تکنولوژی نساجی

بررسی اثر تثبیت حرارتی بر خواص نخ تایر هیبریدی

زهرا مهدوی‌پور[1] | محمد کریمی[2]

چکیده

در این پژوهش، جهت دستیابی به نخ تایری با راندمان بیشتر نسبت به نخ تایرهای متداول، رسن هیبریدی متشکل از دو نخ تک‌لای نایلون ۶/۶ و پلی‌استر تهیه شد و عملیات تثبیت حرارتی روی آن انجام گرفت. در عملیات تثبیت حرارتی، برای پارامتر زمان مقادیر ۲،۱ و ۵ دقیقه و پارامتر دما ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد.

برخی خصوصیات مهم نخ از جمله خواص مکانیکی، جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد، خواص کششی رسن هیبریدی، ترکیب بهینه‌ای از خصوصیات دو نخ نایلون و پلی‌استر است، به‌گونه‌ای‌که با افزایش ازدیاد طول، مدول نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، با افزایش دمای تثبیت؛ استحکام، مدول، جمع‌شدگی آزاد و نیروی جمعشدگی رسن کاهش یافت. زمان تثبیت حرارتی در دمای ۲۲۰ درجه سانتیگراد نیز بر استحکام نمونه‌ها اثر گذار بود و افزایش این پارامتر باعث کاهش جمع‌شدگی آزاد و نیروی جمع‌شدگی در نخ‌ها گردید.

۱- مقدمه

نخ مصرفی در ساختمان داخلی تایر، اسکلت و استخوان‌بندی آن را تشکیل می‌دهد به طوری که درصد قابل توجهی از بار وارده بر تایر را تحمل می‌نماید. طی سال‌های گذشته، الیاف نایلون و پلی‌استر بیشترین درصد تولید نخ تایر را در دنیا به خود اختصاص داده‌اند.

الیاف پلی‌استر دارای استحکام مناسب، ثبات ابعادی و پایداری خوب و مدول زیاد، خزش، مقاومت خستگی و چسبندگی (به آمیزه لاستیکی) کم است. الیاف نایلون ۶،۶ چسبندگی، استحکام و مقاومت خستگی بهتری نسبت به پلی‌استر دارد؛ اما ثبات ابعادی آن از پلی‌استر کمتر است. با توجه به خصوصیات دو نخ نایلون و پلی‌استر، می‌توان انتظار داشت رسن هیبریدی پلی‌استر/ نایلون خصوصیات مطلوب هر دو نخ را نشان دهد؛ اگر چه تنظیم تاب، طول اضافی هر نخ در رسن و نمره نخ نیز نقش موثری در بروز خصوصیات مطلوب خواهد داشت.

آیتک و همکاران، خصوصیات ۹ نمونه نخ تایر با میزان تاب‌های متفاوت را مورد سنجش قرار داده و دریافته‌اند برای دستیابی به بیشترین استحکام، باید تاب پلی‌استر بیشتر یا مساوی نایلون باشد؛ همچنین بهترین نتیجه تست خستگی زمانی حاصل میشود که تاب نخ پلی‌استر و رسن زیاد است. جمع‌شدگی نمونه هیبریدی در محدوده جمع‌شدگی هر یک از نخ‌های پلی‌استر و نایلون است.

در زمینه تثبیت حرارتی نخ تایر، رث ۲ و همکاران، اثر تثبیت حرارتی بر خصوصیات نخ تایرپلی‌استری از جمله جمع‌شدگی و خواص مکانیکی را مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دمای تثبیت؛ درصد کریستالی، انرژی گسیختگی، ازدیاد طول و جمع‌شدگی افزایش و استحکام و مدول کاهش می‌یابد. پژوهشی مشابه برای نایلون ۶ توسط همین گروه نویسندگان نیز انجام گرفته است.گوپتا و همکاران، در مقاله دیگری، عملیات تثبیت حرارتی الیاف را مورد تجزیه و تحلیل قرارداده و به دماهای انتقال پلیمر و پایداری تثبیت انجام شده می‌پردازند.

وود و همکاران تغییرات طولی بر اثر حرارت، تخریب حرارتی و برخی اثرات دیگر حرارت را مورد بررسی قرار داده و سپس تغییرات درصد و نیروی جمع‌شدگی نایلون در دماهای مختلف را ذکر کرده‌اند.

در این پژوهش؛ اثر تثبیت حرارتی بر خواص نخ تایر هیبریدی نایلون ۶۶/ پلی‌استر بدون پوشش، بررسی شده است. برای این منظور، دما و زمان تثبیت حرارتی به ترتیب در محدوده ۱۸۰-۲۲۰°C و ۵-۱ دقیقه تغییر داده شده است. در انتها خواصی همچون استحکام، درصد جمع شدگی و نیروی جمع شدگی نخ پس از تثبیت در شرایط مختلف، مورد آزمون قرار گرفته است.

جدول ۱- نتایج اختلاف طول اجزای رسن (طول اجزای رسن در یک متر نمونه هیبرید)

طول نایلون (cm)	۱۰۱/۵
طول پلی استر (cm)	۱۰۶/۹

۲- تجربیات

۲-۱- مواد

دو نمونه نخ تایر پلی‌استر و نایلون ۶۶ بدون تاب، به ترتیب با نمره نخ‌های ۱۶۷۰ و ۱۴۰۰ دسی‌تکس از مجتمع تولیدی نخ تایر صبا خریداری شد. سپس نخ تایر هیبریدی متشکل از دو جز نایلون و پلی‌استر تهیه گردید. جهت تحقق این هدف، دو نخ نایلون و پلی‌استر با تاب ۳۰۰ tpm ، دولاتابی و نخ هیبریدی ۳۲۰۰ دسی‌تکس تولید شد.

۲-۲- تثبیت حرارتی

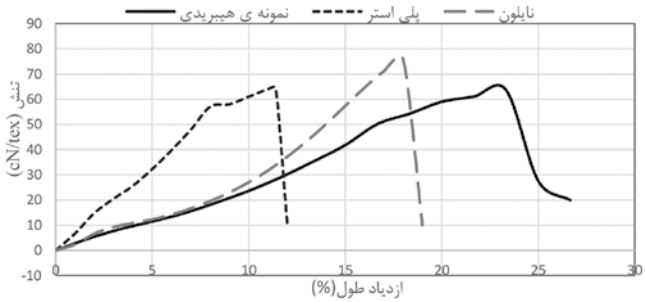
نمونه‌ها در سه دمای ۱۸۰ ، ۲۰۰ و ۲۲۰°C به مدت زمان ۱، ۲ و ۵ دقیقه تحت تنش gf/den ۰/۱ در آون حرارتی قرار داده شدند (با وجود دو پارامتر دما و زمان و سه سطح تغییرات، مجموعاً نمونه تثبیت شده حاصل گردید.) برای این منظور، از یک قاب با یک فک متحرک استفاده شد. پس از قرارگیری نمونه‌ها در قاب، جهت اعمال تنش gf/ den ۰/۱، ازدیاد طول موردنظر ایجاد شده و در حالت طول ثابت در آون قرار گرفتند.

۲-۳- خواص مکانیکی

جهت اندازه‌گیری خواص مکانیکی نخ تایر هیبریدی، از دستگاه اینسترون (Instron TM-SM) استفاده شد. فاصله بین دو فک cm ۲۵و سرعت حرکت فک متحرک نیز mm/min ