دانشگاه پیام نور

شناخت الیاف کاربردی در صنعت فرش دستباف و ماشینی

فرش و الیاف: هماهنگی هنر و صنعت

دکتر سعیده رفیعی

«عضو هیئت علمی دانشگاه هنر شیراز»

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است[1].

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آن‌ها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که »بخوان!« و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشأن خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696

شده‌است: «إقْرَأ وَ رَبُّکَ الْاَکْرَمُ. اَلَّذی عَلَّمَ بِالْقَلَم» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار **یازده**

فصل اول: تعاریف عمومی الیاف **۱**

۱-۱ مقدمه‌ای بر الیاف و اهمیت آن‌ها در صنعت نساجی ۱

۱-۲ تعریف علمی لیف ۲

۱-۲-۱ اصول علمی تشکیل لیف ۲

۱-۲-۲ کاربردهای مهندسی الیاف ۳

۱-۲-۳ خصوصیات اساسی الیاف نساجی ۳

۱-۲-۴ طبقه‌بندی اولیه الیاف ۵

۱-۲-۵ شرایط قابلیت ریسندگی الیاف ۶

۱-۳ ساختار داخلی الیاف ۷

۱-۳-۱ نقش ساختار سلسله‌مراتبی در خواص الیاف ۹

۱-۴ آرایش زنجیره‌های مولکولی در الیاف ۱۱

۱-۴-۱ انواع نظم مولکولی ۱۱

۱-۴-۲ روش‌های اندازه‌گیری درجه بلوریندگی ۱۱

۱-۴-۳ پیوندهای بین‌مولکولی ۱۲

۱-۴-۴ تأثیر آرایش مولکولی بر خواص الیاف ۱۳

۱-۴-۵ روش‌های اندازه‌گیری درصد بلوریندگی ۱۵

۱-۵ شرایط بنیادی تشکیل لیف ۱۶

۱-۶ خواص کلیدی الیاف ۱۶

۱-۷ طبقه‌بندی الیاف براساس طول ۱۷

۱-۷-۱ الیاف منقطع ۱۸

۱-۷-۲ الیاف یکسره یا فیلامنتی ۱۹

۱-۷-۳ طبقه‌بندی کلی الیاف ۲۰

۱-۷-۴ مقایسه الیاف طبیعی و مصنوعی ۲۶

۱-۸ جذب رطوبت در الیاف ۲۷
۱-۸-۱ اهمیت چندوجهی جذب رطوبت ۲۸
۱-۸-۲ حالت تعادل رطوبتی ۲۹
۱-۸-۳ انواع رطوبت ۳۰
۱-۸-۴ عوامل مؤثر در جذب رطوبت الیاف ۳۱
۱-۸-۵ مکانیسم جذب رطوبت در الیاف ۳۴
۱-۹ خصوصیات مکانیکی الیاف ۳۷
۱-۹-۱ استحکام کششی الیاف ۳۸
۱-۹-۲ ازدیاد طول الیاف ۳۹
۱-۹-۳ منحنی نیرو- ازدیاد طول در الیاف نساجی ۴۰
۱-۹-۴ بازیابی الاستیک الیاف (الاستیسیته) ۴۲
۱-۹-۵ تأثیر رطوبت روی خواص مکانیکی ۵۰
۱-۹-۶ روش‌های نمره‌گذاری الیاف/ نخ ۵۲

فصل دوم: الیاف گیاهی ۵۵
۲-۱ مقدمه‌ای بر الیاف سلولزی: ستون فقرات گیاهی صنعت نساجی ۵۵
۲-۲ خصوصیات عمومی الیاف گیاهی (سلولزی) ۵۶
۲-۳ تعریف علمی و ساختار مولکولی سلولز ۵۸
۲-۴ طبقه‌بندی الیاف گیاهی براساس منشأ ۵۹
۲-۵ ترکیبات شیمیایی اصلی در الیاف گیاهی ۶۱
۲-۶ ساختار سلسله‌مراتبی و آرایش میکروفیبریل‌ها ۶۲
۲-۷ الیاف گیاهی ساقه‌ای: استحکام از دل ساقه ۶۳
۲-۷-۱ فرایند استخراج الیاف ساقه‌ای ۶۴
۲-۸ کتان (Flax/Linen): قدیمی‌ترین لیف نساجی بشر ۶۷
۲-۸-۱ ساختار و خصوصیات فیزیکی- مکانیکی ۶۷
۲-۸-۲ خصوصیات شیمیایی و پایداری ۶۸
۲-۹ الیاف گیاهی- برگی (Leaf Fibers) ۶۸
۲-۹-۱ خصوصیات عمومی الیاف برگی ۶۹
۲-۹-۲ الیاف سیسال (Sisal) ۶۹
۲-۹-۳ الیاف موز ۷۱
۲-۱۰ الیاف گیاهی- میوه‌ای ۷۴
۲-۱۰-۱ الیاف نارگیل (Coir) ۷۵
۲-۱۱ الیاف گیاهی- دانه‌ای ۷۷
۲-۱۱-۱ الیاف کاپوک ۷۷
۲-۱۱-۲ الیاف آکوند ۷۹
۲-۱۱-۳ پنبه (Cotton) ۸۰
۲-۱۲ الیاف بامبو: یک رقیب سلولزی برای پنبه ۱۰۴

فصل سوم: الیاف حیوانی (پروتئینی) ۱۰۷
مقدمه ۱۰۷
۳-۱ پشم ۱۰۸
۳-۱-۱ خواص مورفولوژیکی و ظاهری پشم ۱۰۸
۳-۱-۲ خاصیت نمدی‌شدن ۱۱۰
۳-۱-۳ ساختار الیاف پشم ۱۱۱
۳-۱-۴ ساختمان پلیمری لیف پشم ۱۱۵
۳-۱-۵ پیوندها و نیروهای بین‌مولکولی در لیف پشم ۱۱۶
۳-۱-۶ خواص فیزیکی الیاف پشم ۱۱۹
۳-۱-۷ مرسریزاسیون الیاف پشم و فرایندهای مرتبط ۱۲۰
۳-۲ ابریشم ۱۲۵
۳-۲-۱ مقدمه و تاریخچه ۱۲۵
۳-۲-۲ فرایند تولید طبیعی ابریشم ۱۲۶
۳-۲-۳ ساختار شیمیایی و صمغ‌گیری ۱۲۶
۳-۲-۴ خصوصیات ظاهری و فیزیکی ابریشم (صمغ‌گیری شده) ۱۲۷
۳-۲-۵ ساختمان پلیمری فیبروئین ابریشم ۱۲۸
۳-۲-۶ خواص فیزیکی ابریشم ۱۲۹
۳-۲-۷ خواص شیمیایی ابریشم ۱۳۲
۳-۲-۸ اثر نور خورشید و هوا ۱۳۳
۳-۲-۹ ثبات رنگ ۱۳۳
۳-۳ موهر ۱۳۴
۳-۳-۱ تاریخچه و تولید جهانی ۱۳۵
۳-۳-۲ ساختار و خواص مورفولوژیکی ۱۳۵
۳-۳-۳ خواص فیزیکی و شیمیایی ۱۳۶
۳-۳-۴ کاربردهای الیاف موهر ۱۳۷
۳-۴ کشمیر ۱۳۷
۳-۴-۱ تفاوت موهر و کشمیر ۱۳۹
۳-۵ موی شتر ۱۳۹
۳-۶ الیاف لاما ۱۴۱
۳-۶-۱ ساختار و انواع الیاف لاما ۱۴۱
۳-۶-۲ خواص مورفولوژیکی و فیزیکی ۱۴۲
۳-۶-۳ کاربردها ۱۴۲
۳-۷ آلپاکا ۱۴۲
۳-۷-۱ انواع آلپاکا و الیاف آن‌ها ۱۴۳
۳-۷-۲ خواص مورفولوژیکی و فیزیکی ۱۴۴
۳-۷-۳ کاربردها ۱۴۴

۳-۸ کاربرد الیاف حیوانی در فرش دستباف ۱۴۴
۳-۸-۱ مفهوم «کرک» در فرش ایرانی ۱۴۵
۳-۸-۲ منابع اصلی الیاف خاص (کرک) ۱۴۵
۳-۸-۳ پیشینه تاریخی و فرهنگی ۱۴۵

فصل چهارم: ریسندگی الیاف **۱۴۷**
مقدمه ۱۴۷
۴-۱ آشنایی با سیستم‌های ریسندگی ۱۴۸
۴-۲ طبقه‌بندی کلی سیستم‌های ریسندگی ۱۴۹
۴-۲-۱ سیستم ریسندگی الیاف کوتاه ۱۴۹
۴-۲-۲ سیستم ریسندگی الیاف بلند ۱۵۲
۴-۳ مقایسه و تفاوت‌های سیستم‌های ریسندگی ۱۵۶
۴-۴ مراحل مقدماتی و آماده‌سازی در ریسندگی پشم ۱۵۸
۴-۴-۱ جورچینی و درجه‌بندی پشم ۱۵۸
۴-۴-۲ شستشوی پشم ۱۶۰
۴-۴-۳ خشک‌کردن ۱۶۰
۴-۴-۴ عدل‌بندی و حمل ۱۶۱
۴-۴-۵ حلاجی و مخلوط‌سازی ۱۶۱
۴-۴-۶ کاردینگ: قلب سیستم ریسندگی ۱۶۳
۴-۴-۷ ماشین فلایر: آماده‌سازی فتیله برای ریسندگی نهایی ۱۶۵
۴-۴-۸ ماشین رینگ ۱۶۶

فصل پنجم: الیاف مصنوعی **۱۶۹**
۵-۱ مقدمه: تحول فناورانه در صنعت نساجی ۱۶۹
۵-۲ سیر تاریخی توسعه الیاف مصنوعی ۱۶۹
۵-۳ اصول و فرایندهای تولید الیاف مصنوعی ۱۷۰
۵-۴ دسته‌بندی و معرفی مهم‌ترین الیاف مصنوعی ۱۷۲
۵-۵ روش‌های اصلی ریسندگی الیاف مصنوعی ۱۷۳
۵-۵-۱ ذوب‌ریسی ۱۷۳
۵-۵-۲ خشک‌ریسی ۱۷۵
۵-۵-۳ تَرریسی ۱۷۷
۵-۵-۴ الکتروریسی ۱۷۹
۵-۶ الیاف اکریلیک ۱۸۰
۵-۶-۱ خواص مورفولوژیکی و ظاهری ۱۸۲
۵-۶-۲ ظاهر میکروسکوپی ۱۸۲
۵-۶-۳ ساختار پلیمری و بین‌مولکولی ۱۸۳
۵-۶-۴ خواص فیزیکی ۱۸۴

