



## پودمان ۳

### تعیین ویژگی‌های الیاف بازیافته



## فعالیت عملی پانزدهم

### مواد مورد نیاز

این جلسه که جلسه پانزدهم از درس می باشد به الیاف شیمیایی، پلیمر و پلیمریزاسیون پرداخته می شود و در بخش عملی که در واقع بخش آزمایشگاه این جلسه است به صابونی کردن الیاف دی استات سلولز که از الیاف بازیافته سلولزی است اختصاص دارد. مواد لازم برای آزمایش صابونی کردن الیاف دی استات سلولز عبارت اند از:

۱ الیاف دی استات سلولز

۲ الیاف پنبه

۳ محلول ۱ درصد هیدروکسید سدیم (سود سوزآور)

۴ محلول ۱ g/lit رنگزای مستقیم

### وسایل مورد نیاز

۱ لوله آزمایش

۲ گیره لوله آزمایش

۳ پنس

۴ ترازوی دقیق (در صورت در دسترس بودن)

۵ میله شیشه ای

۶ پیپت

۷ چراغ بونزن

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

در این جلسه می توان از عکس، پوستر، اسلاید یا فیلم برای درک بهتر هنرجویان از پلیمر و پلیمریزاسیون استفاده کرد. این وسایل را هم می توان از کتاب فروشی ها و فروشگاه های لوازم آزمایشگاهی تهیه کرد و هم می توان از سایت های اینترنتی دریافت نمود. در سایت های اینترنتی مطالب، عکس، نمودار، شکل و انیمیشن و فیلم های مختلفی در زمینه پلیمرها و پلیمریزاسیون یافت می شود که به هنرآموزان عزیز توصیه می شود از آنها برای تدریس و درک بهتر هنرجویان در کلاس استفاده کنند. از دیگر وسایل کمک آموزشی که برای این جلسه می توان استفاده کرد، گوی ها و میله های اتصال ویژه نشان دادن اتم ها و مولکول ها است که می توان برای آزمایشگاه از فروشگاه های لوازم آزمایشگاهی یا بعضی کتاب فروشی ها تهیه کرد.

## فضای مورد نیاز

مثل جلسات قبل مطالب این جلسه نیز به دو بخش نظری و عملی تقسیم می‌شود. در واقع بخش نظری این جلسه باید در کلاس درس و بخش عملی آن در آزمایشگاه برگزار شود. در صورتی که امکانات لازم برای برگزاری کلاس نظری در آزمایشگاه وجود داشته باشد، می‌توان کل این جلسه اعم از بخش نظری و عملی را در آزمایشگاه برگزار کرد.

از آنجا که در این جلسه از محلول‌های شیمیایی، حرارت و شعله استفاده می‌شود، لذا باید آزمایشگاه مجهز به هواکش و دستگاه‌ها و تجهیزات اطفای حریق باشد.

## توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

چنان که در آغاز این درس گفته شده است، الیاف نساجی به دو دسته طبیعی و شیمیایی تقسیم‌بندی می‌شوند. الیاف طبیعی به الیافی گفته می‌شود که در طبیعت به صورت لیف وجود دارند. اما الیاف شیمیایی، الیافی هستند که مواد اولیه آنها در طبیعت وجود دارد ولی به صورت لیف قابل استفاده در صنایع نساجی نیستند. الیاف شیمیایی هم به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول آنهایی هستند که پلیمر آنها در طبیعت وجود دارد ولی یا به شکل لیف نیستند یا اینکه به شکل لیف هستند، ولی لیف آن قابل استفاده در نساجی نیست. به الیافی که پلیمر آنها در صنعت وجود دارد و در صنعت به روش‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی تبدیل به لیف قابل استفاده در نساجی می‌شوند، الیاف بازیافته یا دوباره تولید شده (regenerated) گفته می‌شود. اما دسته دوم از الیاف شیمیایی، الیافی هستند که نه تنها در طبیعت به صورت لیف وجود ندارند، بلکه پلیمر آنها نیز در طبیعت وجود ندارد. بنابراین، در صنعت ابتدا باید به روش‌های شیمیایی، فیزیک و مکانیکی آنها را تبدیل به پلیمر کرد و سپس پلیمر آنها را تبدیل به لیف نساجی نمود.

اما پلیمر چیست؟ به پلیمر ماکرومولکول نیز گفته می‌شود. یعنی مولکولی که بسیار بزرگ است. در زبان فارسی به پلیمر «بسپار» نیز گفته می‌شود. بسپار یعنی بسیار پاره. یعنی ماده‌ای که از بسیاری پاره یا کوچک تشکیل شده است. در واژه یا کلمه پلیمر از دو واژه پلی (poly) و مر (mer) استفاده شده است. کلمه مر در زبان انگلیسی یعنی «واحد تکرار شونده» یا یک واحد ساختمانی‌ای که در تشکیل کل ساختمان، مرتباً تکرار می‌شود، مثل یک آجر یا بلوک سیمانی در دیوار یا یک موزاییک در کف اتاق. اما پلی یعنی چندتایی، زیاد، بسیار یا چندگانه. لذا، باتوجه به معنای کلمه‌های پلی و مر می‌توان گفت که پلیمر ماده‌ای است که از تعداد بسیار زیادی اجزای تکرار شونده تشکیل شده است. چنان که در الیاف گیاهی دیدیم، هر مولکول سلولز یک پلیمر بود که از اتصال مولکول‌های کوچک‌تر به نام گلوکز

تشکیل می‌شود. یا ساختمان پشم از پروتئینی به نام کراتین ساخته می‌شود که کراتین خود پلیمری است از اتصال واحدهای کوچک تر که این واحدهای کوچک تر در واقع حدود ۲۱ اسید آمینه در پشم هستند.

به هر واحد تکرار شونده یک پلیمر که همان یک مر می‌باشد، منومر گفته می‌شود. هرگاه دو منومر با یکدیگر پیوند برقرار کنند، یک دایمر (dimer) شکل می‌گیرد. تریمر (terimer) یا تریمر مولکولی است که از سه مولکول ساده یا سه مر تشکیل شده است. به همین ترتیب، تترامر، پنتامر و ... در نهایت یک مولکول بزرگ به نام پلیمر شکل می‌گیرد. هر پلیمر از تعدادی اتم که با یکدیگر پیوند دارند تشکیل می‌شود. نوع اتم‌ها، نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در مولکول، نحوه پیوند اتم‌ها و تعداد اتم‌هایی که منومر یک پلیمر را تشکیل می‌دهند متفاوت می‌باشد و همین عوامل هستند که تعیین کننده نوع پلیمر و ویژگی‌های آنها می‌باشد.

مثلاً پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن هر دو فقط از اتم‌های کربن و هیدروژن ساخته شده‌اند، ولی یک تفاوت تقریباً ساده بین منومر پلی‌اتیلن و منومر پلی‌پروپین سبب می‌شود که این دو پلیمر از نظر خواص مثل جرم حجمی و نقطه ذوب متفاوت از یکدیگر باشند. پلیمرها هم به صورت طبیعی وجود دارند، مثل پلیمر سلولز که سازنده اجزای گیاهان است و پلیمر پروتئین که سازنده اجزای حیوانات و جانوران است، و هم به صورت مصنوعی و به روش‌های شیمیایی و فیزیکی ساخته می‌شوند، اما برای ساخت انواع پلاستیک‌ها مثل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپین و پلی‌استر. در صنعت به روش‌های شیمیایی و فیزیکی منومرها را با هم پیوند می‌دهند که همین پیوند بین منومرها سبب شکل‌گیری ساختمان مولکول بزرگ تر یا پلیمر می‌گردد. پیوند منومرها باید در دستگاه‌ها و ماشین‌آلات ویژه و در یک محیط کنترل شده انجام شود. هموپلیمرها که منومر آنها از یک نوع ثابت و یکسان می‌باشد دارای ویژگی و خواصی معین و ثابت هستند، اما گاهی لازم است یک پلیمری که تولید می‌شود فارغ از نوع منومر یا پلیمر دارای خواصی باشد که مورد انتظار برای ساخت جسم یا شیئی معین باشد. برای این منظور گاهی اوقات ساخت یک پلیمر از چند نوع منومر ممکن است امکان‌پذیر باشد. به پلیمرهایی که از چند منومر غیر یکسان تشکیل شده‌اند، کوپلیمر گفته می‌شود. هر منومر در ساختمان یک کوپلیمر می‌تواند عهده‌دار یک خاصیت مانند افزایش دمای ذوب، افزایش مقاومت کششی، افزایش یا کاهش حلالیت، افزایش جذب رطوبت و ... باشد.

برای پلیمریزاسیون پلیمرهای صنعتی، دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از پلیمریزاسیون اضافی (additional polymerization) و پلیمریزاسیون تراکمی (condensation polymerization). در پلیمریزاسیون تراکمی، همان‌طور که از نامش بر می‌آید، دو مولکول وقتی که به عنوان منومر با یکدیگر ترکیب می‌شوند، تراکم و انقباضی صورت می‌گیرد به این صورت که یک یا چند مولکول کوچک از

پیوند دو منومر آزاد می‌شود، یا زاینده می‌شود. و برای همین خاطر به پلیمریزاسیون تراکمی پلیمریزاسیون استخلافی یا جانشینی نیز گفته می‌شود. دو پلیمر مهم از پلیمرهای با پلیمریزاسیون تراکمی، پلیمرهای پلی‌استر و نایلون هستند که در پلیمریزاسیون این پلیمرها مولکول آب آزاد می‌شود. در پلیمریزاسیون تراکمی ابتدا یک منومر با منومر دیگر پیوند برقرار می‌کند و یک دایمر به وجود می‌آید. سپس دایمر حاصل یا با یک منومر پیوند برقرار می‌کند یا با یک دایمر دیگر یا با هر مولکول حاصل از چند منومر دیگر. از این رو به پلیمریزاسیون تراکمی، پلیمریزاسیون مرحله‌ای نیز گفته می‌شود. اصولاً در پلیمریزاسیون تراکمی هر منومر برای اینکه یک موضع یا ظرفیت پیوندی ایجاد نماید، یک گروه کوچک از خود را آزاد می‌کند و هر گروه کوچک آزاد شده از یک منومر با گروه کوچک آزاد شده از منومر دیگر پیوند برقرار می‌کند و یک مولکول کوچک را ایجاد می‌کند. مثل گروه OH منفی و H مثبت که از پیوند آنها یک مولکول آب ایجاد می‌شود. پس از آزاد شدن یک گروه کوچک از هر منومر، منومر مربوطه فرصت برقراری پیوند را با منومر دیگری که آن منومر نیز با آزادی یک گروه کوچک یک موضع پیوند می‌یابد، پیدا می‌کند.

در پلیمریزاسیون اضافی، منومرها دارای پیوندهای دوگانه هستند. یعنی از منومرهایی که اشباع نشده هستند می‌توان با باز کردن یکی از پیوندهای دوگانه، ظرفیتی پیوندی برای منومر ایجاد کرد. بنابراین با باز کردن یک پیوند از پیوندهای دوگانه دو منومر می‌توان دو منومر را به یکدیگر متصل کرد. یکی از نمونه‌های ترکیبات اشباع نشده، اتیلن (و مشتقات) آن است. اتیلن گازی است با دو کربن و چهار مولکول هیدروژن، که بین دو کربن آن یک اتصال دوگانه وجود دارد. در صنعت، با باز کردن یکی از پیوندهای دوگانه شرایط اتصال دو مولکول از اتیلن به وجود می‌آید. در این روش یعنی پلیمریزاسیون اضافی که با باز شدن یک پیوند دوگانه حاصل می‌شود، هیچ مولکولی یا گروه شیمیایی آزاد نمی‌شود، بنابراین تعداد اتم‌های هر مولکول حاصل از پلیمریزاسیون برابر مجموع اتم‌های منومرهایی است که با هم اتصال برقرار کرده‌اند. پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن از پلیمرهایی هستند که به روش پلیمریزاسیون اضافی ساخته می‌شوند. در پلیمریزاسیون این پلیمر با استفاده از یک راکتور شیمیایی و در دما و فشار بالا و با کمک کاتالیزور مناسب باندهای دوگانه مولکول‌های اتیلن باز شده و منومرها با یکدیگر پیوند برقرار می‌کنند و مولکول‌های با وزن مولکولی بیشتر را تشکیل می‌دهند. در این فرایند یکی از ویژگی‌های پلیمر تولید شده وزن مولکولی پلیمر است که اثرات فراوانی در خواص پلیمر تولید شده دارد. بنابراین، از آنجا که وزن مولکولی یک پلیمر، که متناسب با طول زنجیر پلیمر است، یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده خواص پلیمر است، لذا کنترل وزن مولکولی پلیمر در عمل پلیمریزاسیون بسیار با اهمیت است.

