با ساختارهایی با ابعاد بزرگ‌تر از توان تبدیل انرژی بالاتر و بازدهی بیشتر در ذخیره انرژی برخوردار می‌باشند.

برخی از کاربردهای فناوری نانو در زمینه منسوجات مورد استفاده در بخش انرژی شامل تولید فیلترهای آب و پساب با نانو ساختارهای لیفی، تولید نانوالیاف رسانا (الیاف نانولوله کربن و اکسید گرافن)، الکترودهای لیفی، سلول‌های خورشیدی، پیل‌های سوختی حاوی نانو ساختار، سلول‌های سوختی، باتری‌های لیفی، ابرخازن‌های لیفی، انباره‌های هیدروژن، نانوژنراتورهای لیفی پیزو الکتریک، تجهیزات الکترونیکی مینیاتوری، پارچه‌های هوشمند نورانی، منسوجات ذخیره‌کننده انرژی، منسوجات گرم و خنک‌کننده نظامی، پارچه‌های هوشمند الکترونیکی تلفیق شده با حسگرها و پایشگرها با استفاده از فناوری بلوتوث با مصرف اندک انرژی و... می‌باشد که به علت انعطاف‌پذیری، پایداری، ایمنی، کوچک‌سازی، قابلیت بافت و پوشش، سبکی، هوشمند بودن، قابلیت تلفیق و... به سرعت در حال گسترش می‌باشد. استفاده از این فناوری در آینده نقش چشمگیری در تأمین انرژی پایدار و حفاظت از محیط‌زیست ایفا خواهد نمود.

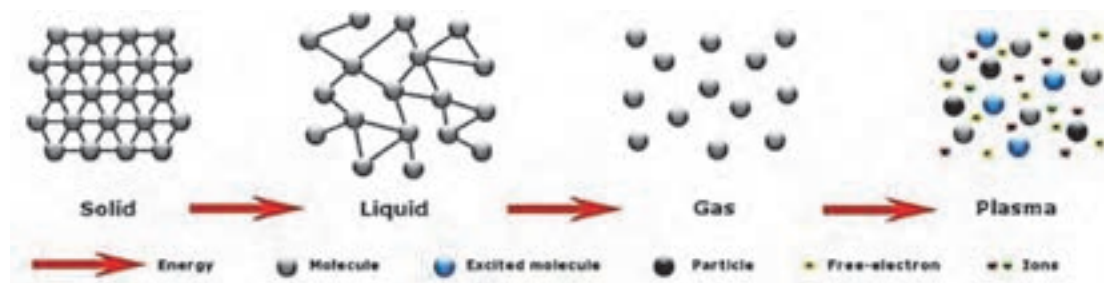
در رابطه با برخی از کاربردهای فناوری نانو در زمینه منسوجات مورد استفاده در بخش انرژی و منسوجات هوشمند، تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید



## کاربرد فناوری پلاسما در صنعت نساجی

پلاسما شبه‌گاز مرکب از ذرات بدون بار مثل اتم برانگیخته و باردار متحرک مثل الکترون‌ها می‌باشد که از تخلیه بار الکتریکی بین دو الکترود در محیطی انباشته از گاز در شرایط خلأ یا فشار محیط اتمسفری به دست می‌آید و از آن به عنوان حالت چهارم مواد نام برده می‌شود و شامل دو دسته سرد (پلاسمای اتمسفری بدون حرارت) و گرم (حرارت بالا) می‌باشد. در شکل ۲۷ انواع تغییرات حالات ماده از حالت جامد تا پلاسما نشان داده شده است. پلاسما تلفیقی از مولکول‌ها، ذرات، یون‌ها و الکترون‌های آزاد می‌باشند.



شکل ۲۷- انواع تغییرات حالات ماده از حالت جامد تا پلاسما

فرایند پلاسما جزو فرایندهای خشک در نساجی می‌باشد. این فرایند باعث کاهش مصرف آب و انرژی، تصفیه بهینه آب و پساب‌ها، کاهش استفاده از مواد مضر شیمیایی، افزایش خواص و قابلیت‌هایی از قبیل اصلاح سطح منسوجات، تسهیل فرایند آهارگیری، استریل کردن منسوجات، بهبود چسبندگی پوشش‌ها و نفوذ بهتر مواد پوشش دهنده پشت فرش، افزایش قابلیت چسبندگی به سطح، آب و روغن‌گریزی، افزایش آبدوستی منسوجات به منظور افزایش رطوبت‌پذیری و رنگ‌پذیری، اصلاح زبری سطح پارچه، ضد جمع‌شدگی، ضد الکتریسیته ساکن، کندسوزکنندگی آتش، فلس‌زدایی پشم، کندسوزی آتش، بهبود فرایند رنگ‌گریزی، تکمیل و چاپ، فعال‌سازی شیمیایی سطح منسوج، حذف پرزهای سطحی و... می‌شود؛ به همین علت امروزه فناوری پلاسما سرد در صنعت نساجی به سرعت در حال گسترش می‌باشد و از این فناوری به فناوری سبز و خشک نام برده می‌شود.

تحقیق کنید



پلاسما گرم چیست؟ چرا در نساجی از این فناوری کمتر استفاده می‌شود؟ همچنین در مورد روش‌های اصلی پلاسما جهت عملیات تکمیلی (کرونا، DBD، تخلیه تابشی و جت پلاسما) تحقیق و گزارش کنید.

از جمله کاربردهای پلاسما در تکمیل نساجی، پوشش‌دهی پلاسما می‌باشد. در این فرایند شامل اشکالی از قبیل کرونا، پلاسما جت و DBD (تخلیه مانع دی‌الکتریک هوا)، تخلیه دورانی و تابشی، پلاسما فشار اتمسفری، پلاسما دمای محیط و... می‌باشد. در این فناوری در شرایط خشک و بدون استفاده از حلال، لایه نازک چندنانومتری از مواد افزودنی ضد آتش، ضد میکروب، ضد آب، ضد روغن و... در ترکیب با بخار حاصل از محلول مواد اولیه بر روی کالا با چسبندگی بالا تثبیت می‌شود.

از مزایای این روش تکمیل مصرف بسیار کم مواد افزودنی می‌باشد؛ به عنوان مثال در تکمیل ضد میکروبی میزان مواد افزودنی بر منسوج حدود ۰.۲ گرم بر مترمربع منسوج می‌باشد. در این عملیات خواص عمومی منسوج از قبیل زبردست، نرمی و انعطاف‌پذیری کالا، بدون تغییر در خواص عمقی، باقی می‌ماند، به همین علت به این روش، تکمیل نامرئی گفته می‌شود.

از قابلیت‌های دیگر عملیات پلاسما، برهم‌کنش ذرات پلاسما با سطح منسوج و توانایی حذف و جدا کردن لایه‌های سطحی، آلودگی‌های سطحی، تسهیل‌کننده آهارگیری، حذف پرزهای سطحی نخ، افزایش قابلیت چاپ و رنگ‌گریزی و افزایش عمق رنگ، ضدندگی و ضد جمع‌شدگی منسوجات پشمی، تمیزکاری، ایجاد خاصیت آنتی‌استاتیک و آنتی‌باکتریال، استریل‌کردن منسوجات پزشکی در دمای محیط و... می‌باشد.

نکات  
زیست‌محیطی



استفاده از مواد نانو ساختار همراه با فرایند پلاسما، امکان تولید منسوجات چندمنظوره ایمن و مطمئن، افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف آب و تولید پساب و پسماند، کاهش مراحل فرایندها، سرعت عمل بالا، حل مشکلات تورم حاصل از استفاده از مواد کمکی، انرژی و مواد شیمیایی و... را فراهم می‌کند؛ به همین علت پلاسما به عنوان فناوری زیست‌سازگار، دوستدار محیط‌زیست یا فناوری سبز معروف شده است.

## ارزشیابی

ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان ۱ نمره مستمر (از ۵ نمره) و ۱ نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد

جدول ارزشیابی پودمان ۴- تحلیل نانومواد در نساجی

نمره	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	عنوان پودمان فصل
۳	تحلیل از بین بردن آلودگی‌ها و تغییر مواد جهت کاهش آلاینده‌گی و کاربرد نانومواد	بالاتر از حد انتظار	عملیات تکمیل نساجی و موادی که از نانو برای تولید آن استفاده شده و عملیات نساجی مرتبط با محیط‌زیست	تحلیل نانو مواد در تکمیل نساجی	تحلیل نانو مواد در نساجی
۲	تعیین چگونگی آلودگی محیط‌زیست و روش‌های رفع آن و عملکرد نانومواد	در حد انتظار		کاهش تأثیر عملیات نساجی بر محیط‌زیست	
۱	دانستن نام و عملیات تکمیل و رنگریزی و کاربرد مواد	پایین تر از انتظار			
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					