

پودمان ۴

تعیین ویژگی‌های الیاف مصنوعی (نایلون)



شایستگی‌های فنی

تعریف نایلون، روش تهیه و خواص نایلون ۶۶، روش تهیه و خواص نایلون ۶، بررسی خواص انواع نایلون و مقایسه آنها، رطوبت و جذب رطوبت در الیاف، پدیده حرارت جذب در الیاف و اهمیت آن در نساجی، تعیین اثر آب بر خواص الیاف، تعیین نوع الیاف به روش حلال شیمیایی (آلی)، تعیین نوع الیاف به روش اسید و قلیا، تعیین نقطه ذوب الیاف، تعیین ظرافت الیاف مصنوعی به کمک میکروسکوپ

استاندارد کار

پس از پایان پودمان از هنرجو انتظار می‌رود انواع نایلون را از نظر ساختاری مقایسه کند و آزمایش‌های مربوط به تعیین خواص الیاف را با توجه ایمنی و نکات محیط زیست انجام دهد.

الیاف مصنوعی

الیاف مصنوعی الیافی هستند که نه تنها به صورت طبیعی به شکل لیف نیستند، بلکه پلیمر آنها نیز در طبیعت موجود نمی‌باشد. یعنی ابتدا پلیمر الیاف مصنوعی باید به صورت صنعتی تولید و سپس پلیمر تولید شده به لیف تبدیل شود. از نظر ساختمان مولکولی، انواع مختلفی از الیاف مصنوعی مانند پلی پروپیلن، انواع پلی آمیدها، پلی استرها، اکریلیک، پلی تترافلوئورواتیلن یا تفلون و ... وجود دارند که برای مصارف نساجی و تولید نخ و پارچه تولید و عرضه می‌شوند. پرمصرف‌ترین الیاف مصنوعی در صنایع نساجی و پوشاک عبارت‌اند از الیاف پلی آمید (نایلون‌ها)، پلی استر و اکریلیک که در اینجا به این الیاف پرداخته می‌شود.

الیاف پلی آمید

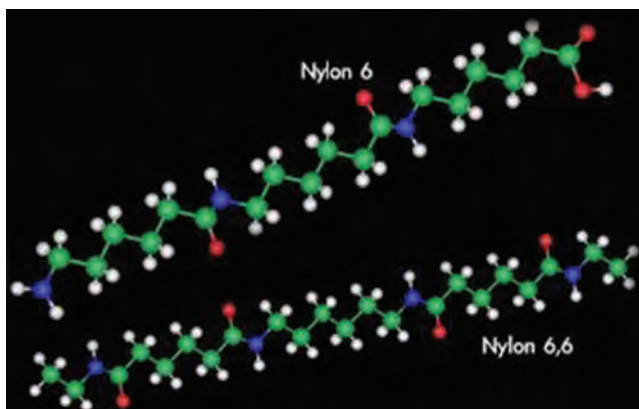
الیاف پلی آمید اولین بار در سال ۱۹۳۸ توسط شرکت آمریکایی دوپونت ساخته شده و به بازار عرضه شدند. دو نوع معروف و پرمصرف از الیاف پلی آمید، نایلون ۶۶ و نایلون ۶ می‌باشند که در کشور ایران نیز تولید می‌شوند و علاوه بر مصارف نساجی، مصارف صنعتی نیز دارند. وزن مولکولی پلیمر پلی آمید باید کنترل شود و معمولاً باید بالاتر ۶۰۰۰ باشد. اگر وزن مولکولی ۱۰۰۰-۶۰۰۰ باشد، لیف تولید شده ضعیف است بنابراین وزن مولکولی را ۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰ در نظر می‌گیرند و اگر وزن مولکولی بیشتر از ۲۰۰۰۰ باشد سبب بالا رفتن نقطه ذوب الیاف می‌شود که در این صورت برای ذوب کردن پلیمر به انرژی بیشتری نیاز است.

الیاف نایلون ۶۶

ماده اولیه نایلون ۶۶ یک اسید آلی به نام اسید ادیپیک و یک دی آمین به نام هگزامتیلن دی آمین می‌باشد که به صورت زیر با یکدیگر واکنش نشان داده و از واکنش آنها نایلون ۶۶ و آب تولید می‌شود:



دلیل نامیدن این نایلون به نایلون ۶۶ آن است که هر مولکول هگزامتیلن دی‌آمین و هگزامتیلن دی‌آمین جداگانه دارای ۶ اتم کربن هستند و از ترکیب یک مولکول اسیدادیپیک با یک مولکول هگزامتیلن دی‌آمین یک واحد آمید با ۱۲ (۶+۶) کربن حاصل می‌شود. از این رو انواع پلی‌آمیدها بر اساس تعداد کربن‌های موجود در واحد آمید مربوطه نام‌گذاری می‌شوند، مانند نایلون ۱۱، نایلون ۶ و شکل ۱ فرمول الیاف نایلون ۶ و ۶۶ را نشان می‌دهد.



شکل ۱- فرمول الیاف نایلون ۶ و ۶۶

روش تهیه نایلون ۶۶

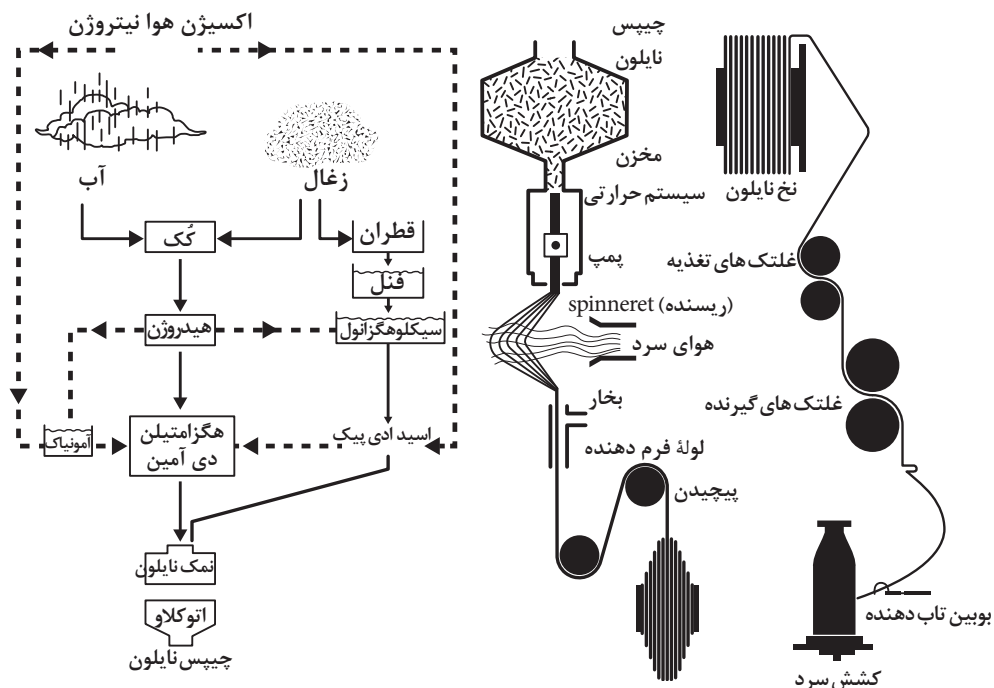
چنان‌که اشاره شده است، اسید ادیپیک و هگزامتیلن دی‌آمین مواد اولیه نایلون ۶۶ می‌باشند. از روش‌های تهیه اسید ادیپیک و هگزامتیلن دی‌آمین استفاده از ماده شیمیایی فنل، بنزن و ضایعات غلات می‌باشد. پس از تهیه اسید ادیپیک و هگزامتیلن دی‌آمین این دو ماده را به‌طور جداگانه در متانول که یک الکل است حل می‌کنند و پس از مخلوط دو محلول، نمک نایلون ۶۶ تشکیل و رسوب می‌کند. سپس نایلون به‌دست آمده را از محیط فرایند خارج و در داخل مخزنی می‌ریزند تا هوای داخل آن را به‌وسیله نیتروژن خارج کنند. آب حاصل از پلیمریزاسیون را از محیط خارج و عملیات پلیمریزاسیون را در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴ ساعت ادامه می‌دهند. پلیمر تولید شده از داخل شکاف‌هایی خارج می‌کنند تا به‌صورت نوارهایی در آید، سپس بر روی نوارهای خارج شده آب سرد می‌ریزند تا پلیمر خروجی به‌صورت منجمد در آید. در ادامه نوارهای منجمد شده را خرد می‌کنند تا به‌صورت چیپس در آید و چیپس‌ها به‌وسیله حرارت خشک می‌کنند تا آب و رطوبت از آنها خارج شود.

عملیات ریسندگی الیاف نایلون ۶۶

نایلون ۶۶ به روش ذوب ریسی ریسیده می‌شود. برای این منظور، پس از خشک کردن چیپس این پلیمر، چیپس آماده شده را در داخل مخزن تغذیه دستگاه ذوب ریسی می‌ریزند. دستگاه ذوب ریسی چیپس نایلون ۶۶ را به روش گرمای الکتریکی ذوب می‌کند و پلیمر مذاب را با فشار به سمت جلو می‌راند. پلیمر ذوب شده در دمای ۲۸۸ درجه سانتی‌گراد به‌وسیله پمپ‌های دقیقی از میان چند لایه فیلتر عبور کرده و به سمت دستگاه رشته‌ساز هدایت می‌شود. پلیمر مذاب پس از عبور از منافذ رشته‌ساز وارد اطاقک سرد شده و در

اثر سرمای اتافک سرد رشته‌های خروجی منجمد شده و سپس رشته‌ها بخار داده می‌شوند و در ادامه بر روی بوبین‌هایی پیچیده می‌شوند.

شکل ۲ نمای ترسیمی از عملیات پلیمریزاسیون، ریسندگی، کشش و تاب الیاف نایلون را نشان می‌دهد. رشته‌های پیچیده شده بر روی بوبین در واقع فیلامنت‌های خامی هستند که استحکام زیادی ندارند و لازم است این فیلامنت‌ها تحت کشش قرار گیرند و احیاناً به آنها تاب داده می‌شود.



شکل ۲- نمای ترسیمی از عملیات پلیمریزاسیون، ریسندگی، کشش و تاب الیاف نایلون

عملیات کشش و تاب الیاف نایلون ۶۶

الیاف نایلونی که به وسیله رشته ساز تولید می‌شود، به دلیل عدم آرایش یافتگی مولکولی مقاومت کافی را ندارد، بنابراین برای دستیابی به یک مقاومت مناسب این الیاف باید کشش و کمی تاب داده شوند. از این رو، این الیاف توسط دستگاه کشش ابتدا کمی گرم شده و سپس تحت کشش قرار می‌گیرند که این عمل سبب کشیده شدن و لاغر شدن الیاف شده و مولکول‌های لیف نیز در جهت طول الیاف قرار گرفته و با هم موازی می‌شوند. کشش اعمال شده به این الیاف ضمن ایجاد آرایش مولکولی در این الیاف، سبب ظریف تر شدن این الیاف خواهد شد و پس از اینکه این الیاف ناحیه کشش را ترک کردند، به مقدار جزئی تابیده شده و بر روی بوبین‌های مخصوصی پیچیده می‌شوند.

خصوصیات الیاف نایلون

۱- طول و مقطع عرضی؛ منظر طولی الیاف نایلون در زیر میکروسکوپ به صورت میله‌ای صاف می‌باشد و مقطع عرضی آن بستگی به شکل سطح مقطع رشته‌ساز می‌تواند دایره‌ای، مثلثی یا به هر شکل دیگری باشد.

۲- چگالی یا جرم حجمی؛ الیاف نایلون دارای وزن نسبتاً سبکی هستند. جرم حجمی الیاف نایلون $1/14$ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که از این نظر سبک‌تر از بسیاری از الیاف نساجی نظیر پنبه، ویسکوز، و پشم می‌باشد.

۳- اثر نور خورشید؛ نور خورشید بر مقاومت الیاف نایلون تأثیر می‌گذارد، هرگاه نایلون به مدت طولانی در مقابل نور خورشید قرار گیرد مقاومت آن کم می‌شود.

۴- جذب رطوبت؛ نایلون در مقایسه با الیاف طبیعی دارای جذب رطوبت کمی است. جذب رطوبت الیاف نایلون در شرایط استاندارد حدود $4/5$ درصد است.

۵- تورم؛ الیاف نایلون در اثر جذب رطوبت متورم می‌شوند و بر خلاف سایر الیاف، تورم طولی الیاف نایلون بیشتر از تورم قطری آن است.

۶- خواص الکتریکی؛ به دلیل پایین بودن جذب رطوبت الیاف نایلون، مالش یا سایش سبب ایجاد الکتریسیته ساکن در این الیاف می‌شود. شارژ الکتریسیته ساکن در این الیاف، در هنگام ریسندگی و بافندگی ایجاد اشکال کرده و سبب جذب گرد و غبار و پرز محیط خواهد شد. از این رو در صنعت برای کاهش شارژ الکتریسیته ساکن در این الیاف، به آنها آب و روغن می‌زنند.

۷- مقاومت و افزایش طول؛ الیاف نایلون با مقاومت و افزایش طول متفاوتی می‌توانند تولید شوند. مقاومت الیاف نایلون معمولی $5/5 - 4/5$ گرم بردنیر است، ولی الیاف نایلون با استحکام بالا می‌توانند تا $7/5$ گرم بردنیرمقاومت داشته باشند. افزایش طول تا حد پارگی الیاف نایلون معمولی حدود 25 درصد است که در صورت مرطوب بودن این الیاف، افزایش طول آنها تا 30 درصد افزایش می‌یابد. الیاف نایلون در صورت مرطوب بودن حدود $20 - 10$ درصد از مقاومت خود را از دست می‌دهند.

۸- خاصیت کشسانی و ارتجاعی الیاف نایلون؛ خاصیت ارتجاعی نایلون نسبت به الیاف دیگر نظیر پنبه و پلی‌استر بسیار خوب است و تا افزایش طول 8 درصد، کاملاً بازگشت پذیر است.

۹- اثر حرارت بر نایلون؛ مقاومت الیاف نایلون در مقابل حرارت بسیار خوب است. این الیاف در حرارت 150 درجه سانتی‌گراد تا چند ساعت دوام دارد و سپس شروع به تغییر رنگ و زرد شدن می‌کند. اگر حرارت دادن نایلون در مجاورت هوا یا آب باشد، استحکام آن کم می‌شود، ولی اگر حرارت دادن در خلأ انجام شود، این الیاف تا دمای 200 درجه سانتی‌گراد دوام خواهند داشت.

۱۰- اثر مواد شیمیایی؛ به‌طور کلی اسیدها به نایلون آسیب می‌زنند و مواد قلیایی تأثیری بر این الیاف ندارند. اسید سولفوریک، اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ، الیاف نایلون را در خود حل می‌کنند. مواد سفیدکننده سبب تجزیه و تخریب الیاف نایلون می‌شوند.

تثبیت کالاهای نایلونی

از آنجا که الیاف نایلون از نوع ترموپلاستیک یا گرما نرم هستند، لذا پارچه‌های تولید شده از این الیاف را می‌توان در درجه حرارت بالا و زیر درجه ذوب شدن این الیاف تثبیت کرد. بنابراین برای تثبیت ابعادی پارچه‌های نایلونی می‌توان از حرارت به صورت بخار داغ یا حرارت خشک استفاده کرد.

مصارف الیاف نایلون ۶۶

الیاف نایلون ۶۶ به دلیل داشتن مقاومت بالا و سایر خواص، مصارف زیادی در تولید پارچه‌های لباسی، خانگی و منسوجات صنعتی دارند. این الیاف به دلیل داشتن خاصیت ارتجاعی خوب برای تولید لباس‌های ورزشی، لباس‌های نظامی، لباس‌های رو، انواع کشباف‌ها، جوراب‌های معمولی، لباس‌های طبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نایلون ۶۶ به صورت الیاف کوتاه نیز تولید می‌شود که در مخلوط با پشم و پنبه مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از الیاف کوتاه نایلون به جای الیاف پلی استر در مخلوط با الیاف طبیعی پشم و پنبه مزیت‌هایی دارد. این مزیت‌ها عبارت‌اند از مقاومت بالا، جذب رطوبت نسبتاً بالا (نسبت به پلی استر) الاستیسیته خوب و شارژ الکتریسیته ساکن پایین (نسبت به پلی استر).

از دیگر مصارف الیاف نایلون ۶۶ استفاده آنها در تهیه منسوجات صنعتی نظیر انواع طناب‌ها، چترها، پارچه تایلر اتومبیل و سایر مصارف صنعتی و غیر پوشاکی است. از نخ‌های نایلون ۶۶ برای تولید تور ماهیگیری و تسمه نقاله نیز استفاده می‌شود.

الیاف نایلون ۶

این نایلون از پلیمریزاسیون کاپرولاکتام که یک مولکول بسته به صورت (شکل مولکول ترسیم شود) است، تهیه می‌شود. اولین بار این نایلون در سال ۱۹۳۲ در آمریکا ساخته شد و در جریان جنگ جهانی دوم، تولید آن در آلمان به صورت تجاری آغاز گردید و به پرلون معروف شد. نایلون ۶ بعدها در کشورهای مختلفی تولید و به نام‌های تجاری ویژه‌ای نامیده شد. برای مثال نایلون ۶ در آمریکا به نام کاپرولان، در شوروی سابق (روسیه) به نام کاپرون و در ژاپن به نام آمیلان تولید و عرضه شد. در صنعت از نظر خواص و استحکام، نایلون ۶۶ بر نایلون ۶ ترجیح داده می‌شود. چون نقطه ذوب نایلون ۶۶ (۲۶۰ درجه سانتی‌گراد) بیشتر از نقطه ذوب نایلون ۶ (۲۲۰-۲۱۵ درجه سانتی‌گراد) است. اما مزیت نایلون ۶ نسبت به نایلون ۶۶ این است که روش تولید نایلون ۶ آسان‌تر بوده و با حرارت دادن منومر آن، یعنی کاپرولاکتام تولید می‌شود.

تهیه کاپرولاکتام پیچیده نبوده و آسان‌تر از تهیه منومرهای نایلون ۶۶ است از دیگر مزیت‌های نایلون ۶ نسبت به نایلون ۶۶ مقاومت بالای آن در مقابل نور خورشید، خاصیت کشش‌پذیری و همچنین عملیات آسان رنگ‌رزی آن می‌باشد.

طرز تهیه الیاف نایلون ۶

کاپرولاکتام که دارای مولکول حلقوی و بسته است منومر نایلون ۶ بوده و به روش‌های گوناگونی می‌تواند تولید شود. کاپرولاکتام را می‌توان به وسیله فرایندهای شیمیایی از موادی مثل بنزن، آنیلین و تولوئن تهیه کرد. برای پلیمریزاسیون نایلون ۶ از کاپرولاکتام دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از:

۱- کاپرولاکتام را ذوب کرده و از فیلترهای ویژه‌ای عبور می‌دهند و مذاب حاصل را در اتوکلاو تحت فشار قرار می‌دهند به طوری که از حدود ۲۰۰ مولکول کاپرولاکتام یک مولکول نایلون به دست می‌آید.

۲- کاپرولاکتام را با ۱۰٪ وزن آن آب مخلوط کرده و عملیات پلیمریزاسیون در حضور آب و در حرارت بالا و تحت کنترل انجام می‌شود. زمان پلیمریزاسیون در این روش بیشتر از روش اول است، ولی کنترل حرارت و سایر عوامل آسان‌تر می‌باشد.

پس از عملیات پلیمریزاسیون نایلون ۶ به دو روش فوق، پلیمر نایلون تولید شده را به صورت چیپس در می‌آورند و برای ریسندگی و تولید لیف آماده می‌کنند. برای عملیات ریسندگی و تولید الیاف نایلون ۶، ابتدا چیپس پلیمر نایلون ۶ را با آب شستشو داده و خشک می‌کنند. سپس چیپس‌ها را به داخل مخزن تغذیه دستگاه رشته‌ساز می‌ریزند و چیپس‌ها در اثر حرارت المنت‌های الکتریکی ذوب شوند. مذاب تهیه شده را فیلتر کرده و از دستگاه رشته‌ساز عبور می‌دهند و سپس رشته‌های تولیدی را به داخل اطاقک هوای سرد هدایت می‌کنند تا رشته‌ها منجمد شوند، در ادامه رشته‌های تولیدی که به صورت فیلامنت هستند بر روی غلتکی که آغشته به آب و ماده‌ای مرطوب‌کننده و روان‌کننده است، عبور کرده و سپس فیلامنت‌ها از روی غلتک‌هایی که سرعت متفاوت (سرعت غلتک‌های جلویی بیشتر از غلتک‌های عقبی) است عبور می‌کنند تا کششی تا ۵۰٪ به فیلامنت‌ها داده شود. فیلامنت‌های نایلون در اثر این کشش، کشیده شده و به قطر لازم رسیده و مولکول‌های آن نیز در اثر کشش آرایش یافته و در نتیجه مقاومت الیاف نیز زیاد خواهد شد. در پایان فیلامنت‌های کشش یافته بار دیگر شستشو داده و بر روی بوبین پیچیده می‌شوند.

خواص نایلون ۶

جرم حجمی یا جرم مخصوص الیاف نایلون ۶ برابر ۱/۱۴ سانتی‌متر مکعب و جذب رطوبت آن حدود ۴/۵٪ است. از آنجا که دو نایلون ۶ و ۶۶ شباهت‌هایی باهم دارند، لذا از نظر خواص، این دو لیف با یکدیگر مقایسه می‌شوند. تفاوت اصلی نایلون ۶ با نایلون ۶۶ در نقطه ذوب این دو نایلون می‌باشد چنان که قبلاً اشاره شده است نقطه ذوب نایلون ۶ در حدود ۲۱۵-۲۲۰ درجه سانتی‌گراد ولی نقطه ذوب الیاف نایلون ۶۶ حدود ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است. از این رو، تولید نایلون ۶ آسان‌تر ولی مصرف آن همراه با محدودیت‌هایی است، زیرا نایلون ۶ ارزان‌تر از نایلون ۶۶ است مقاومت نایلون ۶ حدود ۸ گرم بر دنیر و افزایش طول تا حد پارگی آن ۱۸-۲۰ درصد است. میزان تورم الیاف نایلون ۶ در آب حدود ۱۴-۱۳ درصد می‌باشد، در حالی که تورم پنبه در آب ۵۰-۴۰ درصد است.

مصارف الیاف نایلون ۶

الیاف نایلون ۶ عمدتاً در پارچه‌های پوشاکی استفاده می‌شود نایلون ۶ هم به صورت فیلامنت تولید می‌شود و هم به صورت الیاف بریده بریده (کوتاه و بلند). فیلامنت‌های نایلون ۶ مصارفی مثل جوراب زنانه و سایر پوشاک دارند و از این نخ‌ها برای تولید انواع توری پرده‌ای و رومیزی نیز استفاده می‌شود. الیاف بریده بریده (کوتاه و بلند) نایلون ۶ در مخلوط با الیاف پنبه و پشم، و برای بافت پارچه‌های پیراهنی، لباس رو (کت و شلوار)، لباس زیر و ... استفاده می‌شوند. در بعضی مواقع و برای نخ‌های مخلوط الیاف طبیعی با الیاف مصنوعی، الیاف نایلون ۶ بر الیاف پلی استر ترجیح داده می‌شوند و این به دلیل جذب رطوبت بالاتر، شارژ الکتریسیته ساکن پایین‌تر و بازگشت پذیری بیشتر الیاف نایلون می‌باشد.

رطوبت و جذب رطوبت الیاف

حیات همه موجودات عالم بر آب بنا نهاده شده است و آب در زندگی بشر نقش منحصر به فردی دارد. از این رو مطالعه آب و اثرات آن اهمیت دارد. وجود آب در مواد و محیط رطوبت نامیده می‌شود. وجود رطوبت در مواد سبب تغییرات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی در آنها شده و در نهایت موجب تغییر در رفتارهای شیمیایی،

فیزیکی و مکانیکی مواد می‌شود. لذا، مطالعه تأثیر رطوبت بر محیط و مواد حائز اهمیت است. شناخت اثر آب و رطوبت به قدمت حیات بشر می‌باشد. ولی شواهد مکتوب موجود، شروع مطالعه جذب رطوبت الیاف نساجی را قرن ۱۵ میلادی نشان می‌دهد. در قرن ۱۵ میلادی جذب رطوبت الیاف پنبه توسط لئوناردو داوینچی (Leonardo da Vinci) و جذب رطوبت الیاف پشم توسط نیکولاس (Nicholas) مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفته شده است. جذب رطوبت الیاف مصنوعی نیز بعد از ظهور و کاربرد آنها در صنعت نساجی و پوشاک مورد مطالعه واقع شده است. در قرن بیستم و بین سال‌های ۱۹۲۴ تا ۱۹۳۲ جذب رطوبت الیاف پنبه، ویسکوزیون و استات توسط آرکوهارت (Urquhart) و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است. جذب رطوبت یکی از ویژگی‌های ارزشمند پوشاک می‌باشد. خاصیت جذب رطوبت الیاف نه تنها منجر به جذب عرق از روی پوست و خشک نگه‌داشتن بدن می‌شود، بلکه جذب رطوبت پوشاک باعث می‌شود تا پوشاک به‌عنوان نگه‌دارنده گرما، و عاملی برای حفاظت بدن از تغییرات ناگهانی شرایط محیط مثل حرارت و رطوبت، شناخته شود. اما، در کنار مزیت‌های فراوان جذب رطوبت الیاف، یکی از معایب جذب رطوبت الیاف، خشک کردن این الیاف و پارچه‌ها و پوشاک تهیه شده از این الیاف می‌باشد. چون الیافی مثل پنبه، پشم و ویسکوزیون که جذب رطوبت بالایی دارند، بعد از خیس شدن به راحتی خشک نمی‌شوند، ولی الیاف مثل پلی‌پروپیلن، پلی‌استر و پلی‌اتیلن که دارای جذب رطوبت پایینی هستند، بعد از خیس شدن، نسبت به الیاف طبیعی آسان‌تر و زودتر خشک می‌شوند.

رطوبت محیط

قبل از اینکه به جذب رطوبت الیاف و تعاریف آن پرداخته شود، لازم است نسبت به رطوبت محیط و تعاریف آن اطلاعاتی داشته باشیم. هوای محیط و هوای فضاهای مختلف همواره همراه با مقداری بخار آب است که بخار آب موجود در هوا را رطوبت هوا می‌نامند. مقدار رطوبت هوا در مکان‌های مختلف متفاوت است. مثلاً رطوبت هوا در کنار دریا معمولاً بیشتر از رطوبت هوا در کوهستان و کوهپایه است. همچنین رطوبت هوای جنگل معمولاً بیشتر از رطوبت هوا در بیابان می‌باشد. به همین صورت رطوبت هوای فضاهای صنعتی مثل سالن‌های تولید، تجاری مثل فروشگاه‌ها و نمایشگاه‌ها، اقامتی مثل منازل و هتل‌ها، فرهنگی و آموزشی مثل سالن‌های نمایش و کلاس‌های آموزشی از نظر فنی و راحتی حایز اهمیت است.

جذب رطوبت باعث تغییر در خواص الیاف می‌شود. جذب رطوبت الیاف سبب تورم الیاف شده، که تورم الیاف نیز موجب تغییر ابعاد الیاف خواهد شد و در نتیجه تورم موجب می‌شود تا اندازه‌ای شکل، سختی و سفتی و نفوذپذیری نخ و پارچه تغییر کند. خواص مکانیکی و خواص اصطکاکی الیاف با جذب رطوبت تغییر می‌کند، در نتیجه جذب رطوبت سبب تغییر رفتار الیاف در انجام عملیات و حین استفاده به‌عنوان پوشاک می‌شود. جذب رطوبت الیاف یکی از عوامل مهم در تعیین خواص الکتریکی آنها می‌باشد. به طوری که، جذب رطوبت باعث کاهش تمایل الیاف به ایجاد الکتریسیته ساکن می‌شود.

برای درک مفهوم رطوبت هوا و استفاده از مقادیر مربوط به رطوبت هوا در مسایل فنی و تجاری سه تعریف رطوبت مطلق، رطوبت اشباع و رطوبت نسبی در نظر گرفته می‌شود. این تعاریف به‌صورت زیر هستند:

۱- رطوبت مطلق: رطوبت مطلق که با h نشان داده می‌شود، عبارت است از جرم آب موجود در واحد حجم هوا. رطوبت مطلق در واقع نشان‌دهنده جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوا می‌باشد. واحد رطوبت مطلق در دستگاه بین‌المللی SI گرم در مترمکعب (g/m^3) می‌باشد. از دیگر واحدهای رطوبت مطلق گرین در فوت

مکعب (gr/ft^3) است. رطوبت مطلق از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{رطوبت مطلق (h)} = \frac{\text{جرم بخار آب موجود در فضای معلوم (گرم)}}{\text{حجم فضای معلوم (متر مکعب)}}$$

۲- رطوبت اشباع: رطوبت اشباع که با h_s نشان داده می‌شود، عبارت است از حداکثر رطوبتی که واحد حجم هوا با دما و فشار معین می‌تواند در خود نگه‌دارد. واحد رطوبت اشباع همان واحد رطوبت مطلق یعنی گرم بر متر مکعب (g/m^3) یا گرین بر فوت مکعب (gr/ft^3) بوده و نشان‌دهنده جرم حداکثر بخار آب است که واحد حجم هوا با دما و فشار معین می‌تواند در خود نگه‌دارد. لازم به توضیح است که اگر هوای یک محیط به اشباع برسد، یعنی رطوبت آن در حالت اشباع باشد، و بخار آب به داخل آن محیط وارد شود، بخار آب اضافی به صورت قطرات آب درمی‌آید، چون هوای محیط مربوطه دیگر ظرفیت نگهداری بخار آب بیشتر را ندارد. با تغییر دما و فشار یک محیط، ظرفیت آن محیط برای نگهداری بخار آب یا رطوبت نیز تغییر می‌کند. لذا، با تغییر دما و فشار یک محیط، رطوبت اشباع محیط نیز تغییر می‌کند. یعنی رطوبت اشباع یک محیط بستگی به دما و فشار آن محیط دارد. بر این اساس، اگر دمای یک محیط زیاد شود، رطوبت اشباع آن محیط نیز زیاد می‌شود. اما اگر فشار یک محیط زیاد شود، رطوبت اشباع آن کم می‌شود. اگر در فضایی با دما و فشار معین مقداری رطوبت وجود داشته باشد ولی رطوبت در حد اشباع نباشد، چنانچه دمای این فضا را به تدریج کاهش دهیم، در نهایت به دمایی خواهیم رسید که در آن دما رطوبت فضای مورد نظر به حد اشباع خواهد رسید. با رسیدن رطوبت فضا به حد اشباع، چنانچه دمای این فضا را همچنان کم کنیم، رطوبت موجود در این فضا به شکل قطرات آب در آمده و بر روی دیواره‌های فضای مورد نظر یا روی اجسام موجود در آن فضا خواهند نشست که به این قطرات آب «شبنم» و به دمایی که در آن دما شبنم ایجاد می‌شود «نقطه شبنم» می‌گویند.