عوامل مهم تعیین کننده وزن مولکولی پلیمرها عبارتند از فشار و دمای محیط پلیمریزاسیون یا راکتور. معمولاً هر چه دما و فشار محیط پلیمریزاسیون بیشتر باشد، وزن مولکولی پلیمر تولید شده نیز بیشتر و طول زنجیر پلیمر بلندتر است. هر پلیمر خواص و ویژگی‌های مخصوص به خودش را دارد. خواص هر پلیمر علاوه بر اتم‌ها و ترکیبات تشکیل دهنده آن، به نوع اتصالات، تعداد اتم‌های تشکیل دهنده، پیوند بین زنجیرهای مولکولی، طول زنجیرها، نحوه قرارگیری زنجیرها نسبت به یکدیگر و ... بستگی دارد. وزن مولکولی هر پلیمر مهم‌ترین عامل تعیین کننده خواص آن پلیمر است. هر چه وزن مولکولی پلیمر بیشتر شود، دمای ذوب آن نیز بیشتر می‌شود، مقاومت آن افزایش می‌یابد، انعطاف پذیری آن کمتر می‌شود و حلالیت آن نیز کمتر می‌شود. عامل دیگر تأثیرگذار بر روی خواص پلیمر، پیوندهای بین مولکولی است. پیوند بین مولکولی در واقع پیوندهای جانبی بین زنجیرهای مولکولی است که هر چه این پیوندها قوی‌تر و بیشتر باشند، مقاومت لیف بیشتر، انعطاف پذیری آن کمتر، نقطه ذوب بالاتر و ... خواهد بود. البته هر چه تعداد پیوندهای عرضی بیشتر باشد، ممکن است سبب بعضی اثرات منفی در پلیمر شود. مثلاً پیوندهای قوی و زیاد بین مولکولی سبب سختی زیاد و عدم انعطاف پذیری پلیمر و لیف تهیه شده از آنها می‌شود.

آزمایش این جلسه مربوط می‌شود به صابونی کردن الیاف دی استات و تری استات سلولز. چنان که می‌دانید مواد اولیه استات سلولز، سلولز طبیعی است که گروه‌های هیدروکسیل آن به وسیله گروه استیل، استیله شده‌اند. هر گروه باقیمانده گلوکز در زنجیر سلولز دارای سه گروه هیدروکسیل است. این گروه‌های هیدروکسیل به وسیله واکنش استیلاسیون به وسیله گروه استیل جایگزین می‌شوند. هرگاه دو گروه هیدروکسیل سلولز استیله شوند، دی استات سلولز تولید می‌شود، و اگر هر سه گروه هیدروکسیل استیله شوند، تری استات سلولز تولید می‌شود. اما با عمل صابونی کردن استات سلولز که با هیدروکسید سدیم یا سود سوزآور انجام می‌شود، عکس عمل استیلاسیون اتفاق می‌افتد و گروه هیدروکسیل جای گروه استیل بر روی زنجیر سلولز می‌نشیند و استات سلولز به سلولز خالص تبدیل می‌شود.

یکی از مواد رنگزایی که برای رنگرزی و مواد سلولزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، رنگزا یا رنگ مستقیم است که این رنگزا قابلیت رنگرزی استات سلولز را ندارد. برای آزمایش این جلسه، ابتدا الیاف استات سلولز را صابونی کرده سپس سه نوع لیف یعنی الیاف پنبه، الیاف استات سلولز صابونی شده و الیاف استات سلولز صابونی نشده را به وسیله رنگزای مستقیم چنان که در کتاب اشاره شده است رنگرزی نموده و با یکدیگر مقایسه کنید. رنگ شدن استات صابونی شده به وسیله رنگزای مستقیم نشان دهنده صابونی شدن آن یعنی جایگزینی گروه‌های استیل به وسیله گروه‌های هیدروکسیل می‌باشد.

## فعالیت عملی شانزدهم

### مواد مورد نیاز

در این جلسه علاوه بر مطالب نظری که از مبحث «شکل مولکول‌ها» تا ابتدای مبحث «الیاف بازیافته» ادامه می‌یابد دارای بخش عملی و آزمایشگاهی هم هست که مربوط می‌شود به تعیین جرم مخصوص یا وزن مخصوص که می‌توان با داشتن نمره الیاف، سطح مخصوص آنها را نیز محاسبه کرد. بنابراین مواد لازم برای این جلسه عبارت‌اند از:

۱ تراکلرید کربن

۲ بنزن

۳ الیاف دی‌استات سلولز

۴ الیاف تری‌استاسلولز

۵ الیاف نایلون ۶

۶ الیاف اکریلیک

۷ الیاف پلی‌استر

### وسایل مورد نیاز

۱ بورت

۲ استوانه مدرج ۵۰ ml

۳ میله شیشه‌ای

۴ قیچی

۵ متر/خط کش

۶ ترازو

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

برای درک بهتر هنرجویان از مطالب این جلسه می‌توانید از عکس، پوستر، انیمیشن و فیلم استفاده کنید. باید توجه داشت که مطالب نظری این جلسه مستقیماً با هدف آزمایش ارتباط ندارد، و گنجاندن این آزمایش در این جلسه صرفاً به خاطر توزیع آزمایشات در جلسات درس در دوره یکساله تحصیلی است. بنابراین در تدریس این جلسه می‌توانید هم از وسایل کمک آموزشی مربوط به بخش نظری استفاده کنید و هم از وسایل لازم برای بخش آزمایش.

از جمله وسایلی که می‌توان برای درک وزن مخصوص و سطح مخصوص به کار برد استفاده از دو جسم مختلف با حجم یکسان ولی با وزن متفاوت است. مثلاً یک گردو یا گوی پلاستیکی و یک گوی سنگی یا فلزی.

همچنین برای درک بهتر سطح مخصوص می‌توانید از دو حلب روغن ۱ و ۲



کیلوپی استفاده کنید، چون نسبت حلب به کار برده شده نسبت به وزن محتویات آن برای حلب یا قوطی ۱ کیلوپی و ۲ کیلوپی متفاوت است. یعنی مساحت حلب مورد استفاده نسبت به وزن محتویات آن برای حلب یا قوطی ۲ کیلوپی کمتر از قوطی یا حلب ۱ کیلوپی است.

### فضای مورد نیاز

چنان که در جلسات قبل نیز توضیح داده شده است، این جلسه نیز دارای دو بخش نظری و عملی است. بنابراین بخش نظری این جلسه را می‌توان در کلاس درس برگزار کرد و بخش عملی آن حتماً باید در آزمایشگاه اجرا شود. اما، در صورت وجود امکانات لازم در آزمایشگاه، می‌توان هر دو بخش نظری و عملی این جلسه را در فضای آزمایشگاه برگزار کرد.

### توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

یکی از خواص پلیمرها یا ویژگی‌های پلیمرها، شکل مولکول‌های آنهاست. شکل مولکول‌ها متأثر از نوع اتم‌ها و نحوه پیوندهای اتم‌های تشکیل‌دهنده آن مولکول‌ها است. مولکول‌ها می‌توانند به صورت خطی یا یک بعدی، صفحه‌ای یا دو بعدی و حجمی یا سه بعدی باشند. در واقع نحوه پیوند بین اتم‌ها تعیین‌کننده شکل مولکول‌هاست. پلیمرهایی قابلیت لیف شدن دارند که به صورت خطی (یک بعد) باشند. پلیمرهایی که مولکول‌های آنها دارای شاخه‌های بلند و زیاد هستند، قابلیت تولید یا ساخت لیف مناسب مصرف در نساجی نیستند.

ویژگی دیگر زنجیرهای مولکولی، سختی آنهاست. زنجیرهای مولکولی سازنده یک پلیمر که برای ساخت لیف نساجی در نظر گرفته می‌شود باید دارای سختی مناسبی باشد. عواملی که تعیین‌کننده سختی زنجیر یک پلیمر هستند عبارت‌اند از: نوع اتم‌های تشکیل‌دهنده پلیمر، نوع پیوندهای بین اتم‌ها، چگونگی پیوند بین اتم‌ها، گروه‌های شیمیایی حاضر در زنجیر مولکولی، پیوندهای بین مولکولی یا پیوندهای جانبی. اگر سختی مولکول‌های تشکیل‌دهنده یک پلیمر زیاد باشد، آنگاه لیف تهیه شده از آن ممکن است انعطاف‌پذیری لازم برای مصرف در نساجی را نداشته باشد، و اگر سختی مولکول‌ها پایین باشد، ممکن است الیاف تهیه شده از آنها استحکام لازم برای مصرف در نساجی را نداشته باشند.

بعضی از مولکول‌های سازنده برخی پلیمرها در زنجیر اصلی خود حاوی ترکیباتی مثل حلقه‌های بنزنی هستند. این گونه ترکیبات و گروه‌ها در ساختمان مولکولی پلیمر سبب سخت شدن الیاف و بالا رفتن نقطه ذوب و افزایش استحکام الیاف می‌شوند. به هم جهت بودن و موازی بودن زنجیرهای مولکولی با محور لیف، آرایش یافتگی یا orientation می‌گویند. الیاف نساجی باید دارای آرایش یافتگی مولکولی مناسب باشند. آرایش‌یافتگی سبب افزایش استحکام کششی الیاف می‌شود.

در صنعت تولید و ساخت الیاف نساجی، به روش‌های فیزیکی و مکانیکی یعنی حرارت‌دادن و کشش دادن الیاف، درالیاف آرایش‌یافتگی مولکولی ایجاد می‌کنند. هرچه آرایش‌یافتگی مولکولی الیاف بیشتر باشد، جذب رطوبت آنها کمتر، مقاومت آنها بیشتر، ازدیاد طول تا حد پارگی آنها کمتر، مدول کششی آنها بیشتر و درخشندگی آنها بیشتر خواهد شد.

از نظر ساختمان داخلی، ساختار الیاف به دو قسمت کریستالی یا بلوری و قسمت بی‌نظم یا آمورف تقسیم می‌شود. در قسمت کریستالی در واقع مولکول‌های پلیمر با یکدیگر موازی هستند و بیشترین پیوند جانبی را با یکدیگر دارند و بخش بسیار محکم و نفوذناپذیر پلیمرها و الیاف می‌باشند. جذب رطوبت و جذب رنگ در نواحی کریستالی انجام نمی‌شود و این به دلیل نفوذناپذیری کریستال‌ها و عدم تمایل مولکول‌ها در قسمت کریستالی برای پیوند با مولکول‌های رنگ است. جرم حجمی کریستال‌ها بیشتر از جرم حجمی بخش آمورف است. اما در بخش آمورف، زنجیرهای مولکولی به صورت غیرمنظم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. اگر لیفی تحت کشش قرار بگیرد، این مولکول‌ها در بخش آمورف روی هم لغزیده مستقیم می‌شوند، با یکدیگر موازی می‌شوند و افزایش طول می‌دهند. در یک لیف هرچه مقدار کریستالی لیف بیشتر باشد، مقاومت آن بیشتر است. هرگاه یک لیف تحت کشش قرار بگیرد، کریستال‌ها و زنجیرهای مولکولی قسمت آمورف در جهت کشش وارده قرار گرفته به موازات محور لیف قرار می‌گیرند و در نهایت سبب می‌شود که آرایش‌یافتگی لیف بیشتر شود.