۵-۶-۵ خواص شیمیایی ۱۸۴
۵-۷ الیاف نایلون ۱۸۵
۵-۷-۱ انواع نایلون و ساختار شیمیایی آن‌ها ۱۸۶
۵-۷-۲ خواص مورفولوژیکی و ظاهری نایلون ۱۸۷
۵-۷-۳ ظاهر میکروسکوپی نایلون ۱۸۷
۵-۷-۴ ساختار پلیمری و بین‌مولکولی ۱۸۸
۵-۷-۵ خواص فیزیکی ۱۸۹
۵-۷-۶ خواص شیمیایی ۱۹۰
۵-۸ الیاف ویسکوز ریون ۱۹۰
۵-۸-۱ فرایند تولید الیاف ویسکوز ریون (فرایند زانتات) ۱۹۱
۵-۸-۲ خواص ظاهری و مورفولوژیکی ویسکوز ۱۹۳
۵-۸-۳ ظاهر میکروسکوپی ویسکوز ۱۹۳
۵-۸-۴ ساختار پلیمری ویسکوز ۱۹۴
۵-۸-۵ خواص فیزیکی ویسکوز ۱۹۵
۵-۸-۶ خواص شیمیایی ویسکوز ۱۹۵

فصل ششم: کاربرد الیاف مصنوعی در نخ خاب فرش ماشینی ۱۹۷
مقدمه ۱۹۷
۶-۱ مزایا و معایب عمومی الیاف مصنوعی در فرش ماشینی ۱۹۸
۶-۱-۱ مزایا ۱۹۸
۶-۱-۲ معایب ۱۹۹
۶-۲ تحلیل فنی الیاف مصنوعی در نخ خاب ۱۹۹
۶-۲-۱ نخ خاب اکریلیک ۱۹۹
۶-۲-۲ نخ خاب پلی‌استر ۲۰۱
۶-۲-۳ نخ خاب پلی‌پروپیلن ۲۰۲
۶-۲-۴ نخ خاب نایلون ۲۰۳

فصل هفتم: روش‌های آزمایشگاهی شناسایی و ارزیابی الیاف ۲۰۷
مقدمه ۲۰۷
۷-۱ شناسایی الیاف ازطریق آزمون احتراق ۲۰۷
۷-۱-۱ اصول علمی آزمون احتراق ۲۰۸
۷-۱-۲ محدودیت‌ها و ملاحظات ۲۰۹
۷-۲ شناسایی الیاف به روش میکروسکوپی ۲۰۹
۷-۲-۱ اصول علمی میکروسکوپی الیاف ۲۰۹
۷-۲-۲ ویژگی‌های میکروسکوپی الیاف طبیعی کلیدی ۲۱۰
۷-۲-۳ ویژگی‌های میکروسکوپی الیاف مصنوعی رایج ۲۱۱
۷-۲-۴ تکنیک‌های آماده‌سازی نمونه و کاربردهای میکروسکوپی ۲۱۱

۷-۳ شناسایی الیاف براساس مقاومت شیمیایی ۲۱۴
۷-۳-۱ اصول علمی و مکانیسم‌های واکنش ۲۱۴
۷-۳-۲ روش آزمون و ملاحظات ایمنی ۲۱۵
۷-۳-۳ کاربردهای عملی و اهمیت صنعتی ۲۱۶
۷-۴ روش‌های شناسایی کیفی الیاف براساس واکنش‌پذیری شیمیایی ۲۱۶
۷-۴-۱ اصول بنیادی روش‌های شیمیایی ۲۱۶
۷-۴-۲ معرف‌های شیمیایی کلیدی و واکنش‌های مشخصه ۲۱۷
۷-۴-۳ پروتکل‌های استاندارد آزمون ۲۱۸
۷-۵ سنجش ظرافت نخ: سیستم‌های نمره‌گذاری و روش آزمایشگاهی ۲۱۹
۷-۵-۱ سیستم نمره‌گذاری مستقیم ۲۱۹
۷-۵-۲ سیستم نمره‌گذاری غیرمستقیم ۲۱۹
۷-۵-۳ روش آزمایشگاهی تعیین نمره نخ ۲۲۰
۷-۶ سنجش میزان جذب آب در الیاف: بازجذب و محتوای رطوبت ۲۲۱
۷-۶-۱ تعاریف کلیدی و اهمیت آن‌ها ۲۲۱
۷-۶-۲ روش آزمایشگاهی استاندارد (روش آون خشک‌کن) ۲۲۲
۷-۷ ارزیابی خواص کششی الیاف: استحکام و ازدیاد طول ۲۲۳
۷-۷-۱ اصول و روش اجرای آزمون ۲۲۴
۷-۷-۲ پارامترهای خروجی آزمون و تحلیل آن‌ها ۲۲۴
۷-۷-۳ کاربرد نتایج در صنعت فرش ۲۲۶
۷-۸ سنجش و تحلیل تاب نخ‌های یک‌لا و چندلا ۲۲۶
۷-۸-۱ اصول و تعاریف بنیادین ۲۲۶
۷-۸-۲ انواع تاب و کاربردهای آن‌ها در نخ فرش ۲۲۷
۷-۸-۳ روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری تاب ۲۲۸
۷-۸-۴ فرمول اساسی محاسبه تاب ۲۲۹
۷-۸-۵ تحلیل تأثیرات تاب بر خواص کلیدی نخ ۲۳۰
۷-۸-۶ عوامل تعیین‌کننده میزان تاب بهینه ۲۳۲
۷-۸-۷ کنترل کیفیت تاب و استانداردهای مرتبط ۲۳۲

واژه‌نامه **۲۳۵**
منابع **۲۳۷**

تقدیم به لبخند زیبای دخترم ...

پیشگفتار

صنعت فرش، به‌عنوان یکی از هنرهای دیرینه و ارزشمند در فرهنگ ایرانی، همواره موردتوجه محققان و هنرمندان بوده است. فرش‌های دستباف و ماشینی نه‌تنها نمایانگر زیبایی و ظرافت هنر ایرانی هستند، بلکه به‌عنوان نمادهای هویتی و فرهنگی نیز شناخته می‌شوند. شناخت الیاف کاربردی در این صنعت، ازجمله مباحث کلیدی است که تأثیر بسزایی بر کیفیت، دوام و زیبایی فرش‌ها دارد.

الیاف مختلف، ازجمله پشم، ابریشم، پنبه و مواد مصنوعی، هرکدام ویژگی‌ها و مزایای خاص خود را دارند. این ویژگی‌ها شامل نرمی، مقاومت، قابلیت رنگ‌پذیری و دوام می‌باشد که درنهایت بر روی طراحی و عملکرد فرش تأثیرگذار است. به‌عنوان مثال، الیاف ابریشم به‌دلیل درخشش و لطافت خود، در فرش‌های دستباف لوکس استفاده می‌شوند، درحالی‌که الیاف پشمی به‌دلیل مقاومت و دوام بالا، برای فرش‌های ماشینی مناسب‌تر هستند.

در این پژوهش، به بررسی انواع الیاف، خصوصیات آن‌ها و تأثیراتشان بر روی فرش‌های دستباف و ماشینی پرداخته خواهد شد. هدف از این مطالعه، ارائه درک عمیق‌تری از نحوه انتخاب و استفاده از الیاف در فرایند تولید فرش و همچنین تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی این انتخاب‌ها می‌باشد. به‌این‌ترتیب، شناخت دقیق الیاف و کاربردهای آن‌ها می‌تواند به ارتقای کیفیت و پایداری صنعت فرش کمک کند و زمینه‌ساز نوآوری‌های جدید در این حوزه گردد.

در نهایت، تکمیل این اثر مرهون همکاری‌های ارزشمند است. نگارنده لازم می‌داند از تلاش‌های مجدانه و دقیق آقای علی اصغر راهپیما که مسئولیت ویراستاری تخصصی و فنی متن را برعهده داشتند و با تعهد کامل، در ارتقاء کیفیت ساختاری و زبانی کتاب سهم بسزایی داشتند، کمال تشکر و قدردانی را ابراز نماید.

نویسنده

دکتر سعیده رفیعی

فصل اول

تعاریف عمومی الیاف

۱-۱ مقدمه‌ای بر الیاف و اهمیت آن‌ها در صنعت نساجی

الیاف، به‌عنوان بنیادی‌ترین واحد ساختاری در صنعت نساجی، نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در کیفیت، عملکرد و خصوصیات نهایی محصولات نساجی ازجمله فرش‌های دستباف و ماشینی ایفا می‌کنند. تاریخ استفاده از الیاف طبیعی به هزاران سال پیش بازمی‌گردد؛ به‌طوری که باستان‌شناسان شواهدی از استفاده از الیاف کتان را در مصر باستان (حدود ۵۰۰۰ سال پیش) و الیاف پشم در تمدن‌های کهن ایران و آسیای مرکزی (حدود ۴۰۰۰ سال پیش) کشف کرده‌اند (Mather et al., 2015:28).

در دوران معاصر، با پیشرفت علوم شیمی پلیمر و فناوری‌های پیشرفته، الیاف مصنوعی نیز به خانواده الیاف افزوده شده‌اند که امروزه بیش از ۶۰٪ از کل الیاف مصرفی در جهان را تشکیل می‌دهند **(توانایی**، ۱۳۹۲). درک عمیق از ساختار، خصوصیات و رفتار الیاف، نه‌تنها برای بهینه‌سازی فرایندهای تولید ضروری است، بلکه برای نوآوری در طراحی محصولات با عملکرد ویژه نیز حیاتی به‌شمار می‌آید.

صنعت فرش ایران، با تولید سالانه بیش از ۴۰۰،۰۰۰ مترمربع فرش دستباف و ۱۵ میلیون مترمربع فرش ماشینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع صادراتی کشور محسوب می‌شود(Lewin, 2006). انتخاب صحیح الیاف در این صنعت، نه‌تنها بر کیفیت و زیبایی محصول نهایی تأثیرگذار است، بلکه ازنظر اقتصادی نیز اهمیت بالایی دارد.

۲-۱ تعریف علمی لیف

لیف عبارت‌است از رشته‌ای باریک و کشیده که ماده اولیه اساسی در تولید تمامی محصولات نساجی محسوب می‌شود و از تعداد بسیار زیادی ماکرومولکول زنجیره‌ای تشکیل شده است. براساس تعریف استاندارد بین‌المللی ISO 6938، لیف به‌عنوان واحدی از ماده تعریف می‌شود که نسبت طول به قطر آن حداقل ۱۰۰:۱ و ترجیحاً بیش از ۱۰۰۰:۱ باشد (Morton, & Hearle, 2008, Blackburn, 2005).

انستیتو الیاف انگلستان[1] لیف را چنین تعریف می‌کند: واحد اساسی مواد نساجی که دارای طول زیاد نسبت به ابعاد عرضی خود بوده و برای تولید نخ و منسوج مناسب است. (Hatch, 1993).

الیاف، جمع کلمه لیف، مجموعه‌ای از مولکول‌های زنجیره‌ای خطی و طویل هستند که به‌صورت تقریباً موازی در امتداد محور طولی لیف آرایش یافته‌اند. این آرایش مولکولی منظم، خاصیت بنیادی استحکام کششی بالا در جهت طولی را به الیاف اعطا می‌کند (Van der Beke, et al. 2021).

۲-۱-۱ اصول علمی تشکیل لیف[2]

از منظر شیمی پلیمر، همه پلیمرها قادر به تشکیل لیف نیستند. برای اینکه یک پلیمر بتواند به‌صورت لیف ریسیده شود و ساختاری پایدار و کاربردی ایجاد کند، باید چهارشرط بنیادی را برآورده سازد. اولاً، ازنظر ساختار مولکولی، پلیمر باید دارای زنجیره‌های بلند، خطی[3] یا با حداقل انشعاب باشد تا امکان آرایش‌یافتن موازی زنجیره‌ها در کنار یکدیگر فراهم گردد. ثانیاً، وزن مولکولی آن باید به‌اندازه کافی بالا باشد تا نیروهای بین‌زنجیره‌ای مؤثر واقع شوند؛ حداقل وزن مولکولی موردنیاز g/mol۱۰,۰۰۰ است، اما مقادیر بالاتر از g/mol ۵۰,۰۰۰ برای دستیابی به خواص مکانیکی مطلوب ترجیح داده می‌شود. سوم، زنجیره‌های پلیمری باید از قطبیت[4] کافی برخوردار باشند، به این معنی که دارای گروه‌های عاملی قطبی (مانند هیدروکسیل، آمید یا استر) باشند تا بتوانند پیوندهای

1. The textile institute
2. Fiber formation principles
3. Linear
4. Polarity

بین‌مولکولی قوی مانند پیوند هیدروژنی برقرار کنند و ساختار لیف را تثبیت نمایند. چهارم، انعطاف‌پذیری زنجیره[1] ضروری است؛ یعنی زنجیره‌ها باید قابلیت چرخش حول پیوندهای کووالانسی خود را داشته باشند تا در طی فرایند کشش، جهت‌گیری کرده و به ساختاری منظم و بلورین دست یابند (Klemm, et al. 2005).

۱-۲-۲ کاربردهای مهندسی الیاف[2]

فراتر از کاربردهای سنتی در نساجی، الیاف به‌دلیل خواص مکانیکی فوق‌العاده، در صنایع مهندسی پیشرفته و مواد کامپوزیتی نقش کلیدی ایفا می‌کنند. در حقیقت، برخی از مستحکم‌ترین مواد مهندسی شناخته‌شده در جهان به شکل لیف تولید می‌شوند. به‌عنوان مثال:

- **الیاف کربن**[3]: با استحکام کششی فوق‌العاده بالا در محدوده ۳,۵۰۰ تا ۷,۰۰۰ مگاپاسکال (MPa)، در صنایع هوافضا، خودروسازی و تجهیزات ورزشی پیشرفته کاربرد دارند.
- **الیاف آرامید**[4] **(مانند کولار)**: این الیاف با استحکام کششی ۳,۰۰۰ تا۳,۶۰۰MPa، به‌دلیل مقاومت در برابر ضربه، در ساخت جلیقه‌های ضدگلوله و تجهیزات حفاظتی استفاده می‌شوند.
- **الیاف پلی‌اتیلن با وزن مولکولی فوق‌العاده بالا**[5]: این الیاف با استحکام ۲,۶۰۰ تا ۳,۵۰۰MPa، ضمن داشتن چگالی کمتر از آب، در تولید طناب‌های مهاری، کابل‌های صنعتی و کاربردهای پزشکی نظیر ایمپلنت‌ها به‌کار می‌روند (نوری، ۱۴۰۱).

۱-۲-۳ خصوصیات اساسی الیاف نساجی[6]

برای اینکه یک لیف در صنعت نساجی قابل استفاده باشد، باید مجموعه‌ای از ویژگی‌های اساسی در سه حوزه هندسی، مکانیکی و فیزیکو- شیمیایی را دارا باشد. این خصوصیات تعیین‌کننده کیفیت، دوام و راحتی محصول نهایی هستند:

---

1. Chain flexibility
2. Engineering applications of fibers
3. Carbon fibers
4. Aramid fibers
5. Uhmwpe
6. Essential properties of textile fibers

الف) خصوصیات هندسی[1]: این ویژگی‌ها به ابعاد فیزیکی لیف اشاره دارند. نسبت طول به قطر[2] باید حداقل ۱۰۰:۱ باشد تا لیف قابلیت ریسیده‌شدن داشته باشد. قطر لیف برای الیاف طبیعی معمولاً در بازه ۱۰ تا ۵۰ میکرومتر (µm) قرار دارد که بر نرمی و زیردست پارچه تأثیر می‌گذارد. طول لیف نیز برای الیاف منقطع[3] بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر (mm) است که در فرایند ریسندگی اهمیت دارد (Müssig et al. 2010).

ب) خصوصیات مکانیکی[4]: این خواص توانایی لیف در برابر نیروهای خارجی را مشخص می‌کنند. استحکام کششی[5] باید حداقل ۱ گرم بر دنیر (g/den) باشد تا لیف در فرایندهای تولید گسیخته نشود. مدول الاستیک[6]، که معیاری از سفتی لیف است، معمولاً بین ۵ تا ۱۰۰ گیگاپاسکال (GPa) متغیر است. ازدیاد طول تا پارگی[7] نیز بسته به کاربرد نهایی، از ۲٪ (برای الیاف سخت) تا ۵۰٪ (برای الیاف انعطاف‌پذیر) متغیر است (Kozłowski, 2012).

ج) خصوصیات فیزیکو- شیمیایی[8]: این دسته از خواص به رفتار لیف در شرایط محیطی و شیمیایی مختلف مربوط می‌شود. **چگالی**[9] الیاف نساجی معمولاً در محدوده ۰/۹ تا ۱/۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب (g/cm^3) است. پایداری حرارتی نیز یک الزام است، به‌طوری که نقطه ذوب یا تجزیه باید بالاتر از ۱۵۰°C باشد تا لیف بتواند فرایندهایی مانند اتوکشی را تحمل کند. درنهایت، درصد جذب رطوبت[10] که بر راحتی پوشاک و قابلیت رنگرزی تأثیر دارد، بسته به ماهیت شیمیایی لیف از ۰٪ (برای پلی‌پروپیلن) تا بیش از ۱۵٪ (برای پشم) متغیر است (نورپناه، ۱۳۷۳).

---

1. Geometrical properties
2. L/d ratio
3. Staple
4. Mechanical properties
5. Tenacity
6. Elastic modulus
7. Elongation at break
8. Physico-chemical properties
9. Density
10. Moisture regain

۱-۲-۴ طبقه‌بندی اولیه الیاف[1]

الیاف نساجی براساس منشأ تولید به دو گروه اصلی و متمایز تقسیم‌بندی می‌شوند: الیاف طبیعی و الیاف مصنوعی.

الف) الیاف طبیعی[2]: این الیاف مستقیماً از منابع موجود در طبیعت به‌دست می‌آیند و خود به سه زیرگروه تقسیم می‌شوند:

۱. **الیاف گیاهی**[3]: این گروه که برپایه پلیمر سلولز هستند، شامل الیاف مهمی چون پنبه، کتان، جوت و کنف می‌باشند.

۲. **الیاف حیوانی**[4]: این الیاف که ساختار پروتئینی دارند، شامل پشم (از گوسفند)، ابریشم (از کرم ابریشم) و موهای خاص مانند **کشمیر** (از بز کشمیر) می‌گردند.

۳. **الیاف معدنی**[5]: این گروه شامل الیافی با منشأ مواد معدنی است که مهم‌ترین نمونه آن آزبست (پنبه نسوز) می‌باشد. امروزه به‌دلیل خطرات اثبات‌شده برای سلامتی و خاصیت سرطان‌زایی، کاربرد آن به‌شدت محدود شده است (میرجلیلی، ۱۳۹۰).

ب) الیاف مصنوعی[6]: این الیاف ازطریق فرایندهای شیمیایی و صنعتی تولید می‌شوند و براساس ماده اولیه به دودسته اصلی طبقه‌بندی می‌گردند:

۱. **الیاف بازسازی‌شده**[7]: این الیاف از پلیمرهای طبیعی (عموماً سلولز چوب) به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌کنند که پس از انحلال و فرآوری شیمیایی، مجدداً به شکل لیف بازسازی می‌شوند. نمونه‌های برجسته این گروه عبارتند از: ویسکوز[8]، مودال[9] و لیوسل[10].

۲. **الیاف سنتتیک**[11]: این دسته از الیاف کاملاً ازطریق سنتز شیمیایی مونومرهای حاصل از مشتقات نفتی تولید می‌شوند. پلیمرهای حاصل سپس به لیف تبدیل می‌گردند. مهم‌ترین الیاف این گروه شامل نایلون (پلی‌آمید)، پلی‌استر، اکریلیک و پلی‌پروپیلن هستند (نعیمی‌راد، و همکاران. ۱۴۰۳).

---

1. Primary classification of fibers
2. Natural fibers
3. Vegetable/cellulosic fibers
4. Animal/protein fibers
5. Mineral fibers
6. Man-made fibers
7. Regenerated fibers
8. Viscose
9. Modal
10. Lyocell
11. Synthetic fibers

۱-۲-۵ شرایط قابلیت ریسندگی الیاف[1]

قابلیت تبدیل یک توده لیف به نخی یکنواخت و مستحکم، که به آن قابلیت ریسندگی[2] گفته می‌شود، به مجموعه‌ای از خواص فیزیکی و مکانیکی بستگی دارد. یک لیف برای اینکه بتواند به‌طور مؤثر در فرایندهای ریسندگی مورد استفاده قرار گیرد، باید شش شرط اساسی زیر را برآورده سازد:

۱. **طول مؤثر کافی**[3]: طول لیف عامل اصلی درگیری و انسجام الیاف در ساختار نخ است. الیاف براساس طول به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: الیاف کوتاه[4] با طول ۱۰ تا ۶۵ میلی‌متر، الیاف بلند با طول ۶۵ تا ۲۰۰ میلی‌متر، و الیاف فوق‌العاده بلند با طولی بیش از ۲۰۰ میلی‌متر (Mohiuddin, et al. 2020).

۲. **استحکام کششی مناسب**[5]: لیف باید آن‌قدر استحکام داشته باشد که بتواند تنش‌های مکانیکی وارده طی فرایندهای بازکردن، کاردینگ و کشش را بدون پارگی تحمل کند. حداقل استحکام موردنیاز برای ریسندگی معمولی حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌نیوتن بر تکس (cN/ tex) است، درحالی‌که برای کاربردهای فنی و صنعتی این مقدار به ۲۰ تا ۴۰ (cN/ tex) افزایش می‌یابد (Fiore, et al. 2015).

۳. **انعطاف‌پذیری**[6]: الیاف باید بتوانند به‌راحتی خم شوند و به دور یکدیگر بپیچند تا ساختار نخ را تشکیل دهند. این ویژگی با **مدول خمشی**[7]: سنجیده می‌شود که باید مقداری کمتر از ۵۰ GPa داشته باشد. همچنین، لیف باید بتواند حداقل تا زاویه ۱۸۰ درجه بدون شکستگی یا آسیب ساختاری خم شود (Mwaikambo, 2006).

۴. **چسبندگی بین‌الیافی**[8]: سطح الیاف باید دارای اصطکاک کافی برای چسبیدن به یکدیگر و جلوگیری از لغزش در ساختار نخ باشد. این چسبندگی ازطریق اصطکاک و نیروهای بین‌مولکولی (واندروالس) تأمین می‌شود. ضریب اصطکاک استاتیک بین الیاف باید در محدوده ۰/۲ تا ۰/۵ قرار گیرد تا هم انسجام کافی ایجاد شود و هم مانع حرکت روان الیاف در ماشین‌آلات نشود (Dong, & Xu, 2018).

---

1. Spinnability criteria for fibers
2. Spinnability
3. Sufficient effective length
4. Staple
5. Adequate tenacity
6. Flexibility
7. Bending modulus
8. Inter-fiber cohesion

۵. **یکنواختی ابعادی**[1]: نوسانات زیاد در قطر و طول الیاف منجر به تولید نخ غیریکنواخت و ضعیف می‌شود. برای دستیابی به نخ باکیفیت، **ضریب تغییرات** (CV٪) قطر الیاف باید کمتر از ۲۵٪ و ضریب تغییرات طول آن‌ها کمتر از ۱۵٪ باشد (Kozłowski, 2012).

۶. **پایداری فرایندی**[2]: الیاف باید در برابر شرایط حاکم بر فرایند تولید، از جمله حرارت و رطوبت، پایدار باشند. آن‌ها باید دمایی در محدوده ۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد را بدون تخریب تحمل کنند و در تماس طولانی‌مدت با رطوبت محیط دچار تجزیه یا کاهش شدید خواص نشوند (Karthik, & Murugan, 2013).

شکل ۱-۱. ساختار سلسله‌مراتبی الیاف از سطح مولکولی تا ماکروسکوپی

۱-۳ ساختار داخلی الیاف

مقدمه‌ای بر ساختار سلسله‌مراتبی الیاف: درک عمیق از ساختار داخلی الیاف، کلید اساسی برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی آن‌ها محسوب می‌شود. الیاف دارای ساختاری سلسله‌مراتبی هستند که از سطح مولکولی تا سطح ماکروسکوپی گسترده می‌شود (رشیدی، ۱۳۸۹). شکل ۱-۱ ساختار سلسه‌مراتبی الیاف را از سطح مولکولی تا نخ نشان می‌دهد. این ساختار پیچیده شامل چهار سطح اصلی است: مولکول‌های پلیمری، میکروفیبریل‌ها، فیبریل‌ها و درنهایت الیاف کامل.

۱. **سطح مولکولی**[3]: در بنیادی‌ترین سطح، الیاف از زنجیره‌های پلیمری بسیار طویل تشکیل شده‌اند که ازطریق پیوندهای کووالانسی به‌هم متصل هستند. طول این زنجیره‌ها، که بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر متغیر است، توسط درجه پلیمریزاسیون (DP) مشخص می‌شود که معمولاً در محدوده ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ واحد تکرارشونده قرار دارد (USDA-Foreign Agricultural Service, 2024). آرایش فضایی این زنجیره‌ها به دو

1. Dimensional uniformity
2. Process stability
3. Molecular level

صورت نواحی بلورین[1] با نظم و تراکم بالا و نواحی آمورف[2] با ساختار بی‌نظم و نامنظم، سازماندهی می‌شود. نسبت میان این دو ناحیه، تأثیر مستقیمی بر خواص کلیدی لیف مانند استحکام، انعطاف‌پذیری و قابلیت جذب دارد.

۲. **سطح میکروفیبریل**[3]: در سطح بعدی، حدود ۵۰ تا ۱۰۰ زنجیره پلیمری در کنار یکدیگر تجمع‌یافته و واحدهای ساختاری استوانه‌ای شکلی به نام میکروفیبریل را به‌وجود می‌آورند. این واحدها که قطری در محدوده ۳ تا ۱۰ نانومتر دارند، خود ترکیبی از نواحی بلورین و آمورف هستند و به‌عنوان بلوک‌های سازنده اصلی در ساختار الیاف عمل می‌کنند.