۳- رطوبت نسبی: رطوبت نسبی که با $r.h.$ نشان داده می‌شود، عبارت است از نسبت رطوبت مطلق هوا در یک شرایط معین دما و فشار به رطوبت اشباع هوا در همان شرایط دما و فشار، و معمولاً به درصد بیان می‌شود. درصد رطوبت نسبی از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$\% r.h = \frac{h}{h_s} \times 100$$

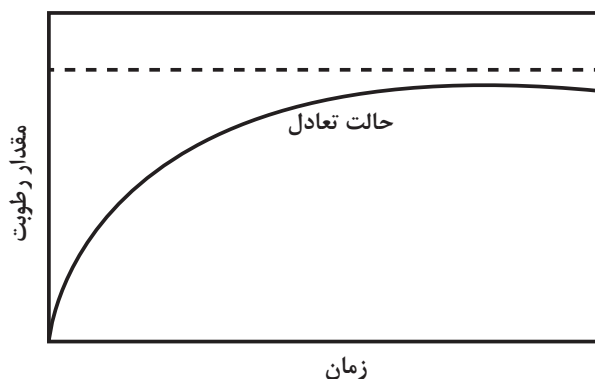
رطوبت نسبی در واقع نشان می‌دهد که رطوبت مطلقی که در هوا وجود دارد، چند درصد از رطوبت اشباع آن هوا (با شرایط دما و فشار معین) است.

از آنجا که رطوبت هوا در خواص و رفتار الیاف تأثیر دارد و با تغییر در رطوبت هوا، رفتار الیاف نیز تغییر می‌کند، بنابراین آزمایش بر روی الیاف نساجی باید در یک شرایط کنترل شده انجام شود. برای این منظور یک شرایط محیطی استاندارد برای آزمایش‌های الیاف نساجی تعریف شده است که این شرایط با رطوبت

نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۰°C می‌باشد که به شرایط استاندارد معروف است. چون کنترل رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۰°C برای شرایط استاندارد دشوار است، لذا یک محدوده قابل چشم‌پوشی مجاز که تolerانس (tolerance) نامیده می‌شود، برای رطوبت نسبی و دما در شرایط استاندارد در نظر می‌گیرند. بنابراین شرایط استاندارد به صورت $۶۵ \pm ۲\%$ رطوبت نسبی و $۲۰ \pm ۲^{\circ}\text{C}$ نشان می‌دهند.

تعادل در جذب و دفع رطوبت

چنان که در شکل ۳ دیده می‌شود، هرگاه یک ماده نساجی مثل لیف، نخ یا پارچه در یک هوای معین (با دما و رطوبت معلوم) قرار داده شود، این ماده با سرعتی که به تدریج کم می‌شود، از هوا رطوبت جذب می‌کند یا رطوبت از دست می‌دهد تا با محیط به تعادل برسد، و حالت تعادل زمانی است که دیگر در رطوبت ماده نساجی مورد نظر تغییری ایجاد نشود.



شکل ۳- رسیدن به تعادل در جذب و دفع رطوبت

تعادلی که بدین‌گونه حاصل می‌شود، یک تعادل دینامیکی می‌باشد. این تعادل، به این دلیل تعادل دینامیکی نامیده می‌شود که، در یک زمان معین، تعداد مولکول‌های آب تبخیر شده از روی نمونه ماده نساجی، برابر تعداد مولکول‌های آب جذب شده توسط آن می‌باشد.

جذب رطوبت الیاف نساجی

مقدار رطوبت جذب شده توسط یک نمونه از الیاف به دو صورت «رطوبت باز یافته» و «رطوبت موجود» بیان می‌شود. رطوبت باز یافته که با R نشان داده می‌شود، عبارت است از نسبت جرم آب جذب شده به جرم نمونه خشک الیاف و به درصد بیان می‌شود. درصد رطوبت باز یافته از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$R(\%) = \frac{\text{جرم آب جذب شده به وسیله نمونه (g)}}{\text{جرم نمونه خشک (g)}} \times 100$$

یا

$$\%R = \frac{W}{D} \times 100$$

در رابطه فوق:

W: جرم آب جذب شده

D: جرم نمونه خشک

رطوبت موجود که با M نشان داده می‌شود، عبارت است از نسبت جرم آب جذب شده به جرم نمونه مرطوب و به درصد نشان داده می‌شود. درصد رطوبت موجود از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$\%M = \frac{\text{جرم آب جذب شده به وسیله نمونه (g)}}{\text{جرم نمونه مرطوب (g)}} \times 100$$

یا

$$\%M = \frac{W}{W + D}$$

در رابطه فوق:

W: جرم آب جذب شده

D: جرم نمونه خشک

رطوبت باز یافته و رطوبت موجود بر اساس روابط زیر با یکدیگر ارتباط دارند:

$$R = \frac{100W}{D}$$

و

$$M = \frac{100W}{D + W} = \frac{100W/D}{1 + W/D} = \frac{R}{1 + R/100}$$

اضافه وزن مجاز رطوبت محموله‌های نساجی

در معاملات تجاری مواد نساجی و منسوجات مثل الیاف و پارچه، یک حدی از رطوبت جذب شده توسط کالای نساجی مجاز شمرده می‌شود و به عنوان «اضافه وزن مجاز» بین خریدار و فروشنده مورد توافق قرار می‌گیرد. یعنی در خرید و فروش محموله‌های نساجی، وزن محموله با رطوبت باز یافته معین مورد توافق طرفین قرار گرفته و در اسناد مربوط به خرید و فروش درج می‌گردد.

لازم به اشاره است که مقدار اضافه وزن مجاز فقط برای آسانی در عملیات تجاری نظیر توزین و پرداخت و دریافت ارزش محموله مورد نظر بوده، و معمولاً مقدار اضافه وزن مجاز طوری انتخاب می‌شود که در عمل کارهای مربوط به خرید و فروش تسهیل شود، و لزوماً اضافه وزن مجاز متناسب رطوبت بازیافته در شرایط استاندارد در نظر گرفته نمی‌شود. رطوبت بازیافته برای اضافه وزن مجاز بعضی از الیاف در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱- رطوبت بازیافته برای اضافه وزن مجاز الیاف

درصد رطوبت بازیافته برای اضافه وزن مجاز	نوع لیف
۸/۵	پنبه
۱۲	کنف
۱۲	کتان
۱۳/۷۵	جوت
۱۳	ویسکوزیون
۹	استات سلولز ثانوی
۱۱	ابریشم
۱۴-۱۹	پشم
۵/۷۵ تا ۶/۲۵	نایلون ۶۶ و نایلون ۶
۱/۵ تا ۳	پلی‌استر

اندازه‌گیری رطوبت بازیافته

برای تعیین رطوبت بازیافته الیاف نساجی دو روش کلی وجود دارد یکی از روش‌های کلی «روش مستقیم» و دیگری «روش غیرمستقیم» است.

روش‌های مستقیم اندازه‌گیری رطوبت بازیافته

در روش‌های مستقیم اندازه‌گیری رطوبت بازیافته، از توزین برای تعیین جرم رطوبت و جرم الیاف خشک استفاده می‌شود. بعد از تعیین جرم رطوبت و جرم الیاف خشک، رطوبت بازیافته محاسبه می‌شود. در زیر چند روش از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری رطوبت بازیافته الیاف توضیح داده می‌شود.

۱- روش توزین: روش توزین، روش اصلی تعیین رطوبت بازیافته و رطوبت موجود در الیاف می‌باشد و روش‌های غیرمستقیم تعیین رطوبت الیاف با روش توزین مقایسه و سنجیده می‌شوند. در روش توزین، نمونه مورد نظر ابتدا توزین می‌شود، سپس خشک شده و مجدداً توزین می‌شود. با داشتن وزن نمونه قبل از خشک کردن و پس از خشک کردن، درصد رطوبت بازیافته نمونه به این صورت حساب می‌شود:

$$W + D = m_1 = \text{جرم نمونه پس از خشک شدن}$$

$$D = m_2 = \text{جرم نمونه خشک شده}$$

بنابراین درصد رطوبت بازیافته (%R) نمونه به روش زیر حساب می‌شود.

$$\% R = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

در این روش، هنگام توزین اولیه برای تعیین جرم نمونه مرطوب مشکل خاصی به وجود نخواهد آمد، اما توزین نمونه خشک شده ممکن است با مشکلاتی همراه باشد، چون در هنگام توزین یا جابه‌جایی نمونه، ممکن است رطوبت محیط جذب نمونه شود. در اینجا به چند روش خشک کردن اشاره می‌شود:

الف) خشک کردن با استفاده از پنتا اکسید فسفر: برای دستیابی به نتایج دقیق در تعیین رطوبت بازیافته الیاف، لازم است نمونه الیاف در یک فضای بسته و در مجاورت مواد جاذب‌الرطوبه مثل پنتا اکسید فسفر و در دمای اطاق قرار داده شود. از آنجا که تمایل به جذب رطوبت این ماده خیلی زیاد است، لذا بدون اینکه دمای فضای موردنظر تغییر کند، نمونه الیاف کاملاً خشک می‌شود. اما، این روش یک روش بسیار طولانی است و ممکن است هفته‌ها طول بکشد. با این حال، این روش برای اهداف تحقیقاتی خیلی دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب) خشک کردن با آون: روش معمول برای خشک کردن نمونه استفاده از آون با دمای حدود 110°C است. افزایش دمای هوای داخل آون سبب پایین آمدن رطوبت نسبی داخل آن می‌شود. بنابراین، اگرچه رطوبت مطلق داخل آون تقریباً ثابت می‌ماند، رطوبت اشباع داخل آون به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین، رطوبت از داخل نمونه الیاف تبخیر می‌شود تا اینکه تعادلی بین رطوبت داخل الیاف و رطوبت داخل آون، برقرار شود. این روش خشک کردن به سرعت قابل انجام است و زمان آن طولانی نیست. در روش خشک کردن با آون دو منبع خطا وجود دارد. این دو منبع خطا عبارت‌اند از «رطوبت بازیافته باقیمانده» و «تلفات دائمی».

- خطای رطوبت بازیافته باقیمانده: در روش خشک کردن با آون، رطوبت نسبی داخل آون پایین می‌آید ولی، هرگز به صفر نمی‌رسد. بنابراین، در دمای 110°C داخل آون که رطوبت نسبی داخل آون بسیار ناچیز است، مقداری ناچیز رطوبت در داخل نمونه الیاف باقی می‌ماند که به «رطوبت بازیافته باقیمانده» معروف است. و همین «رطوبت بازیافته باقیمانده» منبع خطا در اندازه‌گیری رطوبت بازیافته بوده و باعث کمتر محاسبه شدن رطوبت بازیافته الیاف می‌شود.

- خطای تلفات دائمی: دمای بالای داخل آون سبب می‌شود تا موادی غیر از آب مانند روغن‌ها و واکس‌ها (موم‌ها) که در داخل الیاف هستند از داخل الیاف بیرون بیایند و خارج شدن این مواد از داخل الیاف به «تلفات دائمی» معروف بوده و منبع خطا در محاسبه رطوبت بازیافته الیاف می‌شود. برعکس خطای «رطوبت بازیافته باقیمانده» که سبب کمتر محاسبه شدن رطوبت بازیافته الیاف می‌شود، خطای «تلفات دائمی» باعث بیشتر محاسبه شدن رطوبت بازیافته الیاف می‌گردد.

ج) خشک کردن با جریان هوای داغ: برای خشک کردن نمونه‌های تجاری و معمولی، عموماً از یک آون ویژه استفاده می‌شود. این آون دارای یک سبد با ظرفیت حدود ۱ کیلوگرم الیاف بوده و سبد حاوی الیاف قابل

توزین است. الیاف داخل سبد در مقابل جریان هوای داغ (حدود 15°C) قرار می‌گیرد تا رطوبت داخل الیاف خارج شده و وزن الیاف ثابت شود. بعد از ثابت شدن وزن الیاف، جریان هوای داغ قطع شده و نمونه الیاف توزین می‌شود. این روش دارای خطاهایی مثل اختلاف وزن هوای گرم و سرد می‌باشد.

د) **روش خشک کردن سریع در آزمایشگاه:** یک روش سریع خشک کردن نمونه الیاف در آزمایشگاه، استفاده از آون شیمیایی در دمای 15°C می‌باشد. در این روش نمونه الیاف در داخل یک ظرف دردار (دسیکاتور) قابل توزین قرار می‌گیرد، سپس دسیکاتور حاوی نمونه و مواد جاذب الرطوبه در داخل آون با دمای 15°C قرار داده می‌شود تا نمونه به خوبی خشک شود. سپس دسیکاتور از آون خارج و در آن باز می‌شود تا الیاف خشک شده و توزین می‌شوند. این روش نیز دارای خطاهایی می‌باشد.

۲- **روش استفاده از تقطیر تولوئن:** یکی از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری رطوبت باز یافته، حرارت دادن نمونه الیاف با تولوئن (دمای جوش 111°C) و توزین آب مقطر جمع‌آوری شده حاصل از رطوبت الیاف می‌باشد. تولوئن مورد استفاده در این روش باید قبل از آب اشباع شده باشد. در این روش خطای ناشی از «رطوبت باز یافته باقیمانده» وجود ندارد. نتایج نشان می‌دهد که روش استفاده از تقطیر تولوئن، دقیق‌ترین روش مستقیم در اندازه‌گیری رطوبت باز یافته الیاف می‌باشد. جدول ۲ رطوبت باز یافته اندازه‌گیری شده به روش‌های مختلف را برای الیاف پشم نشان می‌دهد.

جدول ۲- تعیین رطوبت باز یافته پشم

روش	میانگین رطوبت باز یافته	محدوده تغییرات مقادیر درصد رطوبت باز یافته سه آزمایش
خشک کردن با پنتا اکسید فسفر	۷/۱۳	۰/۲۲
خشک کردن با آون 110°C	۷/۱۶	۰/۱۹
خشک کردن با جریان هوای داغ 15°C	۷/۲۷	۰/۱۵
خشک کردن سریع در آزمایشگاه	۷/۳۳	۰/۱۶
خشک کردن با تقطیر تولوئن	۷/۷۷	۰/۱۷

روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت باز یافته

در تعیین رطوبت باز یافته الیاف به روش غیرمستقیم، از توزین یا اندازه‌گیری جرم رطوبت و الیاف استفاده نمی‌شود. در اینجا به چند روش غیرمستقیم برای اندازه‌گیری رطوبت باز یافته الیاف اشاره می‌شود.

۱- **روش مقاومت الکتریکی:** یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت باز یافته الیاف نساجی، استفاده از روش مقاومت الکتریکی است. در این روش از اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی الیاف برای تعیین رطوبت باز یافته آنها استفاده می‌شود. برای این کار، یک مدار الکترونیکی مقاومت بین دو الکترود که در توده الیاف فرو برده می‌شوند را اندازه‌گیری می‌کند و مقاومت اندازه‌گیری شده به مقدار رطوبت باز یافته الیاف

بستگی دارد. با تغییر رطوبت، مقاومت الکتریکی الیاف سریعاً تغییر می‌کند، لذا این روش، روش حساسی می‌باشد.

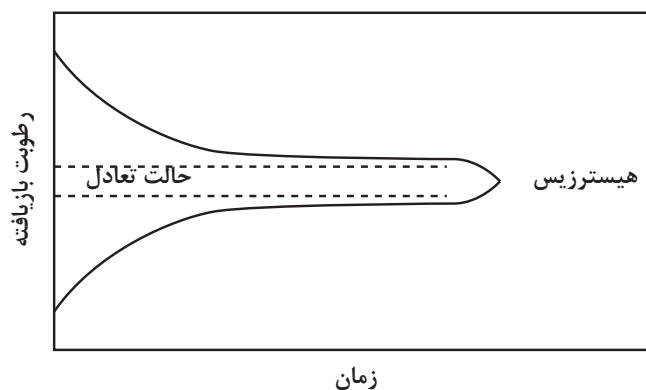
۲- روش خازن الکتریکی: در این روش از یک خازن الکتریکی برای اندازه‌گیری رطوبت بازیافته الیاف استفاده می‌شود. در روش خازن الکتریکی الیاف مورد آزمایش به‌عنوان دی‌الکتریک در داخل خازن قرار داده می‌شوند و براساس تغییر در ظرفیت یا ثابت دی‌الکتریک خازن، میزان رطوبت الیاف اندازه‌گیری می‌شود.

۳- روش گاز استیلن: یکی دیگر از روش‌های اندازه‌گیری رطوبت بازیافته، تکان دادن مخلوط حاوی وزن معینی از الیاف با کاربید کلسیم (Calcium Carbide) در داخل یک محفظه در بسته است. واکنش رطوبت داخل الیاف با کاربید کلسیم باعث تولید گاز استیلن (acetylene) می‌شود. از مقدار فشار گاز استیلن داخل محفظه، می‌توان رطوبت بازیافته الیاف مورد آزمایش را حساب کرد.

۴- روش ترازویی: در این روش، اگرچه از ترازو استفاده می‌شود، ولی وزن الیاف یا رطوبت اندازه‌گیری نمی‌شود. بلکه فقط تغییر وزن الیاف که ناشی از تغییر رطوبت در آنها است نشان داده می‌شود. در روش ترازویی، از دستگاهی استفاده می‌شود که در آن از یک وسیله شبیه ترازو و برای آویختن نمونه الیاف قرار دارد. تغییر رطوبت محیط و در نتیجه با تغییر رطوبت بازیافته الیاف، وزن الیاف تغییر کرده و بدین وسیله مقدار رطوبت بازیافته نمونه الیاف مستقیماً بر روی عقربه یا شاهین ترازو نشان داده می‌شود. از این دستگاه در سالن‌های ریسندگی برای تعیین وزن خشک الیاف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تأثیر رطوبت نسبی محیط بر رطوبت بازیافته الیاف

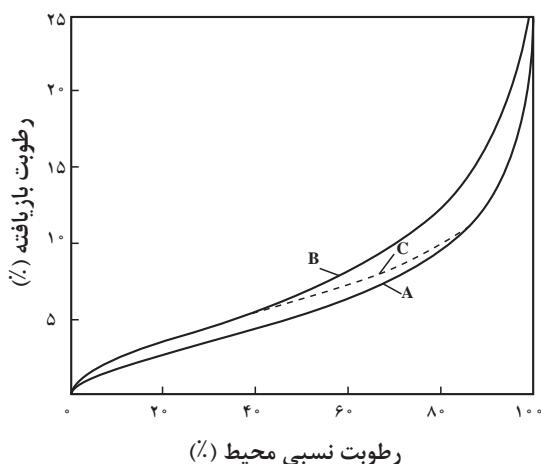
هرگاه یک نمونه مرطوب از الیاف و یک نمونه خشک از همان الیاف را در یک محیط با رطوبت نسبی معین قرار دهیم، نمونه مرطوب به تدریج رطوبت از دست می‌دهد و نمونه خشک به تدریج رطوبت جذب می‌کند. از دست دادن نمونه مرطوب و جذب رطوبت نمونه خشک در طول زمان انجام می‌شود، و این عمل دفع و جذب رطوبت ادامه می‌یابد تا اینکه هر دو نمونه یعنی نمونه‌های مرطوب و خشک از نظر رطوبت با محیط به تعادل برسند. عمل از دست دادن نمونه مرطوب و جذب رطوبت نمونه خشک در یک محیط با رطوبت نسبی معین در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۴- حالت هیستریزیس در جذب و دفع رطوبت

چنان‌که از روش شکل ۴ دیده می‌شود، نمونه الیافی که ابتدا مرطوب بودند، در حالت تعادل با محیط دارای رطوبت بازیافته بیشتری نسبت به الیافی هستند که در ابتدا خشک بوده‌اند. یعنی اگر دو نمونه مرطوب و خشک از یک نوع لیف را در یک محیط با رطوبت نسبی معین قرار دهیم، دو نمونه به ترتیب با دفع و جذب رطوبت با محیط به تعادل می‌رسند ولی در حالت تعادل همواره نمونه‌ای که در ابتدا مرطوب بوده است دارای رطوبت بازیافته بیشتری نسبت به نمونه‌ای است که در ابتدا خشک بوده است. این پدیده که به پیشینه و گذشته دو نمونه الیاف مربوط می‌شود، به هیستریزس معروف است.

شکل ۵ منحنی‌های جذب و دفع رطوبت توسط الیاف پنبه نسبت به رطوبت نسبی محیط در دمای ثابت را نشان می‌دهد. منحنی A نشان‌دهنده جذب رطوبت نمونه خشک الیاف می‌باشد. چنان‌که دیده می‌شود اگر یک نمونه خشک از الیاف پنبه را در محیط با دمای ثابت و رطوبت نسبی ۵٪ قرار دهیم، با افزایش رطوبت نسبی محیط (محور افقی از ۵٪ تا ۱۰۰٪) نمونه خشک الیاف شروع به جذب رطوبت می‌کند و این جذب رطوبت ادامه می‌یابد تا با محیط به تعادل برسد. همین‌طور، اگر یک نمونه مرطوب از الیاف پنبه را در محیط با همان دما ولی رطوبت نسبی ۱۰۰٪ قرار دهیم و رطوبت نسبی را به تدریج کم کنیم (محور افقی از ۱۰۰٪ تا ۵٪)، الیاف مرطوب شروع به دفع رطوبت کرده و روند کاهشی رطوبت بازیافته از منحنی B پیروی می‌کند. اختلاف بین مسیره‌های جذب و دفع رطوبت (اختلاف بین منحنی‌های A و B) در واقع اثر پدیده هیستریزس در جذب و دفع رطوبت توسط الیاف پنبه می‌باشد.

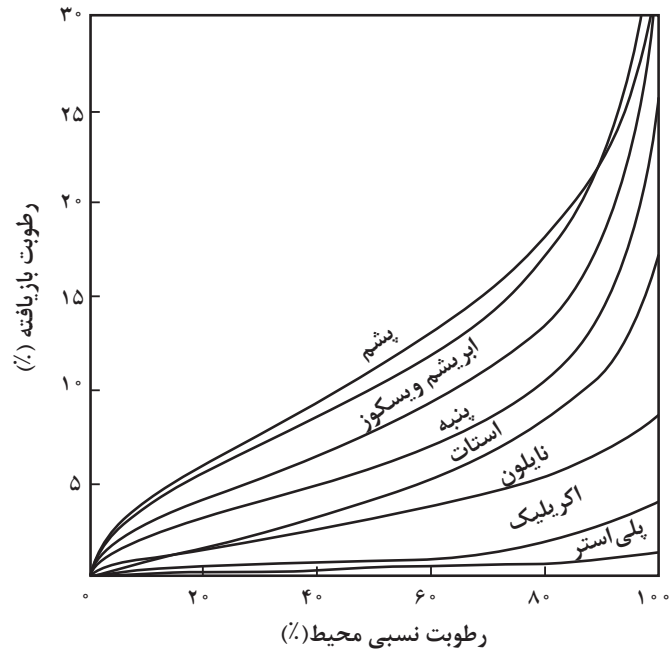


شکل ۵- نمودار جذب و دفع رطوبت الیاف پنبه نسبت به رطوبت نسبی محیط در دمای ثابت

A: منحنی جذب؛ B: منحنی دفع؛ C: منحنی میانی

اما منحنی میانی C در شکل ۵ نشان‌دهنده خشک شدن یک نمونه از الیافی است که ابتدا با افزایش رطوبت نسبی محیط رطوبت جذب کرده و منحنی جذب آن از منحنی A پیروی می‌کند، و پس از جذب رطوبت تا حد معینی، با کاهش رطوبت نسبی محیط، شروع به دفع رطوبت می‌کند و منحنی برگشت (دفع رطوبت) از منحنی میانی C پیروی می‌کند تا اینکه بعد از تلاقی با منحنی B، در ادامه دفع رطوبت، از منحنی B پیروی می‌کند.

مقایسه رطوبت باز یافته الیاف مختلف



شکل ۶- نسبت بین رطوبت باز یافته الیاف نساجی و رطوبت نسبی محیط

شکل ۶ نسبت بین رطوبت نسبی محیط و رطوبت باز یافته الیاف مختلف را نشان می‌دهد. چنان‌که از روی این شکل دیده می‌شود، منحنی رطوبت باز یافته الیاف پشم و سپس الیاف ویسکوز بالاتر از همه الیاف قرار دارد. بعد از این دو لیف، الیاف ابریشم، پنبه و سپس استات بیشترین جذب رطوبت را داشته و در نهایت الیاف مصنوعی نایلون، اکریلیک و پلی استر قرار دارد. میزان جذب رطوبت الیاف بستگی به نوع مولکول‌ها یا اتم‌های تشکیل‌دهنده و ساختار فیزیکی زنجیرهای مولکولی آنها دارد. مقدار رطوبت باز یافته الیاف نساجی در شرایط ۶۵٪ رطوبت نسبی و 20°C در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳- رطوبت باز یافته الیاف نساجی در شرایط ۶۵٪ رطوبت نسبی و ۲۰°C

رطوبت باز یافته (%)	نوع الیاف
۸	پنبه
۱۲	پنبه مرسریزه
۸	کنف
۷	کتان
۱۲	جوت
۱۴	ویسکوزیون
۶/۵	استات ثانوی
۴/۵	تری استات
۱۰	ابریشم
۱۶	پشم
۴/۵	نایلون (۶ و ۶۶)
۰/۴	پلی استر
۲	اکریلیک
۰	PVC (پلی وینیل کلراید)
۵	PVA (پلی وینیل الکل)
۰	شیشه و پلی اتیلن

الیاف نساجی از نظر جذب رطوبت به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. این دو دسته عبارت‌اند از الیاف آب‌دوست یا هیدروفیل و الیاف آب‌گریز یا هیدروفوب. الیاف هیدروفیل الیافی هستند که جذب رطوبت آنها بالاست و تمایل به جذب رطوبت دارند. از الیاف هیدروفیل می‌توان به الیاف پنبه، پشم و ویسکوزیون اشاره کرد. الیاف هیدروفوب الیافی هستند که جذب رطوبت و تمایل آنها به جذب رطوبت آنها کم است. از الیاف هیدروفوب می‌توان به الیاف پلی‌استر و پلی‌اتیلن اشاره کرد.

آثار جذب رطوبت الیاف

جذب رطوبت توسط الیاف نساجی، آثاری را به همراه دارد که بعضی از این آثار در رفتار این الیاف دیده می‌شود. از جمله این آثار می‌توان به ایجاد گرما در اثر جذب رطوبت، ایجاد تورم در اثر جذب رطوبت و تغییر در رفتار فیزیکی و مکانیکی الیاف در اثر جذب رطوبت نام برد. در اینجا به دو اثر از آثار جذب رطوبت یعنی حرارت جذب و تورم پرداخته می‌شود.

حرارت جذب

وقتی الیاف نساجی رطوبت جذب می‌کنند، حرارت یا گرما تولید می‌شود. یعنی پدیده جذب رطوبت در الیاف یک پدیده گرمازا است. وقتی مولکول‌های آب جذب مولکول‌های لیف می‌شوند، در اثر نیروهای جاذبه‌ای که بین مولکول‌های آب و مولکول‌های لیف به وجود می‌آید گرما ایجاد می‌شود. از طرف دیگر، وقتی که همین

مولکول‌های آب به صورت بخار جذب الیاف می‌شوند، گرمایی به واسطه تقطیر بخار آب (یعنی تبدیل بخار آب به مایع آب) به وجود می‌آید که همان گرمای نهان تبخیر می‌باشد. معمولاً گرمای ناشی از جذب رطوبت توسط الیاف نساجی به دو روش گرمای جزئی جذب و گرمای کلی جذب بیان می‌شود.

۱- گرمای جزئی جذب: گرمای جزئی جذب که با Q نشان داده می‌شود، عبارت است از گرمایی که وقتی یک گرم آب به وسیله مقدار زیادی از الیاف با رطوبت بازیافته معین جذب می‌شود و برحسب ژول بر گرم آب (واحد J/g) بیان می‌شود. گاهی اوقات گرمای جزئی جذب به «گرمای جذب» نامیده می‌شود.

۲- گرمای کلی جذب: گرمای کلی جذب که با W نشان داده می‌شود، به گرمای حاصل از جذب رطوبت یک نمونه الیاف با جرم خشک ۱ گرم و با رطوبت بازیافته معین که آن قدر رطوبت جذب می‌کند تا تر شود گفته می‌شود. گرمای کلی جذب به گرمای تر شدن نیز نامیده می‌شود و برحسب ژول بر گرم الیاف (واحد J/g) بیان می‌شود.

گرمای تر شدن بعضی از الیاف نساجی از حالت رطوبت بازیافته ۰٪ در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- گرمای تر شدن الیاف نساجی از رطوبت بازیافته ۰٪

نوع لیف	گرمای تر شدن (J/g)
پنبه	۴۶
ویسکوزریون	۱۰۶
استات	۳۴
پشم	۱۱۳
ابریشم	۶۹
نایلون	۳۱
پلی‌استر	۵
اکریلیک	۷
پنبه مرسریزه	۷۳
کتان	۵۵

تعیین اثر آب بر خواص الیاف نساجی

فعالیت
عملی ۱



مقدمه: همان طوری که آب در طبیعت و حیات بشر، حیوانات و گیاهان اثر ویژه و منحصر به فردی دارد، در کلیه صنایع از جمله صنایع نساجی، وجود آب از اهمیت فراوانی برخوردار است. در صنایع نساجی، آب به عنوان ماده‌ای برای شست‌وشو، محیط مناسب برای واکنش‌های شیمیایی و یا عملیاتی نظیر رنگرزی، تکمیل و چاپ، و همچنین ماده‌ای برای حامل انرژی و محیطی برای شوینده‌های

شیمیایی مورد استفاده فراوانی دارد. کلیه الیاف نساجی از محیط (آب) جذب می‌کنند، به طوری که یکی از مشخصات بارز الیاف نساجی همین جذب رطوبت از محیط و رفتاری است که در نتیجه داشتن این خاصیت از خود نشان می‌دهند. جذب رطوبت الیاف باعث تغییر خواص فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی و ... آنها می‌شود. میزان جذب رطوبت در الیاف مختلف متفاوت است. مثلاً رطوبت باز یافته پشم در شرایط استاندارد (C ۲۰.۲ رطوبت نسبی ۶۵.۲٪ و فشار ۷۶ سانتی‌متر جیوه) ۱۵٪، ولی رطوبت باز یافته الیاف پنبه در همین شرایط ۸٪ می‌باشد. میزان جذب رطوبت الیاف نساجی به ساختمان شیمیایی و مولکولی آنها بستگی دارد همچنین میزان جذب رطوبت الیاف در محیط مرطوب بیشتر از محیط خشک است. یعنی هر چه رطوبت نسبی محیطی که لیف در آن قرار دارد بیشتر باشد، رطوبت باز یافته لیف نیز بیشتر خواهد بود. تعیین دقیق تغییرات حاصل از رطوبت در الیاف نساجی، بدون استفاده از ابزارها و تجهیزات مناسب آزمایشگاهی میسر نیست. اما، تغییرات ظاهری در برخی از ویژگی‌های الیاف یا حواس قابل تشخیص هستند. مثلاً بعضاً تغییراتی در فرموج، درخشندگی، استحکام نسبی، الاستیسیته و جمع‌شدگی الیاف پس از غوطه‌ور شدن در آب و بعد از جوشاندن الیاف در داخل آب حاصل می‌شود.

وسایل آزمایش: لوله آزمایش، بشر، سه پایه فلزی، توری نسوز، چراغ گاز بونزن
مواد لازم: الیاف نساجی

شرح آزمایش

از هر نوع لیف سه توده کوچک را به عنوان سه نمونه برای آزمایش انتخاب کنید. اولین نمونه الیاف را در داخل یک لوله آزمایش حاوی آب با دمای اتاق قرار دهید. نمونه دوم را در داخل بشر حاوی آب گذاشته و بشر را بر روی توری نسوز که بر بالای سه پایه فلزی قرار دارد بگذارید. سپس چراغ بونزن را روشن کرده و در زیر توری نسوز قرار دهید تا آب داخل بشر داغ شده و به مدت ۱۵ دقیقه بجوشد. نمونه سوم از الیاف را در جای مناسب قرار دهید تا خیس نشود. سپس نمونه‌های اول و دوم را از آب خارج کرده و با نمونه سوم و همچنین نمونه‌های اول و دوم را با یکدیگر از نظر رنگ، جلا، فرموج، مقاومت، افزایش طول تا حد پارگی، الاستیسیته و جمع‌شدگی با هم مقایسه کنید و نتایج را در جدولی درج نمایید. این آزمایش را برای همه الیاف نساجی موجود در آزمایشگاه انجام دهید.

تعیین نوع الیاف نساجی به کمک حلال‌های شیمیایی (آلی)

فعالیت
عملی ۲



مقدمه: با استفاده از حلال‌های شیمیایی می‌توان الیاف مورد مصرف در صنایع نساجی را شناسایی کرد. در حقیقت حل شدن الیاف در حلال‌های شیمیایی این امکان را فراهم می‌کند تا ما بتوانیم آنها را به راحتی شناسایی کنیم. معمولاً بعد از اینکه آزمایش سوزاندن الیاف انجام شد و ماهیت مصنوعی و یا طبیعی بودن آن مشخص گردید، برای شناسایی دقیق‌تر لازم است که از روش حلالیت الیاف در حلال‌های شیمیایی استفاده شود. الیاف طبیعی از جمله ترکیبات آلی هستند که در حلال‌های معمولی نامحلول می‌باشند ولی الیاف مصنوعی معمولاً حداقل دارای یک حلال می‌باشند.

در این آزمایش به‌خاطر استفاده از حلال‌های شیمیایی مختلف از قبیل اسید فرمیک و متاکزول باید احتیاط‌های لازم صورت گیرد تا حلال‌های فوق با پوست بدن تماس پیدا نکنند. ضمناً به‌دلیل بوی تند و سمی بودن متاکزول، پس از استفاده، آن را به‌داخل ظرف سربسته منتقل می‌کنند.

وسایل آزمایش: لوله آزمایش، گیره لوله آزمایش، چراغ گاز بونزن، میله شیشه‌ای

مواد مصرفی: اسیدفرمیک، استن، دی‌متیل فرمامید، متیلن کلراید، متاکزول، دی‌استات، تری‌استات، نایلون، پلی‌استر، اکریلیک

شرح آزمایش

این آزمایش را حتماً در زیر هود و با احتیاط کامل انجام دهید. برای انجام آزمایش، مقدار ۳ تا ۵ میلی‌لیتر از حلال‌های استن، متیلن کلراید، اسید فرمیک، متاکزول و دی‌متیل فرمامید را به ترتیب در لوله‌های آزمایش شماره ۱ تا ۵ بریزید. سپس مقدار کمی از الیاف را به‌درون لوله و داخل حلال بیندازید. لوله آزمایش را به آرامی و با احتیاط تکان دهید و ملاحظه نمایید که در دمای معمولی اتاق الیاف حل می‌شوند یا خیر؟ اگر جواب منفی بود لوله آزمایش را توسط گیره نگهدارید و آن را به آرامی حرارت دهید. بهتر است لوله آزمایش را به‌طور متناوب روی شعله بگیرید و از آن دور کنید تا حلال و الیاف از لوله خارج نشوند. پس از اینکه حلال داغ شد چگونگی حل شدن الیاف را مشاهده کنید.

اگر الیاف حل نشدند، محتویات لوله آزمایش را بیشتر حرارت دهید تا حلال به‌جوش آید. عمل جوشاندن را به‌مدت ۳ دقیقه ادامه دهید (سعی کنید مقدار حلال ثابت باقی بماند و در صورت تبخیر شدید حلال، به آن مقداری حلال جوشان بیفزایید). در این صورت الیاف در این شرایط در حلال حل نشد، این لیف در حلال مورد آزمایش محلول نیست و باید حلال یا حلال‌های دیگری مورد آزمایش قرار گیرند.

آزمایش شناسایی الیاف از طریق حلال‌ها را برای الیاف دی‌استات سلولز، تری‌استات سلولز، نایلون، پلی‌استر و اکریلیک انجام دهید. در این صورت الیافی که در دمای معمولی در حلال حل شوند را با علامت «م» و الیافی که در حلال گرم محلول هستند را با علامت «م در گرما» و الیافی که در حلال جوشان محلولند را با علامت «م در جوش» و الیافی که در حلال مورد آزمایش محلول نیستند را با علامت «ن» نشان دهیم جدول ۵ را کامل نمایید.

جدول ۵- اثر حلال‌ها بر روی الیاف مورد آزمایش

الیاف	دی‌استات	تری‌استات	نایلون	پلی‌استر	اکریلیک
حلال	استن متیلن کلراید اسید فرمیک متاکزول N و N دی‌متیلن فرمامید				



تعیین نوع الیاف نساجی به کمک اسیدها و قلیاها

- پس از اینکه آزمایش به اتمام رسید به سؤالات زیر پاسخ دهید:
- ۱- اگر مقداری الیاف مصنوعی به شما داده شود تا از طریق حلال‌های شیمیایی آن را شناسایی کنید، ترتیب حلال انتخابی شما چه خواهد بود؟ با ذکر دلیل توضیح دهید.
 - ۲- اگر بخواهید الیاف دی‌استات سلولز را از الیاف تری‌استات سلولز تشخیص دهید از چه حلالی استفاده می‌کنید؟ نحوه حلالیت این دو نوع لیف در حلال مزبور چگونه است؟
 - ۳- آیا حلال‌های دیگری به غیر از حلال‌های ذکر شده را جهت شناسایی الیاف می‌شناسید، آنها را نام ببرید. این حلال‌ها چه الیافی را حل می‌کنند؟
 - ۴- با توجه به آزمایش انجام شده، حلال شناسایی هر یک از الیاف دی‌استات و تری‌استات سلولز، نایلون، پلی‌استر و اکریلیک را نام ببرید.

وسایل آزمایش: لوله آزمایش، گیره لوله آزمایش، چراغ گاز بونزن
مواد مصرفی: اسید کلریدریک، هیدروکسید سدیم ۵٪، اسید سولفوریک ۶۰٪ و ۷۵٪، پنبه، ویسکوز، ابریشم، پشم.

شرح آزمایش

این آزمایش را حتماً در زیر هود و با احتیاط کامل انجام دهید. روش آزمایش مانند آزمایش ۴ می‌باشد و فقط حلال‌های مصرفی و الیاف متفاوت می‌باشند حال با توجه به آزمایش انجام شده جدول ۶ را کامل نمایید.

جدول ۶- اثر مواد شیمیایی بر روی الیاف

الیاف	ویسکوز	پنبه	ابریشم	پشم
حلال				
اسید سولفوریک ۶۰٪ اسید کلریدریک هیدروکسید سدیم اسید سولفوریک ۷۵٪				

به سؤالات زیر پاسخ دهید. و پاسخ خود را با هنجاریان دیگر مقایسه کنید.