در صنعت الیاف‌سازی یعنی صنعت تولید الیاف شیمیایی، به عملیات تبدیل پلیمر به لیف را ریسندگی گویند. ریسندگی الیاف شیمیایی به سه روش می‌تواند انجام شود و انتخاب این سه روش برای یک پلیمر یا لیف خاص بستگی به نوع پلیمر و ملاحظات فنی و اقتصادی دارد. الیاف شیمیایی به یکی از سه روش ترریسی (ریسندگی مرطوب)، خشک‌ریسی (ریسندگی خشک) و ذوب‌ریسی (ریسندگی مذاب) ریسندگی می‌شوند.

در عملیات ترریسی، پلیمر مربوطه در حلال خود حل می‌شود و بعد از ریسندگی وقتی رشته الیاف که به صورت محلول هستند وارد یک حمام انعقاد می‌شوند، و حمام انعقاد با خارج کردن حلال از رشته محلول سبب سفت شدن و انعقاد لیف می‌شود. بعد از انعقاد و شست‌وشوی لیف، الیاف تولید شده را برای عملیات بعدی به دستگاه‌ها و ماشین‌آلات دیگر مانند ماشین‌آلات کشش و تکمیل منتقل می‌کنند. مهم‌ترین لیف که به روش ترریسی تولید می‌شود، الیاف بازیافته سلولزی هستند در بین الیاف مصنوعی، لیف اکریلیک نیز علاوه بر خشک‌ریسی به روش ترریسی ریسیده می‌شود.

درعمل خشک‌ریسی، پلیمر در حلال خود که حلالی فرار است حل می‌شود. در این روش بعد از اینکه محلول پلیمر از اسپینرت خارج شد از یک فضای داغ

عبور می‌کند و هوای داغ سبب تبخیر حلال موجود در رشته لیف شده و لیف به صورت جامد در می‌آید. در عمل خشک ریزی حلال تبخیر شده از الیاف در حال ریسندگی جمع‌آوری و برای استفاده مجدد بازیابی می‌شوند. دلیل بازیابی حلال در خشک‌ریسی، یکی جلوگیری از آلودگی محیط زیست و دیگری صرفه اقتصادی بازیابی آنهاست. بعد از اینکه الیاف به روش خشک‌ریسی تولید شد، الیاف یا فیلامنت‌های تولید شده برای عملیات کشش، اعمال مواد تکمیلی یا عملیات تکمیلی مکانیکی مثل تکسچرایزینگ به ماشین‌های مربوطه منتقل می‌شوند. الیاف اکریلیک علاوه بر ترریسی به روش خشک‌ریسی تولید می‌شوند.

ذوب‌ریسی برای الیافی استفاده می‌شود که پلیمر آنها ترموپلاستیک هستند و ذوب آنها خاصیت یا ویژگی پلیمر را تغییر نمی‌دهد. الیاف پلی پروپیلن، پلی استر و نایلون‌های ۶ و ۶۶ از الیافی هستند که به روش ذوب‌ریسی تولید می‌شوند. چنان‌که توضیح داده شده است هم در ترریسی و هم در خشک‌ریسی از حلال در ریسندگی (ایجاد مایع ریسندگی) استفاده می‌شود. ولی در ذوب‌ریسی از هیچ حلالی استفاده نمی‌شود و برای تبدیل پلیمر به مایع قابل رسیدن از حرارت دادن و ذوب کردن آن بهره گرفته می‌شود. در عملیات ذوب‌ریسی، به محض اینکه الیاف از اسپینرت به صورت فیلامنت خارج شدند از یک فضای خنک با دمش هوای خنک عبور می‌کنند. دمش هوای خنک به رشته الیاف مذاب، سبب خنک شدن و انجماد آنها می‌شود. الیاف حاصل از ذوب‌ریسی پس از تولید، به ماشین‌های کشش و سایر ماشین‌های تکمیلی از جمله ماشین‌های تکسچرایزینگ (در صورت نیاز) منتقل می‌شوند.

لازم به توضیح است که الیاف پلی‌استری که به روش ذوب‌ریسی در کارخانه‌های الیاف‌سازی تولید می‌شوند، لزوماً همه مراحل تکمیل را در همان کارخانه طی نمی‌کنند بلکه ممکن است به صورت نخ‌های POY و LOY به کارخانه‌های دیگری حمل و در آنجا تبدیل به FOY شوند.

جرم مخصوص هر جسم نشان‌دهنده چگالی یا دانسیته آن است. یکی از روش‌های تعیین جرم مخصوص الیاف روش غوطه‌وری است. در این روش، جسم در داخل مایعی قرار داده می‌شود، اگر جرم مخصوص جسم از مایع کمتر باشد، جسم در مایع شناور می‌شود، و اگر جرم مخصوص جسم از مایع بیشتر باشد، جسم در مایع فرو می‌رود، ولی اگر جرم مخصوص جسم برابر جرم مخصوص مایع باشد، جسم در داخل آن مایع غوطه‌ور می‌شود.

بنابراین، چنانچه یک توده از الیاف در داخل مایعی قرار گیرد و در آن مایع غوطه‌ور شود، این بدان معناست که جرم مخصوص این الیاف برابر جرم مخصوص مایع می‌باشد. براین اساس برای اندازه‌گیری جرم مخصوص الیاف، از مخلوط دو مایع مخلوط شدنی، یکی با جرم مخصوص بیشتر از آب و دیگری با جرم مخصوص کمتر

از آب استفاده می‌شود. در این روش، توده‌ای از الیاف معین در داخل مخلوط دو مایع با حجم‌های مساوی قرار داده می‌شود، در این صورت سه حالت زیر ممکن است اتفاق بیفتد:

۱ اگر توده الیاف در داخل مایع مخلوط غوطه‌ور شد، جرم مخصوص لیف با جرم مخصوص مایع مخلوط برابر است.

۲ اگر توده الیاف بر روی مایع مخلوط شناور ماند، آنقدر از مایع با جرم مخصوص کمتر به مایع مخلوط اضافه می‌شود تا توده الیاف در داخل مایع مخلوط غوطه‌ور شود. در این صورت جرم مخصوص الیاف مورد نظر با جرم مخصوص مایع مخلوط برابر است.

۳ اگر توده الیاف در داخل مایع مخلوط فرو رود، آنقدر از مایع با جرم مخصوص بیشتر به مایع مخلوط اضافه می‌شود تا توده الیاف در داخل مایع مخلوط غوطه‌ور شود. در این صورت جرم مخصوص الیاف مورد نظر با جرم مخصوص مایع مخلوط برابر است. در هر یک از حالات فوق، جرم مخصوص لیف از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{\rho_1 \times v_1 + \rho_2 \times v_2}{v_1 + v_2}$$

در رابطه فوق:

$\rho$ : جرم مخصوص لیف بر حسب  $\text{g/cm}^3$ ;

$\rho_1$ : جرم مخصوص مایع اول بر حسب  $\text{g/cm}^3$ ;

$v_1$ : حجم مایع اول بر حسب  $\text{cm}^3$ ;

$\rho_2$ : جرم مخصوص مایع دوم بر حسب  $\text{g/cm}^3$ ;

$v_2$ : حجم مایع دوم بر حسب  $\text{cm}^3$  است.

در این جلسه وزن مخصوص الیاف شیمیایی دی‌استات سلولز، تری‌استات سلولز، نایلون ۶، پلی‌استر و اکریلیک به روش غوطه‌وری مورد سنجش قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از انتشار گازهای نامطبوع و سمی در آزمایشگاه، لازم است این آزمایش در زیر هود انجام شود.

قبل از انجام آزمایش مطمئن شوید که همه ظرف‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرند تمیز و خشک هستند. سپس دسته کوچکی از الیاف مورد نظر را به هم بپیچید و دور خودش گره بزنید و لبه‌های الیاف را با قیچی کوتاه کنید. مراقب باشید که گره الیاف خیلی سفت نباشد. حدود ۲۰ میلی‌لیتر (سی‌سی) از تتراکلرین کربن را به وسیله بورت به داخل استوانه مدرج بریزید و دسته الیاف مورد نظر را در داخل آن قرار دهید. به وسیله میله شیشه‌ای، الیاف را به آرامی به جداره استوانه مدرج فشار دهید تا هوای داخل دسته الیاف به صورت حباب‌هایی خارج شوند.

اگر دسته الیاف بر روی تتراکلریدکربن شناور شدند، این یعنی وزن مخصوص الیاف از وزن مخصوص تتراکلریدکربن که برابر  $1/59 \text{ g/cm}^3$  است کمتر است. در این صورت از بنزن که دارای وزن مخصوص  $0/87 \text{ g/cm}^3$  است به وسیله بورت برداشته و به اندازه ۵ میلی لیتر به داخل استوانه مدرج بریزید و مخلوط دو مایع را هم بزنید و سپس صبر کنید و مشاهده کنید که محل قرار گرفتن دسته الیاف چگونه است. در صورتی که همچنان توده الیاف شناور می باشد، افزایش مایع بنزن را ادامه دهید تا توده الیاف کاملاً در داخل مخلوط دو مایع غوطه ور و ثابت شود. حال می توان گفت که جرم حجمی یا وزن مخصوص دسته الیاف برابر وزن مخصوص مخلوط دو مایع است. در این صورت با استفاده از رابطه ارائه شده وزن مخصوص مخلوط دو مایع را محاسبه کنید که برابر وزن مخصوص الیاف مورد استفاده می باشد. این آزمایش را برای همه الیاف انجام دهید.

## فعالیت عملی هفدهم

### مواد مورد نیاز

این جلسه مثل جلسات قبل از دو بخش نظری و عملی (آزمایشگاه) تشکیل شده است. بخش نظری این جلسه از مبحث «الیاف بازیافته» آغاز و تا ابتدای مبحث «خصوصیات الیاف ویسکوزریون» خاتمه می یابد. در بخش عملی این جلسه آزمایشی شبیه به آزمایش جلسه شانزدهم یعنی آزمایش تعیین وزن مخصوص یا جرم مخصوص الیاف انجام خواهد شد، با این تفاوت که در این جلسه الیاف مورد آزمایش الیاف طبیعی هستند. بنابراین مواد لازم این جلسه عبارت اند از:

۱ تتراکلرید کربن

۲ بنزن

۳ الیاف پنبه

۴ الیاف ویسکوز

۵ الیاف پشم

۶ الیاف ابریشم

### وسایل مورد نیاز

وسایل مورد نیاز برای آزمایشگاه این جلسه مانند وسایل جلسه شانزدهم و شامل موارد زیر می باشد:

۱ بورت

۲ استوانه مدرج ۵۰ ml

۲ میله شیشه‌ای

۴ قیچی

۵ متر / خط کش

۶ ترازو

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

وسایل کمک آموزشی این جلسه مانند جلسه شانزدهم می‌باشد، و برای تنوع به انتخاب هنرآموز می‌توان از قوطی، شیشه‌های ویژه ترشیجات، لوله‌های سیمانی با قطرهای مختلف، اجسام کروی با قطرهای مختلف و هر دو جسمی با یک شکل ولی در دو اندازه که توسط هنرجویان به کلاس آورده می‌شود استفاده کرد.

### فضای مورد نیاز

برای این جلسه مثل جلسه شانزدهم توصیه می‌شود که بخش نظری در کلاس درس برگزار شود و بخش عملی یا آزمایشگاه در فضای آزمایشگاه. البته اگر امکانات لازم در آزمایشگاه فراهم باشد، می‌توان هر دو بخش نظری و عملی را در آزمایشگاه برگزار نمود.

### توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

الیاف بازیافته (regenerated) که به الیاف دوباره تولید شده نیز معروف هستند، الیافی هستند که پلیمر آنها در طبیعت وجود دارد ولی به صورت لیف قابل استفاده در نساجی نیستند. مواد اولیه الیاف بازیافته از سه منبع سلولزی (گیاهان)، پروتئینی (حیوانات و گیاهان) و معدنی (فلزات، شیشه و ...) قابل تولید هستند.