۳. **سطح فیبریل**[4]: میکروفیبریل‌ها نیز به نوبه خود در دسته‌های بزرگ‌تری با یکدیگر ترکیب شده و ساختارهای ضخیم‌تری به‌نام فیبریل را تشکیل می‌دهند. فیبریل‌ها با قطری بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر (۰/۱ تا ۱/۰ میکرومتر)، اولین واحدهای ساختاری هستند که با میکروسکوپ نوری قابل مشاهده‌اند (حقیقت‌کیش و افشاری، ۱۳۹۵). چگالی این واحدها معمولاً بین ۱/۲ تا ۱/۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب بوده و طول آن‌ها چندین برابر قطرشان است (Simpson, & Crawshaw, 2002). آرایش فیبریل‌ها درون لیف بسیار حائزاهمیت است؛ برای مثال، در الیاف سلولزی مانند پنبه، فیبریل‌ها در لایه‌های متحدالمرکز قرار دارند، درحالی‌که در الیاف پروتئینی مانند پشم، آن‌ها در ساختار کورتکس به‌صورت تقریباً موازی و با زاویه‌ای مشخص نسبت به محور طولی لیف آرایش می‌یابند که این زاویه مستقیماً بر مدول الاستیک و سختی لیف تأثیرگذار است.

۴. **سطح لیف**[5]: درنهایت، لیف کامل که واحد بنیادین در صنعت نساجی است، از تجمع هزاران فیبریل تشکیل می‌شود و قطری در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر دارد. براساس تعریف استاندارد ASTM D123، لیف به واحدی از ماده گفته می‌شود که نسبت طول به عرض آن حداقل ۱۰۰:۱ بوده و قابلیت ریسیده‌شدن و تبدیل به نخ را داشته باشد. الیاف براساس ویژگی‌های کلیدی مانند طول (الیاف کوتاه یا Staple با طول ۱۰–۶۵ میلی‌متر و الیاف بلند با طول ۶۵–۲۰۰ میلی‌متر)، قطر (معمولاً ۱۰–۵۰ میکرومتر برای الیاف طبیعی)

1. Crystalline regions
2. Amorphous regions
3. Microfibril level
4. Fibril level
5. Fiber level

و استحکام کششی (که بسته به نوع لیف بین ۱۰ تا ۸۰ سانتی‌نیوتن بر تکس متغیر است) طبقه‌بندی می‌شوند (Morton & Hearle, 2008)

این الیاف در فرایند ریسندگی به نخ (Yarn) تبدیل می‌شوند. نخ ساختاری خطی است که از تابیدن الیاف منقطع (Staple) به دور هم یا موازی‌سازی الیاف یکسره (Filament) به‌دست می‌آید و با خصوصیاتی مانند نمره نخ (معمولاً ۱۰–۱۰۰ تکس)، میزان تاب (۱۰۰–۱۵۰۰ دور در متر) و استحکام (۵–۵۰ سانتی‌نیوتن بر تکس) مشخص می‌گردد (Cook, 2001). برای کاربردهایی که به استحکام بسیار بالا نیاز دارند، چندین رشته نخ به یکدیگر تابیده شده و ریسمان[1] را می‌سازند که قطری بین ۲ تا ۵۰ میلی‌متر و استحکام شکست ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ نیوتن دارد (Rippon, 2011؛ شیندلر، دبلیو. دی. ۱۴۰۱).

این ساختار سلسله‌مراتبی به‌طور مستقیم خواص نهایی لیف را کنترل می‌کند: خواص مکانیکی نظیر استحکام کششی به‌میزان بلورینگی و جهت‌گیری مولکولی، مدول الاستیک به زاویه آرایش فیبریل‌ها، و ازدیاد طول تا پارگی به درصد نواحی آمورف بستگی دارد (Feughelman, 1997). به‌طور مشابه، خواص جذبی مانند رطوبت‌پذیری به تعداد گروه‌های عاملی هیدروفیل (آبدوست) و قابلیت جذب مواد رنگزا و شیمیایی به‌میزان تخلخل و دسترسی‌پذیری مولکولی در نواحی آمورف مرتبط است (Hearle, 2002).

۱–۳–۱ نقش ساختار سلسله‌مراتبی در خواص الیاف[2]

ساختار سلسله‌مراتبی الیاف، از آرایش مولکولی گرفته تا تجمع فیبریل‌ها، به‌طور مستقیم و تعیین‌کننده‌ای خواص نهایی آن‌ها را شکل می‌دهد. درک این ارتباط برای مهندسی و انتخاب الیاف با عملکرد مطلوب ضروری است. این تأثیرات را می‌توان در دو دسته اصلی خواص مکانیکی و خواص جذب بررسی کرد.

الف) تأثیر بر خواص مکانیکی: رفتار مکانیکی یک لیف حاصل برهم‌کنش پیچیدهٔ نواحی بلورین و آمورف آن است.

- **استحکام کششی**[3]: این ویژگی مستقیماً به میزان تراز مولکولی[4] و درجه بلورینگی[5]

1. Rope
2. Role of hierarchical structure in fiber properties
3. Tensile strength
4. Molecular orientation
5. Degree of crystallinity