- ۱- برای تشخیص الیاف پروتئینی از الیاف سلولزی از چه ماده شیمیایی استفاده می‌کنیم؟ چرا؟
- ۲- برای تشخیص الیاف پشم و ابریشم از چه ماده شیمیایی استفاده می‌کنیم؟ چرا؟
- ۳- روش تشخیص الیاف پنبه از الیاف ویسکوز چیست؟
- ۴- آیا شما حلال‌های دیگری می‌شناسید که الیاف پنبه، ویسکوز، پشم و ابریشم را حل نمایند؟ هر یک را نام ببرید.

- ۵- به نظر شما حل شدن الیاف تری استات در متیلن کلراید مانند حل شدن الیاف ویسکوز در اسیدسولفوریک یا حل شدن الیاف پشم در هیدروکسید سدیم است؟ (با ذکر دلیل)
- ۶- از مسئول آزمایشگاه خود مقداری از یک الیاف مصنوعی را گرفته آن را به روش حلالی شناسایی کنید و جواب خود را گزارش نمایید.
- ۷- از مسئول آزمایش مقداری از یک نوع الیاف طبیعی را گرفته، آن را به روش حلالی شناسایی کنید و جواب خود را گزارش نمایید.



تعیین نقطه ذوب الیاف

مقدمه: وقتی که الیاف ترموپلاستیک (گرمانرم) حرارت داده می‌شوند ابتدا نرم می‌شوند. این فرایند گاهی اوقات قبل از ذوب شدن با کاهش طول الیاف نیز همراه می‌باشد. به خاطر اینکه نقطه ذوب با سرعت بالا رفتن دما تغییر می‌کند لذا تعیین دقیق نقطه ذوب مشکل است. به هر حال با به کار بردن روش‌های دقیق و کنترل شده می‌توان به نتایجی با ارزش دست یافت. برای مثال جهت تشخیص انواع مختلف نایلون که از لحاظ شیمیایی بسیار شبیه همدیگر هستند می‌توان از این روش استفاده کرد. در این آزمایش ابزار آلات ساده‌ای جهت تعیین نقطه ذوب الیاف به کار گرفته می‌شوند. به هر حال برای اطمینان از صحت آزمایش لازم است نتایج حاصل از آزمایش را با اعداد موجود در جدول ۷ مقایسه نمایید.

جدول ۷- نقطه ذوب تعدادی از الیاف ترموپلاستیک

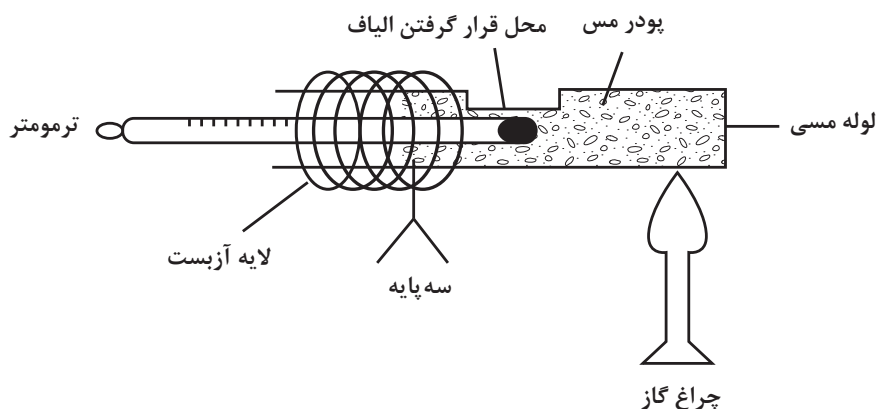
نوع الیاف	نقطه ذوب (C)
پلی استر (تریلن)	۲۵۰-۲۵۵
نایلون	۲۴۰-۲۵۰
دی استات سلولز	۲۳۰-۲۳۵
تری استات سلولز	۲۹۰-۳۰۰

وسایل آزمایش: میله شیشه‌ای، ترمومتر C ۴۰۰، لوله مسی
مواد مورد نیاز: پلی استر، نایلون، دی استات سلولز، تری استات سلولز، پودر مس

شرح آزمایش

یک میله مسی مخصوص اندازه‌گیری نقطه ذوب الیاف را برداشته و آن را بر روی یک سه پایه طوری قرار دهید که قسمت پوشش داده شده میله با آریست بر روی سه پایه و قسمت دیگر میله بر روی یک چراغ گاز بوزن قرار گیرد. سپس ترمومتر را در حفره موجود بر روی میله قرار دهید و مقداری پودر مس در فضای بین حفره و ترمومتر بریزید تا مطمئن شوید که ترمومتر به اندازه کافی با میله مسی در تماس است. مقدار کمی از نخ (به اندازه یک سانتی‌متر) را بر روی میله مسی نزدیک ترمومتر قرار دهید و قسمت انتهایی میله را به آرامی

حرارت دهید به طوری که دمای ترمومتر در یک دقیقه بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر نرود. هنگامی که ترمومتر به دمایی رسید که جمع‌شدگی الیاف شروع شد، حرارت دادن میلیه مسی را آرام‌تر ادامه دهید به طوری که افزایش دمای ترمومتر در یک دقیقه بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد نباشد. وقتی که لیف موردنظر ذوب شد دمای ترمومتر را یادداشت نمایید. آزمایش را یکبار دیگر تکرار کنید. میانگین اعداد به دست آمده را با نقطه ذوب واقعی الیاف مقایسه نمایید. این آزمایش را برای الیاف دی و تری استات سلولز، نایلون ۶، نایلون ۶۶ و تریلین تکرار کنید و نقطه ذوب هر یک را به دست آورید.



شکل ۷- دستگاه اندازه‌گیری نقطه ذوب الیاف

تعیین ظرافت الیاف مصنوعی به روش میکروسکوپی

فعالیت
عملی ۵



الیاف مصنوعی با ظرافت‌های دلخواه و براساس سفارش مشتری تولید و عرضه می‌شوند. همچنین الیاف مصنوعی با شکل سطح مقطع عرضی مختلف (دایره‌ای، بیضوی، دندانه‌دار، دمبلی و ...) می‌توانند تولید شوند. با این حال بیشتر الیاف مصنوعی با مقطع عرضی دایره‌ای تولید و مصرف می‌شوند. یکی از روش‌های تعیین ظرافت الیاف مصنوعی، تعیین قطر آنها است که در این صورت با تعیین قطر الیاف و داشتن جرم حجمی لیف مربوطه می‌توان نمره الیاف را محاسبه کرد.

وسایل مورد نیاز

- میکروسکوپ پروژکتینا یا میکروسکوپ مجهز به صفحه مدرج
- صفحه سوراخ‌دار ویژه تهیه مقطع عرضی الیاف
- لام و لامل
- گلیسرین (یا هر نوع روغن بی‌اثر بر روی الیاف مورد آزمایش)
- تیغ تیز

شرایط آزمایش

آزمایش در محیط آزمایشگاه با رطوبت نسبی $2 \pm 65\%$ و دمای $20 \pm 2^\circ\text{C}$ انجام شود. قبل از آزمایش نمونه به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد نگهداری شود.

شرح آزمایش

چنان‌که توضیح داده شده است، سطح الیاف مصنوعی متنوع بوده و بستگی به سفارش مشتری و شکل سطح مقطع روزنه‌های رشته‌ساز دستگاه تولید الیاف دارد. اگر مقطع عرضی الیاف مورد آزمایش دایره‌ای باشد، با تعیین قطر الیاف و دانستن جرم حجمی الیاف می‌توان نمره الیاف را حساب کرد. در این صورت اگر نوع لیف مشخص باشد، جرم حجمی آن را از روی جداول بیابید و اگر نوع لیف مشخص نباشد، لازم است برای تعیین نمره لیف، در آزمایش جداگانه‌ای جرم حجمی لیف را تعیین نمود.

برای تهیه نمونه، ابتدا الیاف نمونه‌برداری شده را به صورت موازی درآورده و به طول کمتر از عرض لام و لامل ببرید. سپس یک قطره گلیسیرین (یا پارافین مایع) بر روی لام بریزید و سپس الیاف بریده شده را بر روی قطره گلیسیرین قرار داده و لامل را روی لام قرار دهید تا قطره گلیسیرین کل نمونه الیاف را در برگیرد. نمونه تهیه شده (لام و لامل همراه با نمونه الیاف) را در محل شی و زیر عدسی شیئی میکروسکوپ قرار داده و با انتخاب عدسی شیئی مناسب، قطر الیاف را از روی صفحه مدرج خوانده و یادداشت نمایید. در این آزمایش لازم است قطر 30° لیف از نمونه الیاف تهیه شده اندازه‌گیری شده و میانگین قطر الیاف محاسبه شود.

فرم ارزشیابی واحد یاد گیری ۴- تعیین ویژگی های الیاف مصنوعی نایلون

شرح فعالیت: شناسایی الیاف مصنوعی نایلون و تعیین خصوصیات الیاف مصنوعی نایلون

استاندارد عملکرد: تعیین نوع الیاف مصنوعی نایلون و تعیین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی الیاف به کمک ابزار و دستگاه های مشخص شده
شاخص ها: تعیین خصوصیات الیاف نایلون ۶ - نایلون ۶۶ و نایلون ۱۱

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:
فضای کار : آزمایشگاه شناسایی الیاف نساجی
تجهیزات: دستگاه های سنجش خصوصیات الیاف - ابزار آزمایشگاه شیمی چراغ بونزن لوله مخصوص ذوب یا دستگاه اندازه گیر نقطه ذوب الیاف میکروسکوپ و انواع لام ابزار اندازه گیر طول دقیق (کولیس)
مواد مصرفی: انواع الیاف نساجی - مواد شیمیایی مرتبط

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تعیین اثر آب بر خواص الیاف نساجی	۱	
۲	تعیین الیاف نساجی با استفاده از حلال های شیمیایی (آلی)	۱	
۳	تعیین الیاف نساجی با استفاده از اسیدها و بازها	۱	
۴	تعیین نقطه ذوب الیاف	۲	
۵	تعیین سطح مقطع به روش میکروسکوپی	۲	
	شایستگی های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: 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	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.