الیاف بازیافته سلولزی از منابع سلولزی مثل تنه درختان و لینتر پنبه تهیه می‌شوند. الیافی که از منابع سلولزی بازیافت می‌شوند به سه دسته ویسکوزیون، پلی‌نوزیک و کوپرا‌مونوم تقسیم می‌شوند. اگر چه منبع تولید این سه نوع لیف یکسان است ولی نحوه تولید آنها کمی با یکدیگر متفاوت است. از این رو خواص و ویژگی‌های این سه نوع لیف نیز کمی با هم فرق می‌کند.

پرمصرف‌ترین الیاف بازیافته سلولزی، الیاف ویسکوزیون هستند که در بازار به الیاف ویسکوز، ریون یا ابریشم مصنوعی معروف است. الیاف ویسکوزیون هم به صورت فیلامنت و هم به صورت الیاف بریده بریده (staple) تولید می‌شوند. الیاف بریده بریده ویسکوزیون هم به صورت الیاف کوتاه (short staple) تولید می‌شوند و هم به صورت الیاف بلند (long staple) یعنی در حد طول الیاف پشم.

علاوه بر چوب درختان و لینتر پنبه، دیگر منابع گیاهی نیز می‌توانند به عنوان مواد اولیه الیاف بازیافته سلولزی مورد استفاده قرار گیرند. یکی از منابع تولید ویسکوزیون، ضایعات سلولزی یا تفاله نیشکر است. حدود نیمی از ضایعات نیشکر از سلولز است که می‌تواند به عنوان منبعی برای تولید ویسکوزیون مورد استفاده

قرار بگیرد. البته در ایران مزارع کشت نیشکر وسیعی وجود دارد که ضایعات آنها صرف تولید محصولات سلولزی از جمله تخته‌های سلولزی (نئوپان) یا مقوا می‌شود. از دیگر منابع سلولزی ساقه انواع غلات مثل گندم، جو و برنج می‌باشد که معمولاً این ساقه‌ها که به کاه معروف‌اند برای تولید کاغذ و محصولات بی‌بافت مورد استفاده قرار می‌گیرند و مصرف برای تولید ویسکوزیون ندارند. اصولاً تولید الیاف ویسکوزیون در کشور ما وجود ندارد و همه الیاف ویسکوزیون یا الیاف بازیافته سلولزی برای مصارف نساجی از منابع خارجی تهیه می‌شود.

اگرچه الیاف ویسکوزیون از منابع چوب درخت و لینتر پنبه می‌توانند تولید شوند، ولی عمده منبع تولید الیاف ویسکوزیون چوب درختان است. ویسکوزیون در کشورهایی که منابع غنی از چوب و جنگل‌های پهناور دارند تولید می‌شوند. در تولید الیاف ویسکوزیون، ابتدا چوب یا تنه درخت را به صورت صفحه‌هایی (تخته) در می‌آورند. سپس تحت اثر محلول سود سوزآور که حلال سلولز است قرار می‌دهند. در این مرحله محلول سود جذب صفحه‌های چوبی می‌شود. پس از مدت حدود ۱ ساعت تخته‌های چوب حاوی سود سوزآور را تحت فشار قرار داده تا سود از آنها خارج شود، سپس صفحات چوبی را به وسیله دستگاه‌های مخصوصی خرد می‌کنند و در مرحله بعد خرده‌های چوب را به مدت حدود یک روز به حال خود رها می‌کنند تا سود به خوبی بر روی سلولز چوب اثر کرده و سلولز قلیایی به دست آید. به این مرحله، مرحله زمان دادن (ageing) می‌گویند. سلولز قلیایی حاصل را تحت عملیات سولفیدکربن قرار می‌دهند. عملیات یا اثر سولفیدکربن بر روی سلولز قلیایی را گزانتاسیون می‌گویند که به وسیله دستگاهی به نام گزانتاتور انجام می‌شود. بعد از عمل گزانتاسیون، گزانتات سلولز حاصل را در سود سوزآور رقیق حل می‌کنند که محلولی به دست می‌آید به نام سدیم گزانتات سلولز به طوری که این محلول مناسب برای عملیات ریسندگی می‌باشد.

پس از به دست آمدن محلول سدیم گزانتات سلولز که در واقع محلول مناسب برای ریسندگی است، ابتدا آن را از فیلترهای مناسبی می‌گذرانند تا ناخالصی‌ها و ذرات جامد از محلول جدا شود و محلول صافی حاصل شود. پس از فیلتر کردن محلول، محلول فیلتر شده به دستگاه ریسندگی هدایت و در آنجا بعد از عبور از پمپ‌های ویژه‌ای به ریسنده یا اسپینرت تغذیه می‌شود. بعد از عبور محلول از دستگاه ریسنده، ریسیده شده و تبدیل به رشته‌های نازک می‌شود. سپس رشته‌های ریسیده شده وارد حمامی به نام حمام انعقاد می‌شود که حاوی محلول اسیدسولفوریک سولفات روی، سولفات سدیم و گلوکز است. رشته سدیم گزانتات سلولز ریسیده شده بعد از ورود به حمام انعقاد، منعقد شده و سفت می‌شود. سپس الیاف منعقد شده از حمام خارج، شست‌وشو داده شده و بر روی بوبین پیچیده می‌شوند. در صورتی که لازم باشد الیاف بریده بریده از ویسکوزیون تولید شود، فیلامنت‌های ویسکوزیون

به طول دلخواه بریده شده و به صورت عدل یا تاپس (فتیله الیاف بلند) بسته‌بندی و به کارخانه‌های ریسندگی حمل می‌شود. بخش عملی یا آزمایشگاه این جلسه به همان صورت جلسه شانزدهم اجرا می‌شود. بنابراین، کافی است براساس شرحی که برای جلسه شانزدهم داده شده است برای الیاف این جلسه که از الیاف ویسکوزیون و سایر الیاف طبیعی سلولزی و پروتئینی می‌باشد آزمایش لازم انجام شود.

## فعالیت عملی هجدهم

### مواد مورد نیاز

بخش نظری این جلسه از مبحث «خصوصیات الیاف ویسکوزیون» آغاز و تا پایان مبحث «مصارف ویسکوزیون» پایان می‌یابد. در بخش عملی این جلسه به سطح مخصوص الیاف پرداخته می‌شود. بنابراین در این جلسه لازم نیست که از مواد نساجی استفاده شود و فقط کافی است از بعضی از احجام برای محاسبات سطح مخصوص استفاده شود.

البته، اگر احجام هم در دسترس نبود می‌توان از ترسیم پرسپکتیو یا حجم نیز بهره گرفته شود. احجام مورد نیاز عبارت‌اند است:

۱ استوانه با قطر بزرگ یا قوطی روغن ۴-۳ کیلوگرمی (استوانه‌ای یا مکعب)

۲ استوانه با قطر کوچک یا قوطی روغن ۲-۱ کیلوگرمی (استوانه‌ای یا مکعب)

۳ میله منشوری به اضلاع ۵-۳ سانتی‌متر

۴ میله منشوری به اضلاع ۲-۱ سانتی‌متر

البته احجام فوق را می‌توان در کلاس و به وسیله مقوا، قیچی و چسب ساخت. لذا توصیه می‌شود که هنرآموزان عزیز احجام را ساخته و در آزمایشگاه نگهداری کنند.

### وسایل مورد نیاز

۱ مقوا

۲ متر نواری یا خط‌کش

۳ قیچی

۴ چسب

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

در این جلسه می‌توان از عکس، پوستر، انیمیشن و فیلم استفاده کرد. در زمینه سطح مخصوص انیمیشن‌هایی در سایت‌های اینترنتی علمی وجود دارد که هنرآموزان عزیز می‌توانند از آنها برای درک بهتر هنرجویان استفاده کنند.



## فضای مورد نیاز

اگر چه این جلسه شامل بخش‌های نظری و عملی است، ولی می‌توان بخش عملی را که بیشتر درک فضایی و انجام محاسبات هندسی و حجمی است، در کلاس درس انجام داد.

## توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

الیاف ویسکوزیون از الیاف باز یافته سلولزی است. به دلیل جنس سلولزی این لیف که هم جنس با الیاف پنبه است، از نظر خواص شباهت‌های زیادی با الیاف پنبه از نظر شیمیایی و فیزیکی دارد. اما، از آنجا که در جریان تولید و ساخت الیاف ویسکوزیون عملیات شیمیایی و مکانیکی مختلفی بر روی سلولز انجام می‌شود، لذا انتظار می‌رود که این الیاف تفاوت‌هایی از نظر خواص با الیاف پنبه و الیاف سلولزی طبیعی داشته باشند. نمای مقطع عرضی (سطح مقطع عرضی) الیاف ویسکوزیون به صورت مضرس یا دنداندار است. دلیل مضرس بودن مقطع عرضی این الیاف انعقاد نامنظم آنها در داخل حمام انعقاد در هنگام تولید است. یعنی در هنگام انعقاد، به اصطلاح سطح الیاف چروک می‌شود. سطح مقطع مضرس الیاف ویسکوزیون مزایایی دارد و آن افزایش سطح جانبی الیاف و در نتیجه جذب رطوبت سریع‌تر و بیشتر و جذب رنگ سریع‌تر آنها می‌باشد. نمای طولی الیاف ویسکوزیون به صورت یک میله است که دارای خط‌های محوری است. خطوط محوری روی نمای طولی الیاف ویسکوزیون در واقع نمای فصل مشترک بین دندان‌های روی لیف می‌باشد.

الیاف ویسکوزیون الیافی باز یافته هستند و به صورت صنعتی تولید می‌شوند. بنابراین طول و قطر یا ضخامت الیاف که تعیین‌کننده نمره الیاف است، در هنگام تولید قابل کنترل است. الیاف ویسکوزیون در سه دسته طولی تولید می‌شوند. اول به صورت فیلامنت است که بیشتر مصارف تولید پارچه‌های تاری - پودی و حلقوی از جمله حلقوی تاری برای بافت پرده توری دارند. دوم الیاف استیپل کوتاه هستند که معمولاً با طول حدود ۴۰mm تولید می‌شوند و به صورت نخ‌های ویسکوزی خالص یا در ترکیبی با الیاف مصنوعی مثل پلی‌استر ریسیده می‌شوند و عمدتاً مصارف لباسی و پوشاک دارند. سوم الیاف استیپل با طول بلند هستند که با طول حدود طول الیاف پشم تولید می‌شوند و در ترکیب با الیاف پشم یا الیاف مصنوعی در ریسندگی (عمدتاً ریسندگی فاستونی) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

درخشندگی الیاف ویسکوزیون بیشتر از الیاف پنبه است و این به دلیل صاف بودن سطح این الیاف است. البته چون الیاف ویسکوزیون به صورت صنعتی تولید می‌شوند، جلا و درخشندگی آنها قابل کنترل است.

در جریان تولید الیاف ویسکوزیون، وقتی که سلولز طبیعی تحت اثر مواد شیمیایی و حلال‌ها قرار می‌گیرد، زنجیرهای مولکولی سلولز شکسته می‌شوند و کریستال‌های

سلولز نیز دچار آسیب می‌شوند. از این رو جذب رطوبت الیاف ویسکوزیون بیشتر از الیاف پنبه است. چون نواحی آمورف یا بی‌نظم الیاف ویسکوزیون بیشتر از الیاف پنبه است و برخی پیوندهای بین مولکولی سلولز نیز در جریان تولید ویسکوزیون شکسته شده و بنابراین پیوندهای گسسته شده تمایل به پیوند با مولکول‌های آب داشته و در نتیجه این عامل نیز سبب افزایش جذب رطوبت الیاف ویسکوزیون می‌شود.

خواص مکانیکی الیاف ویسکوزیون متفاوت از الیاف پنبه است. تفاوت خواص مکانیکی این دو لیف به دلیل شکستگی زنجیرهای مولکولی و از بین رفتن بعضی پیوندهای جانبی بین زنجیرهای سلولز می‌باشد. به همین دلیل مقاومت ویسکوزیون کمتر از پنبه است، مدول الاستیک ویسکوزیون و برگشت‌پذیری ویسکوزیون نیز کمتر از پنبه است. افزایش طول تا حد پارگی الیاف ویسکوزیون بیشتر از پنبه است. یعنی الیاف ویسکوزیون نرم‌تر از الیاف پنبه هستند.

عوامل محیطی و مواد شیمیایی بر روی ویسکوزیون اثراتی دارند. اثر رطوبت بر روی الیاف ویسکوزیون کمی متفاوت با اثر آن بر روی پنبه است. وقتی پنبه رطوبت جذب می‌کند، افزایش طول آن زیاد می‌شود و مقاومت آن نیز زیاد می‌شود و حرارت تولید می‌شود.

ولی، اگر چه جذب رطوبت الیاف ویسکوزیون سبب زیاد شدن افزایش طولی آنها می‌شود، مقاومت ویسکوزیون با جذب رطوبت کاهش می‌یابد. جذب رطوبت الیاف ویسکوزیون نیز سبب تولید گرما می‌شود، ولی گرمای تر شدن (heat of wetting) الیاف ویسکوزیون بیشتر از الیاف پنبه است.

از دیگر عوامل محیطی موثر بر الیاف ویسکوزیون اثر نور خورشید و حرارت است. نور خورشید بر روی پیوندهای بین مولکولی الیاف ویسکوزیون تأثیر می‌گذارد. اگر الیاف ویسکوزیون به مدت طولانی در معرض نور خورشید قرار بگیرند، رنگ آنها تغییر کرده و مقاومت آنها کاهش می‌یابد. اگر الیاف ویسکوزیون در معرض حرارت بیشتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار بگیرند تغییراتی در آنها حاصل می‌شود. تغییر خواص الیاف ویسکوزیون در مقابل حرارت به صورت تغییر رنگ و کاهش مقاومت است. الیاف ویسکوزیون در مقابل آتش شعله‌ور می‌شوند و می‌سوزند و خاکستر آنها مثل خاکستر پنبه نرم بوده و بوی دود آن مثل بوی کاغذ سوخته می‌باشد.

اسیدها و قلیاها نیز بر ویسکوزیون اثر مخرب دارند و اثر این مواد شیمیایی بر روی ویسکوزیون شدیدتر از اثر آنها بر روی الیاف پنبه است. اسیدهای معدنی مثل اسیدکلریدریک و اسیدسولفوریک الیاف ویسکوزیون را حل می‌کنند و اسیدهای آلی تقریباً بر روی ویسکوزیون بی‌تأثیر هستند. مقاومت ویسکوزیون در مقابل قلیاها خوب است ولی اگر در حالت داغ یا جوش باشند می‌توانند اثر مخربی بر روی ویسکوزیون داشته باشند. از دیگر مواد شیمیایی که ممکن است

برروی ویسکوزیون و محصولات ویسکوزی عمل شود، حلال‌های آلی هستند. حلال‌های آلی بر روی ویسکوزیون تأثیری ندارند. برای مثال در خشکشویی‌ها که از حلال آلی استفاده می‌شود، خشکشویی پارچه‌ها و البسه ویسکوزی آسیبی به آنها نمی‌رساند. بعضی از حلال‌های آلی مثل کوپر آمونیوم، الیاف ویسکوزیون را در خود حل می‌کنند. در صنعت تولید الیاف ویسکوزیون می‌توان با کنترل مواد داخل حمام انعقاد، کنترل دما، و افزایش زمان انعقاد و همچنین کشش الیاف پس از برداشت الیاف از داخل حمام، مقاومت الیاف ویسکوزیون را افزایش داد یا به اصطلاح ویسکوزیون تقویت شده تولید کرد. در جریان کشش الیاف ویسکوزیون بعد از خروج الیاف از حمام انعقاد، زنجیرهای مولکول‌های سلولزی در داخل الیاف مستقیم و موازی شده و به موازات محور لیف قرار خواهند گرفت. همین توازی زنجیرهای مولکولی با محور لیف، سبب افزایش مقاومت، افزایش مدول کششی و کم‌شدن افزایش طول تا حد پارگی لیف خواهد شد.

پنبه و ویسکوزیون هر دو لیف سلولزی هستند. پنبه طبیعی ولی ویسکوزیون بازیافته به روش صنعتی ساخته می‌شود. از نظر جنس و ترکیبات هر دو لیف پنبه و ویسکوزیون یکسان هستند. ولی از آنجا که در فرایند تولید ویسکوزیون سلولز طبیعی تحت عملیات مختلف و به ویژه عملیات شیمیایی قرار می‌گیرد، بنابراین طول زنجیرهای مولکولی الیاف ویسکوزیون کوتاه می‌شود و نواحی کریستالی آن کمتر از پنبه است و پیوندهای جانبی بین زنجیرهای مولکولی کمتر و ضعیف‌تر از پنبه طبیعی است. برای همین، الیاف پنبه و ویسکوزیون تفاوت‌هایی باهم دارند. به بعضی از تفاوت‌های الیاف ویسکوزیون و پنبه بیشتر اشاره شده است. یکی از تفاوت‌های الیاف سلولز و پنبه در میزان تورم آنهاست. تورم الیاف ویسکوزیون بیشتر از الیاف پنبه است و این به دلیل جذب رطوبت بیشتر الیاف ویسکوزیون و نواحی وسیع‌تر آمورف و بی‌نظم در الیاف ویسکوزیون است. مولکول‌های آب بیشتری جذب نواحی آمورف می‌شوند و به دلیل کوتاه‌تر بودن زنجیرها و ضعیف بودن پیوندهای بین مولکولی، تورم الیاف ویسکوزیون بیشتر از پنبه است.

مصارف الیاف ویسکوزیون بیشتر در پارچه‌های لباسی، پیراهنی، لباس‌های بچه، پارچه‌های خانگی، انواع دستمال، رومیزی، کراوات و... می‌باشد. در صنعت ریسندگی علاوه بر تولید نخ ویسکوزیون خالص، از مخلوط الیاف ویسکوزیون با الیاف مصنوعی و الیاف پشم نیز برای تولید نخ استفاده می‌شود. از مخلوط الیاف ویسکوزیون و الیاف مصنوعی در پارچه‌های پیراهنی، رومیزی و رومبلی استفاده می‌شود. نخ‌های فیلامنتی ویسکوزی مصارف مختلفی از جمله لباس زنانه، پرده، توری، رومیزی و... دارند. الیاف ویسکوزیون برای بافت پارچه‌های پیراهنی مردانه و زنانه مورد استفاده قرار می‌گیرند که علاوه بر زیبایی دارای خنکی خاصی در تابستان و در نواحی گرم هستند.

در بخش عملی این جلسه قرار است سطح مخصوص و ارتباط آن با قطر الیاف مورد بررسی قرار گیرد. در واقع در این جلسه لازم است مفهوم سطح مخصوص، روش محاسبه و ارتباط آن با قطر یا سطح مقطع احجام مورد بررسی قرار گیرد. در قسمت وسایل مورد نیاز این جلسه به تهیه استوانه‌های بزرگ و کوچک و منشورهای بزرگ و کوچک اشاره شده است. در ادامه به ساخت احجام به وسیله مقوا اشاره شد که در اینجا نیز تأکید می‌شود، حجم‌های مورد نیاز در کلاس و با حضور هنرجویان ساخته شود.

کافی است با استفاده از مقوا، قیچی، خط‌کش و چسب و کاغذ، منشور، استوانه و مکعب‌های در دو اندازه ساخته شود. منشور با مقطع مثلث متساوی‌الاضلاع (در دو اندازه)، استوانه با سطح جانبی کاغذی (کاغذ بهتر از مقوا خم می‌شود) در دو اندازه و دو مکعب با اندازه‌های مختلف. پس از ساخت احجام، مساحت‌های جانبی آنها را محاسبه کنید و تقسیم بر حجم آنها نمایید. مساحت جانبی احجام فوق به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

#### ۱ استوانه

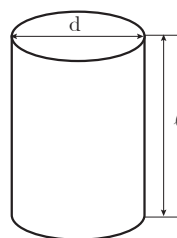
d: قطر

l: طول

$\pi dl =$  مساحت جانبی استوانه

$$\text{حجم استوانه} = \frac{\pi d^2}{4} \times l$$

$$\text{سطح مخصوص استوانه} = \frac{\pi dl}{\frac{\pi d^2 l}{4}} = \frac{4}{d}$$



رابطه فوق نشان می‌دهد که سطح مخصوص متناسب با عکس قطر استوانه است، یعنی هر چه قطر لیف بیشتر شود، سطح مخصوص آن کمتر می‌شود. یعنی یک

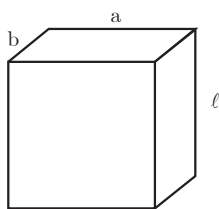
استوانه با قطر بیشتر، نسبت به حجم خودش، رنگ کمتری برای پوشش نیاز دارد.

### ۲ مکعب

a: طول مقطع عرضی

b: عرض مقطع عرضی

L: طول مکعب



$$\text{مساحت جانبی مکعب} = 2(a+b)l$$

$$\text{حجم مکعب} = abL$$

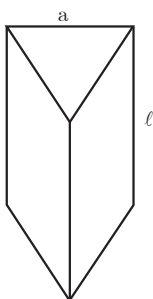
$$\text{سطح مخصوص مکعب} = \frac{2(a+b)l}{abL} = \frac{2(a+b)}{ab}$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که با افزایش طول اضلاع مقطع یک مکعب، سطح جانبی آن کم می‌شود و برعکس.

### ۳ منشور

a: طول ضلع منشور متساوی‌الاضلاع

L: طول منشور



$$\text{مساحت جانبی منشور} = 3al$$

$$\text{حجم منشور} = a \sin \frac{\pi}{3} \cdot \frac{a}{2} \cdot l = \frac{a^2 l}{2} \sin \frac{\pi}{3}$$

$$\text{سطح مخصوص منشور} = \frac{3al}{\frac{a^2 l}{2} \sin \frac{\pi}{3}} = \frac{6}{a \sin \frac{\pi}{3}}$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که هر چه طول ضلع سطح مقطع منشور سه وجهی بیشتر شود سطح مخصوص آن کوچک‌تر می‌شود.

## فعالیت عملی نوزدهم

### مواد مورد نیاز

در این جلسه مقاومت الیاف طبیعی و بازیافته به صورت تک تک انجام می‌شود، لذا لازم است مواد زیر برای این جلسه آماده شوند:

۱ الیاف پنبه

۲ الیاف پشم

۳ الیاف ابریشم

۴ الیاف ویسکوز

### وسایل مورد نیاز

۱ دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الیاف به صورت تک تک (تک لیف)

۲ پنس

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

در این جلسه می‌توان از عکس، پوستر، انیمیشن و فیلم مناسب استفاده کرد. توصیه می‌شود ضمن استفاده از این وسایل، برای تدریس بخش نظری، از نمودارها و انیمیشن و فیلم‌های مناسب در زمینه آزمایش کشش الیاف برای تدریس و درک بهتر هنرجویان استفاده شود.

### فضای مورد نیاز

بخش نظری این جلسه در کلاس درس برگزار گردد و بخش عملی یا آزمایشگاه آن در فضای آزمایشگاه. البته چنانچه امکانات لازم برگزاری بخش نظری در آزمایشگاه

موجود باشد، هر دو بخش نظری و عملی می‌توانند در فضای آزمایشگاه برگزار شوند.

### توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

مطالب این جلسه از مبحث «الیاف پلی‌نوزیک» شروع و تا ابتدای مبحث «طرز تهیه الیاف دی استات سلولز» ادامه می‌یابد. بخش عملی این جلسه مربوط می‌شود به اندازه‌گیری مقاومت الیاف طبیعی به صورت تک لیف یا تک تک.

الیاف پلی‌نوزیک الیافی هستند سلولزی و بازیافته از سلولز طبیعی. روش تولید الیاف پلی‌نوزیک مانند ویسکوزیون می‌باشد با این تفاوت که در عملیات تولید، مواد و شرایط تولید تفاوت‌هایی بین ویسکوزیون و پلی‌نوزیک وجود دارد. چنان‌که در جلسات پیش در زمینه ویسکوزیون توضیح داده شده است، الیاف ویسکوزیون نسبت به الیاف پنبه دارای طول زنجیرهای مولکولی کوتاه‌تر، مقاومت کمتر و افزایش طول تا حد پارگی بیشتری بودند. این تفاوت نیز ناشی از اثر مواد شیمیایی مورد استفاده در تولید الیاف ویسکوزیون بود. اما در تولید الیاف پلی‌نوزیک شرایطی فراهم می‌شود که طول زنجیرهای پلیمر بلندتر از ویسکوزیون، و ساختمان الیاف پلی‌نوزیک، مانند پنبه به صورت فیبری و میکروفیبری حفظ شود. در تولید الیاف پلی‌نوزیک همان مواد شیمیایی مورد استفاده در تولید ویسکوزیون مصرف می‌شود، ولی شدت آنها یا غلظت آنها پایین‌تر بوده، دمای عملیات پایین‌تر و پس از رسیدن، مدت باقیماندن الیاف در حمام انعقاد طولانی‌تر است. به دلیل طولانی بودن زمان حضور الیاف در حمام انعقاد و پایین بودن درجه حرارت و کم بودن شدت مواد شیمیایی، انعقاد الیاف به آرامی انجام شده و سطح مقطع لیف نیز منظم‌تر است.

یکی از تفاوت‌های روش تولید ویسکوزیون و پلی‌نوزیک در زمان گزانتاسیون است. زمان گزانتاسیون ویسکوزیون ۱۰-۸ ساعت است ولی برای پلی‌نوزیک حدود ۲/۵ ساعت می‌باشد. همین کاهش زمان گزانتاسیون به علاوه مصرف کمتر سولفیدکربن در عمل گزانتاسیون باعث کاهش شدت عمل و کاهش آسیب‌پذیری زنجیرهای مولکولی آنها خواهد شد.

خواص الیاف پلی‌نوزیک نسبت به الیاف ویسکوزیون به الیاف پنبه نزدیک‌تر است. میزان کریستالی الیاف پلی‌نوزیک به دلیل کاهش شدت عمل مواد شیمیایی و کوتاه بودن اثر آنها بیشتر از الیاف ویسکوزیون است. اصولاً، از آنجا که خواص پلی‌نوزیک نزدیک‌تر به خواص الیاف پنبه است، بنابراین رغبت برای استفاده از آن در ریسندگی و تولید منسوجات بیشتر است. مصرف الیاف پلی‌نوزیک در تولید انواع پارچه‌های لباسی مردانه، زنانه، پیراهنی، پرده‌ای، رومیزی، کراوات، دستمال و... می‌باشد.

کوپر آمونیوم از دیگر الیاف بازیافته سلولزی است که عمدتاً (تقریباً کاملاً) از لینتر پنبه تولید می‌شود. در تولید الیاف کوپر آمونیوم از محلول کوپر آمونیوم برای حل کردن سلولز و تهیه مایع ریسندگی استفاده می‌کنند. خواص الیاف کوپر آمونیوم

بسیار بهتر از الیاف پلی‌نوزیک است و در بازار به اسم ابریشم مصنوعی نیز معروف است. برای تولید الیاف کوپرا آمونیوم و به منظور خالص‌سازی و تصفیه سلولز، لینتر پنبه را در محلول هیدروکسید سدیم یا سود سوزآور رقیق می‌جوشانند. و مواد تصفیه شده را به همراه سود سوزآور در محلول کوپرا آمونیوم حل می‌کنند. پس از آماده‌سازی محلول سلولز در داخل حلال کوپرا آمونیوم، محلول را ریخته و وارد حمام انعقاد که حاوی آب است می‌کنند. آب داخل حمام مس و آمونیاک که از اجزای ماده کوپرا آمونیوم هستند را از داخل لیف ریخته شده خارج و لیف منعقد می‌شود. پس انعقاد، الیاف وارد یک حمامی که حاوی نمک‌های فلزی است می‌شود تا باقیمانده مس و آمونیاک از رشته منعقد شده خارج شود و سلولز خالص در لیف باقی بماند.

خواص الیاف کوپرا آمونیوم مشابه الیاف ویسکوزیون و پلی‌نوزیک بوده و از آنها بهتر است. مقطع عرضی الیاف کوپرا آمونیوم گرد و دایره‌ای است. مقاومت الیاف کوپرا آمونیوم از الیاف پلی‌نوزیک بیشتر است. قیمت الیاف کوپرا آمونیوم بیشتر از الیاف پلی‌نوزیک و ویسکوزیون است. الیاف کوپرا آمونیوم مصارف مختلفی مثل تولید پارچه‌های لباسی، رومیزی، رومبلی، پرده‌ای و نخ‌های تزئینی و پوشاک تزئینی مثل کراوات و دستمال گردن دارند.

چنان‌که در ابتدا توضیح داده شده است کار عملی این جلسه مربوط می‌شود به اندازه‌گیری مقاومت الیاف به صورت تک لیف یا تک تک. در تعیین مقاومت الیاف به روش تک لیف، از یک دستگاه اندازه‌گیری که قابل حمل می‌باشد استفاده می‌گردد. مقاومت و استحکام الیاف هم در مرحله ریسندگی و تولید نخ و هم در هنگام استفاده به صورت نخ مثل نخ خیاطی، یا طناب و یا پارچه به صورت پوشاک و لباس و دیگر پارچه‌ها مثل پارچه‌های مورد مصرف در صنایع مختلف مثل چادر صحرایی، بادبان، چتر نجات و... بسیار حایز اهمیت است. از این رو، یکی از عوامل تعیین و انتخاب الیاف برای تولید محصولی معین، مقاومت الیاف در مقابل نیروهای کششی یا مقاومت کششی آنها می‌باشد. این آزمایش در محیط آزمایشگاه و با شرایط رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شود.

دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الیاف به روش تک لیف از دو قسمت یعنی قسمت اندازه‌گیری و قسمت ثابت که عهده‌دار ترسیم منحنی می‌باشد تشکیل شده است. این دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الیاف، یک دستگاه قابل حمل بوده و به وسیله آن می‌توان تا ۳۰۰ نمونه در ساعت را مورد آزمایش قرار داد. هم‌زمان با اعمال کشش بر روی نمونه لیف برای تعیین مقاومت، قلم دستگاه ثابت بر روی کاغذ حرکت خواهد کرد و با به حرکت در آوردن کاغذ دستگاه ثابت می‌توان منحنی نیرو - ازدیاد طول لیف را به‌طور کامل و دقیق بر روی کاغذ رسم کرد.



روی دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الیاف با یک رنگ سیاه و مات پوشیده شده است تا انعکاس نور از سطح دستگاه به حداقل برسد و کار کردن با دستگاه به آسانی انجام شود. بر روی این دستگاه گیره‌های مخصوص نگهداری دو سر لیف، کلید دوار تعیین دامنه، دکمه کنترل صفر و کلید انجام آزمایش قرار دارند. بر روی این دستگاه کلیدی برای انتخاب ولتاژ و همچنین یک کلید برای کنترل کالیبراسیون وجود دارد.

دستگاه ثابت که دستگاهی از نوع گالوانومتری است دارای پهنای ۴ اینچ بوده و در یک جعبه فلزی که وجه آن از شیشه ساخته شده است قرار دارد. دستگاه ثابت مجزای از دستگاه اندازه‌گیری بوده و این دو دستگاه به وسیله یک کابل رشته‌ای به یکدیگر متصل هستند.

در دستگاه اندازه‌گیری دو گیره که یکی ثابت است و دیگری متحرک، قرار دارد. گیره ثابت به قسمت اندازه‌گیری متصل است و گیره متحرک به وسیله یک موتور حرکت می‌کند. برای اندازه‌گیری مقاومت یک لیف، لازم است یک سر از لیف را به طول ۱ سانتی‌متر بین دو فک گیره ثابت قرار داده، سپس سر دیگر لیف را در بین فک‌های گیره متحرک قرار داد. در این صورت با فشار دادن کلید انجام آزمایش، گیره متحرک شروع به حرکت می‌کند. با حرکت گیره متحرک و سپس مستقیم شدن لیف، گیره ثابت که به قسمت اندازه‌گیری متصل است تحت نیروی کشش قرار می‌گیرد و کشش وارده به گیره ثابت تبدیل به علامت الکتریکی شده و به قلم دستگاه ثابت منتقل شده و قلم دستگاه ثابت حرکت می‌کند. اگر کاغذ زیر قلم دستگاه ثابت نیز حرکت کند منحنی نیرو - ازدیاد طول بر روی کاغذ دستگاه ثابت رسم می‌شود.

پس از هر آزمایش و قبل از شروع آزمایش جدید، لازم است با فشار دادن دکمه کنترل صفر، قسمت اندازه‌گیری متصل به گیره ثابت را به حالت اولیه و آزاد برگرداند. لازم به توضیح است که قبل از آزمایش باید توصیه‌های موجود در راهنمای دستگاه را مطالعه کرده و نکات اشاره شده در راهنمای مربوط را رعایت نمایید. همچنین قبل از شروع آزمایش، لازم است دستگاه را براساس دستورات داده شده در راهنمای دستگاه، کالیبره کرده تا از ایجاد خطای احتمالی در نتایج آزمایش پیشگیری شود.

تعداد ۱۰ نمونه از یک نوع لیف معین را مورد آزمایش قرار دهید و درصد افزایش طول نسبی و نیروی پارگی را اندازه‌گیری و محاسبه نمایید. میانگین، انحراف معیار و CV% درصد افزایش طول نسبی و نیروی پارگی را حساب کنید.

## فعالیت عملی بیستم

### مواد مورد نیاز

بخش نظری این جلسه از مبحث «الیاف دی استات سلولز» آغاز و تا ابتدای مبحث «الیاف بازیافته پروتئینی» پایان می‌یابد. اما بخش عملی این جلسه به تعیین مقاومت الیاف مصنوعی به صورت تک لیف مربوط می‌شود. یعنی روش آزمایش همان روش جلسه نوزدهم است، ولی مواد لازم به شرح زیر می‌باشد:

۱ الیاف پلی استر

۲ الیاف نایلون

۳ الیاف اکریلیک

### وسایل مورد نیاز

۱ دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الیاف به صورت تک لیف (تک تک)

۲ پنس

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

در این جلسه هم می‌توان از وسایل کمک آموزشی مورد استفاده در جلسه نوزدهم یعنی انواع عکس، پوستر، انیمیشن و فیلم و اسلاید استفاده کرد. شرکت‌های تولیدکننده یا عرضه‌کننده الیاف مصنوعی پوسترهایی دارند که خواص الیاف تولیدی یا الیاف موجود در لیست عرضه آنها در آن پوسترها به همراه ترسیم نمودار خواص مکانیکی درج شده است که هنرآموزان عزیز می‌توانند این پوسترها را از منابع مربوطه تهیه و برای نمایش به کلاس بیاورند.

### فضای مورد نیاز

فضای مورد نظر برای برگزاری این جلسه مشابه آنچه می‌باشد که برای جلسه نوزدهم نوشته شده است.

### توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

الیاف دی استات سلولز نوعی الیاف بازیافته سلولزی هستند که از سلولز طبیعی به دست می‌آیند. چنان‌که قبلاً اشاره شده است، هر گروه از باقیمانده گلوکز در زنجیر سلولز حاوی سه گروه هیدروکسیل است. هر گروه هیدروکسیل روی زنجیر سلولز می‌تواند به وسیله یک گروه استیل جایگزین شود. به جایگزین شدن گروه هیدروکسیل روی زنجیر سلولز به وسیله گروه استیل، استیلیزاسیون می‌گویند. اگر هر سه گروه هیدروکسیل روی باقیمانده گلوکز روی زنجیر سلولز استیله شوند

به ماده حاصل تری استات سلولز گویند، و اگر دو گروه هیدروکسیل از باقیمانده گلوکز در زنجیر سلولز استیله شوند، به ماده حاصل دی‌استات سلولز می‌گویند. در صنعت برای تولید دی‌استات سلولز که به استات سلولز نیز معروف است، ابتدا تری‌استات سلولز را با استیله کردن سلولز تولید می‌کنند، سپس تری‌استات سلولز را به دی‌استات تبدیل می‌کنند.

تری‌استات سلولز ماده‌ای است که ترموپلاستیک (گرمانرم) می‌باشد و حلال آن کلروفرم است که سمی است. اما دی‌استات سلولز در استن که حلالی ساده است حل می‌شود. برای تولید تری‌استات سلولز از چوب درختان یا لینتر پنبه استفاده می‌شود. در صنعت ابتدا سلولز (چوب / لینتر پنبه) را با اسید استیک که یک اسید آلی است مخلوط می‌کنند و اسید استیک جذب سلولز شده و موجب تورم سلولز می‌شود. در این مرحله که سلولز به وسیله اسید استیک خیس شده است، گروه‌های استیل اسید استیک جایگزین گروه‌های هیدروکسیل سلولز می‌شوند. در ادامه برای استیله کردن کامل سلولز، سلولز آغشته به اسید استیک را با محلول انیدریداستیک مخلوط می‌کنند و برای سرعت بخشیدن به واکنش به آن اسیدسولفوریک اضافه می‌کنند که این اسید به عنوان کاتالیزور عمل می‌کند. فرایند استیله شدن سلولز به وسیله انیدرید استیک یک فرایند گرمازا است، بنابراین در حین فرایند استیلیزاسیون باید محیط واکنش را مرتباً سرد کرد.

بعد از تولید تری‌استات سلولز و برای تولید دی‌استات سلولز، تری‌استات سلولز را در یک فرایند شیمیایی هیدرولیز می‌کنند. برای این منظور، تری‌استات سلولز را تحت اثر اسید استیک قرار داده و به آن حرارت می‌دهند تا هیدرولیز انجام شود. حاصل این عمل دی‌استات سلولز است که در حلال استن نیز حل می‌شود. در پایان عملیات هیدرولیز، دی‌استات سفید رنگ به دست آمده را در استن حل می‌کنند و مایع حاصل را به روش خشک ریزی می‌ریسند.

دی‌استات سلولز یک لیف ترموپلاستیک و در اثر گرما، نرم و سپس ذوب می‌شود. مقطع عرضی دی‌استات سلولز به صورت نامنظم بوده و شفاف هستند. جذب رطوبت الیاف استات بسیار کمتر از پنبه است چون گروه‌های فعال هیدروکسیل که مولکول آب را جذب می‌کنند، در الیاف استات وجود ندارند. وزن مخصوص الیاف استات سلولز حدود ۱/۳۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که در حد وزن مخصوص پشم است. الیاف استات سلولز عایق الکتریسیته هستند. و خاصیت بازگشت‌پذیری آنها بسیار بهتر از الیاف ویسکوزیون است. شارژ الکتریسیته ساکن الیاف استات بسیار بیشتر از الیاف پنبه و ویسکوزیون است و این به دلیل جذب رطوبت کم این الیاف می‌باشد. در ریسندگی تری‌استات سلولز به جای حلال کلروفرم که حلالی خطرناک و بیهوش‌کننده است از متیلن کلراید استفاده می‌شود. پس از انحلال تری‌استات در داخل متیلن کلراید، ریسندگی این الیاف به روش خشک ریزی انجام می‌شود.

خواص الیاف تری استات سلولز به گونه‌ای است که این لیف بیشتر شبیه الیاف مصنوعی رفتار می‌کند. الیاف تری‌استات سلولز مصارفی از جمله لباس، پوشاک زنانه، روسری، کراوات، طناب‌ها، نخ‌ها و نوارهای بسته‌بندی، پرده، رومیزی و رومبلی و بعضی پارچه‌های صنعتی دارند. از این الیاف در مخلوط با پنبه و بعضی از الیاف طبیعی نیز استفاده می‌شود که سبب افزایش اتوپذیری و شقی و رقی پارچه می‌شوند. الیاف استات بسیار شفاف هستند که در پارچه‌های تزئینی هم از آنها استفاده می‌شود. در بخش عملی یا آزمایشگاه این جلسه مثل جلسه قبل عمل می‌شود و به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الیاف به صورت تک لیف، مقاومت و افزایش طول تا حد پارگی الیاف مصنوعی را تعیین نمایید.

در پایان ضمن ترسیم رفتار کششی این الیاف (بار- ازدیاد طول یا تنش - ازدیاد طول نسبی) نمودار ترسیم شده ضمیمه گزارش کار شده و جدولی تهیه شود که در آن مقاومت و افزایش طول تا حد پارگی الیاف درج شود.

## فعالیت عملی بیست و یکم

### مواد مورد نیاز

این جلسه مانند جلسات قبل از دو بخش نظری و عملی تشکیل می‌شود. بخش نظری این جلسه از مبحث «الیاف بازیافته پروتئینی» شروع تا اول مبحث «الیاف بازیافته معدنی» پایان می‌یابد. بخش عملی این جلسه مربوط می‌شود به اندازه‌گیری مقاومت و ترسیم نمودار کشش - افزایش طول الیاف طبیعی و بازیافته به‌وسیله دستگاه سنجش مقاومت دروازه‌ای که در صنعت به دستگاه اینسترون (Instron) معروف است.

بنابراین مواد لازم برای آزمایش این جلسه به شرح زیر می‌باشد:

۱ الیاف سلولزی (پنبه، جوت، کنف، کتان)

۲ الیاف پشم

۳ الیاف ابریشم

۴ الیاف بازیافته سلولزی (ویسکوز ریون، دی استات/ تری استات سلولز)

۵ الیاف بازیافته پروتئینی

### وسایل مورد نیاز

۱ دستگاه سنجش مقاومت الیاف به روش دروازه‌ای (اینسترون)

۲ قیچی

۳ خط کش

## وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

در این جلسه می توان از عکس، پوستر، اسلاید، انیمیشن و فیلم برای درک بهتر هر دو بخش نظری و عملی استفاده کرد. یعنی برای هر یک از بخش ها می توان وسایل کمک آموزشی جداگانه تهیه کرد و برای درک بهتر هنرجویان از آنها استفاده کرد. توصیه می شود حتماً وسایل کمک آموزشی حاوی مطالب برای تهیه کازئین و همچنین برای آشنایی هنرجویان با دستگاه اینسترون تهیه نمایید و برای هنرجویان به نمایش بگذارید.

## فضای مورد نیاز

بخش عملی این جلسه حتماً باید در محیط آزمایشگاه که دستگاه اینسترون در آنجا مستقر است برگزار شود. بخش نظری این جلسه هم می تواند در کلاس درس برگزار شود و هم در صورت وجود امکانات لازم، در آزمایشگاهی که اینسترون در آنجا قرار دارد.

## توصیه های لازم برای تدریس و دانش افزایی

پروتئین یک پلیمر طبیعی است که هم از منابع حیوانی تهیه می شود و هم از منابع گیاهی. پروتئینی که در گیاهان مثل بعضی حبوبات وجود دارد به پروتئین گیاهی معروف است. همچنان که از منابع سلولز طبیعی الیاف بازیافته سلولزی تهیه می شود، از منابع پروتئینی حیوانی و گیاهی نیز می توان الیافی پروتئینی تهیه کرد که به الیاف بازیافته پروتئینی معروف هستند. یکی از پروتئین های موجود در منابع حیوانی، پروتئین کازئین است که در شیر حیوانات وجود دارد. کازئین موجود در شیر گاو را در صنعت بازیافت کرده و تبدیل به لیف قابل استفاده در نساجی می کنند که این لیف به لیف کازئین معروف است.

الیاف کازئین را از خامه شیر گاو تهیه می کنند. در صنعت به روش های شیمیایی کازئین را از شیر جدا و آن را در سود سوزآور حل می کنند. محلول کازئین در سودسوزآور را پس از فیلتر و تصفیه کردن به روش ترریسی می ریسند و رشته تولید شده در حمامی حاوی اسید سولفوریک منعقد می شود. بعد از انعقاد الیاف کازئین، به روش های مکانیکی الیاف با ویژگی های مورد نظر براساس نمره و ضخامت تهیه و مورد استفاده قرار می گیرند.

الیاف کازئین هم به صورت فیلامنت استفاده می شوند و هم به صورت الیاف کوتاه. الیاف کازئین می توانند با هر ظرافت دلخواهی ریسیده شوند. شکل سطح مقطع الیاف کازئین گرد ولی نامنظم می باشد. الیاف کازئین سفید و تقریباً مات هستند. وقتی الیاف کازئین رطوبت جذب می کنند، مقاومت آنها کاهش می یابد و افزایش طول تا حد پارگی آنها زیاد می شود. الیاف کازئین در مقابل حلال های اسیدی و قلیایی حساس و آسیب پذیرند ولی مقاومت آنها در مقابل حلال های آلی خوب است.

در صنعت نساجی، الیاف کازئین معمولاً با دیگر الیاف نساجی نظیر پشم، پنبه و ویسکوزریون مخلوط می‌شود و تبدیل به نخ می‌شود. الیاف کازئین در پارچه‌های لباسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. الیاف کازئین دارای قیمتی پایین‌تر از قیمت پشم (مرینوس) هستند. برای آزمایش کشش الیاف و ترسیم نمودار بار-افزایش طول، طبق آنچه در کتاب اشاره شده عمل شود.

## فعالیت عملی بیست و دوم

### مواد مورد نیاز

مواد لازم برای این جلسه، الیاف مصنوعی مختلف به شرح زیر می‌باشد:

- ۱ الیاف پلی استر
- ۲ الیاف نایلون
- ۲ الیاف اکریلیک

### وسایل مورد نیاز

- ۱ دستگاه سنجش مقاومت الیاف به روش دروازهای (اینسترون)
- ۲ قیچی
- ۲ خط کش

### وسایل کمک آموزشی لازم

توصیه می‌شود در این جلسه با توجه به بخش نظری که به الیاف بازیافته معدنی مربوط می‌شود از عکس، پوستر، اسلاید، انیمیشن و فیلم مناسب از نحوه تولید، محصولات و مصارف الیاف بازیافته معدنی تهیه و برای هنرجویان به نمایش گذاشته شود.

### فضای مورد نیاز

بخش عملی این جلسه لزوماً باید در آزمایشگاه که محل استقرار دستگاه کشش است انجام شود. بخش نظری این جلسه می‌تواند در کلاس درس یا در صورت وجود امکانات لازم، در آزمایشگاه برگزار شود.

### توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش‌افزایی

مطالب این جلسه مربوط می‌شود به مباحث الیاف بازیافته معدنی. الیاف بازیافته معدنی، الیافی هستند که در صنعت از مواد معدنی مانند فلزات و شیشه ساخته می‌شوند. الیاف بازیافته معدنی که بیشتر شناخته شده و مورد مصرف قرار می‌گیرند

عبارت‌اند از انواع الیاف شیشه برای ایزولاسیون و عایق‌بندی، الیاف شیشه و نخ‌های شیشه‌ای فیلامنتی برای بافت پارچه ویژه لباس‌های ایمنی و ضدآتش، الیاف فلزی (فولادی) قابل ریسیدن و بافت برای پارچه‌های ضد حرارت و ضد پاشش مذاب برای کارگران کارخانه‌های ذوب فلز و ریخته‌گری.

الیاف و نخ‌های شیشه‌ای از الیاف بازیافته معدنی پرمصرف در صنعت ساختمان‌سازی، عایق‌بندی حرارتی، صنایع ساخت و تولید کامپوزیت‌های صنعتی و قطعات سبک خودروها، تهیه لباس‌های ضد آتش و ضد شعله و ایمنی هستند. الیاف کوتاه شیشه معمولاً به صورت لایه‌ای از الیاف (تار عنکبوتی) و برای ایزولاسیون یا تقویت کامپوزیت‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. الیاف شیشه دارای جرم حجمی بالاتر از جرم حجمی الیاف نساجی معمولی هستند. جرم حجمی این الیاف ۲/۷-۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. الیاف شیشه به طریق ذوب ریزی تهیه می‌شوند.

یکی از محدودیت‌های استفاده از الیاف شیشه در لباس و پوشاک معمولی، خاصیت شکنندگی آنها و امکان فرورفتن آنها در پوست بدن می‌باشد. از دیگر ویژگی‌هایی که سبب می‌شود تا الیاف شیشه برای تولید پوشاک محدودیت داشته باشند، جذب رطوبت آنهاست. خاصیت الاستیک الیاف شیشه بسیار پایین است. علاوه بر الیاف شیشه که در ساخت کامپوزیت‌ها (فایبرگلاس) مورد استفاده قرار می‌گیرند، پارچه‌های بافته شده از فیلامنت‌های شیشه‌ای (حلقوی/ تاری و پودی) نیز در کامپوزیت‌های صنعتی مصرف می‌شوند.

دسته دیگر از الیاف بازیافته معدنی، الیاف فلزی هستند که تولید و مصرف آنها به هزاران سال قبل برمی‌گردد و قدمت تولید و مصرف آنها بسیار بیشتر از سایر الیاف بازیافته سلولزی، پروتئینی و شیشه‌ای است. نخ‌هایی از جنس طلا و نقره علاوه بر استفاده در کالاهای تزئینی در بافت پارچه‌های گران قیمت مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند و از مفتول‌های نازک فولادی یا از جنس سایر فلزات برای بافت و ساخت زره‌های بدن پوش برای جنگاوران استفاده می‌شده است. امروزه از الیاف بازیافته فلزی بیشتر در فیلتراسیون صنعتی، بافت یا ساخت لباس‌های ایمنی، انواع خراشنده‌های مورد استفاده در صنعت، هواکش‌های موتورها و ... استفاده می‌شود.

بخش عملی این جلسه به آزمایش مقاومت کششی الیاف مصنوعی به وسیله دستگاه اینسترون مربوط می‌شود. این آزمایش به گونه‌ای که در کتاب درسی توضیح داده شده است انجام شود.

## فعالیت عملی بیست و سوم

### مواد مورد نیاز

در این جلسه لازم است همه انواع الیاف نساجی تهیه و برای آزمایش به آزمایشگاه آورده شوند. بخش عملی این جلسه مربوط می‌شود به بررسی اثر آب بر روی الیاف و بخش نظری این جلسه از مبحث «الیاف مصنوعی» شروع و تا ابتدای «رطوبت و جذب رطوبت الیاف» پایان می‌یابد.

### وسایل مورد نیاز

- ۱ لوله آزمایش
- ۲ گیره لوله آزمایش
- ۳ بشر
- ۴ پنس
- ۵ چراغ بونزن
- ۶ توری نسوز
- ۷ سه پایه فلزی

### وسایل کمک آموزشی مورد نیاز

تقریباً همه وسایل کمک آموزشی لازم برای این جلسه به بخش نظری مباحث این جلسه مربوط می‌شود. وسایل کمک آموزشی که می‌توانند برای درک بهتر و بیشتر هنرجویان مورد استفاده قرار گیرند. عبارت‌اند از: عکس، پوستر، اسلاید، انیمیشن، و فیلم. این وسایل هم می‌توانند از مراکز و فروشگاه‌ها خریداری شوند و هم می‌توانند از اینترنت یا از شرکت‌های تولیدکننده الیاف مصنوعی به صورت هدیه دریافت شوند.

### فضای مورد نیاز

بخش عملی این جلسه لازم است در فضای آزمایشگاه برگزار شود. اما بخش نظری این جلسه هم می‌تواند در کلاس درس اجرا شود و هم در صورت وجود امکانات لازم، در محیط آزمایشگاه.

### توصیه‌های لازم برای تدریس و دانش افزایی

الیاف مصنوعی، الیافی هستند که پلیمر آنها در طبیعت وجود ندارد. پلیمر این الیاف در صنعت و به روش‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی تولید و سپس به روش‌های مختلف ریسندگی یعنی ذوب ریزی، خشک‌ریزی و یا ترریسی تبدیل



به الیاف قابل استفاده در نساجی می‌شوند. منومر این الیاف می‌تواند به صورت گاز (مثل پروپیلن یا اتیلن) یا مایع (مثل اسید ادیپیک، هگزامتیلن دی‌آمین) باشد. یک گروه هم از الیاف مصنوعی، الیاف گروه پلی‌آمید شامل نایلون ۶ و نایلون ۶۶ است. الیاف نایلون ۶ و نایلون ۶۶ در داخل کشور تولید می‌شوند و مصرف الیاف نایلون ۶ بیشتر در بافت پارچه پوشاک و منسوجات خانگی، و مصرف نایلون ۶۶ در منسوجات صنعتی و بعضی پوشاک می‌باشد. الیاف نایلون از نظر ویژگی برای پلی‌استر تولید البسه و پوشاک بهتر از الیاف پلی‌استر می‌باشند. یکی از برتری‌های مهم الیاف نایلون نسبت به الیاف پلی‌استر، بیشتر بودن جذب رطوبت الیاف نایلون است که سبب می‌شود پوشاک تولید شده از این الیاف هم راحت‌تر باشند و هم شارژ الکتریسیته ساکن آنها پایین‌تر است.

دلیل نامیدن نایلون ۶۶ به این نام به خاطر آن است که این پلیمر بر روی زنجیر خود در هر تکرار دارای ۱۲ کربن است. به طوری که ۶ کربن متعلق به یک منومر (اسید ادیپیک) و ۶ کربن دیگر مربوط به منومر دیگر (هگزامتیلن دی‌آمین) است. الیاف نایلون ۶۶ به روش ذوب ریسی تهیه می‌شوند و بعد از عمل ریسندهی تحت عملیات حرارتی و کشش قرار می‌گیرند تا آرایش یافته و به ظرافت دلخواه خود برسند. نایلون ۶۶ هم به صورت الیاف بریده بریده (کوتاه و بلند) تولید می‌شوند و هم به صورت نخ‌های فیلامنتی. نخ‌های فیلامنتی نایلون ۶۶ هم به صورت صاف و بدون تاب مصرف می‌شوند و هم به صورت تکسچره وهای‌بالک.

الیاف کوتاه و بلند نایلون ۶۶ در مخلوط با الیاف پنبه، ویسکوز و پشم و برای ریسندهی نخ مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از ویژگی‌های الیاف نایلون، بالابودن مقاومت سایشی آنها است. از این رو مصرف آنها در لباس‌های ورزشی و لباس‌های رو مثل لباس سربازان بسیار مناسب است. چنان‌که اشاره شده است، جذب رطوبت الیاف نایلون نسبت به الیاف پلی‌استر بیشتر و در نتیجه مصرف این الیاف برای لباس و پوشاک مناسب‌تر است. بنابراین در تولید پارچه‌های ویژه دوخت لباس زیر، استفاده از الیاف نایلون برای اختلاط با الیاف پنبه، نسبت به مصرف الیاف پلی‌استر ترجیح داده می‌شود.

یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد الیاف نایلون این است که تورم قطری این الیاف کمتر از تورم طولی آنها است. و این به دلیل پوسته سخت این الیاف است که در مقابل تورم قطری این الیاف مقاومت می‌کند.

نایلون ۶، یکی دیگر از الیاف نایلون است که برخلاف نایلون ۶۶، تنها از یک منومر یعنی کاپرولاکتام تهیه می‌شود. مولکول کاپرولاکتام یک مولکول حلقوی است که در صنعت این مولکول را باز و شرایط پلیمری شدن آن را فراهم می‌کنند. یکی از تفاوت‌های مهم الیاف نایلون ۶ و نایلون ۶۶ در نقطه ذوب این دو لیف است. دمای ذوب نایلون ۶ حدود  $215^{\circ}\text{C}$  و نایلون ۶۶ حدود  $260^{\circ}\text{C}$  است. یکی از ویژگی‌های

مهم نایلون ۶ نسبت به نایلون ۶۶، روش تهیه ساده‌تر نایلون ۶ است. بیشتر مصرف الیاف نایلون ۶ در تولید پوشاک و البسه است، در حالی که الیاف نایلون ۶۶ بیشتر در منسوجات صنعتی، طناب‌ها و تورهای صنعتی استفاده می‌شود. الیاف نایلون ۶ نیز به روش ذوب ریسی تولید می‌شوند و کارخانه‌هایی در ایران مشغول تولید این الیاف هستند و تولیدات آنها بیشتر نخ نایلون (فیلامنتی) می‌باشد.

بخش عملی این جلسه مربوط می‌شود به بررسی اثرات آب بر روی الیاف نساجی. آب مایعی است که هم در عملیات تولید و تبدیل الیاف، نخ، پارچه و پوشاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و هم به صورت رطوبت در همه محیط پراکنده است و مهم‌تر از همه از آب برای شست‌وشو و انحلال مواد شوینده استفاده می‌شود. بنابراین، آگاهی از اثر آب در شرایط مختلف بر روی الیاف بسیار مهم است. مثلاً اگر پارچه‌های پنبه‌ای در دراز مدت نمناک باشند، امکان حمله قارچی به آنها زیاد می‌شود، یا اگر پارچه‌های پشمی همراه حرکت در آب داغ و به همراه صابون یا دترجنت شسته شوند، نم‌دی می‌شوند. لباس‌های پشمی اگر به صورت خیس برای خشک کردن بر روی طناب آویزان شوند، ابعاد آن زیاد شده یا به اصطلاح گشاد می‌شود. پارچه‌های پنبه در محیط مرطوب زود چروک می‌شوند و صافی اطوی خود را از دست می‌دهند.

<p><b>۱ شرایط انجام کار :</b> شناسایی الیاف مطابق استانداردهای فنی و حرفه‌ای          مکان: آزمایشگاه شناسایی الیاف          مواد: انواع الیاف نساجی          ابزار و تجهیزات: لوله آزمایشگاه - ابزار تعیین جرم مخصوص و سطح مخصوص - مقاومت سنج الیاف - دستگاه اینسترون          تجهیزات ایمنی: هود - لباس ایمنی - کلاه ایمنی - دستکش - عینک مناسب - ماسک - کفش ایمنی</p>
<p><b>۲ نمونه / نقشه کار / مراحل پروژه / رویه انجام کار:</b></p>
<p><b>۳ شاخص‌های اصلی استاندارد عملکرد کار:</b>          رعایت استانداردهای عملکرد وسایل و تجهیزات مورد استفاده جهت تعیین خصوصیات الیاف نساجی</p>
<p><b>۴ ابزارهای ارزشیابی:</b>          ۱- مشاهده - ۲- نمونه‌گیری</p>
<p><b>۵ ابزار و تجهیزات مورد نیاز انجام کار:</b>          ۱- دستگاه‌های لازم و انواع الیاف مورد استفاده در صنایع نساجی          ۲- تجهیزات ایمنی فردی: لباس ایمنی - کلاه ایمنی - دستکش - عینک مناسب - ماسک</p>
<p><b>۶ تکالیف کاری مرتبط در گروه کاری / شغل: تعیین نوع الیاف - تعیین خصوصیات الیاف</b></p>

### معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	انجام عملیات صابونی کردن الیاف دی استات و تری استات سلولز	۱	
۲	تعیین جرم مخصوص و سطح مخصوص الیاف	۱	
۳	اندازه‌گیری جرم مخصوص الیاف به روش ستون مایع	۲	
۴	تعیین مقاومت الیاف به روش تک لیف	۱	
۵	تعیین خواص کششی الیاف با دستگاه اینسترون	۲	
	<p><b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش:</b></p> <p>۱ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار            ۲ استفاده از لباس کار و کفش ایمنی            ۳ تمیز کردن دستگاه و محیط کار            ۴ رعایت دقت و نظم</p>		۲
	<b>میانگین نمرات</b>		*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.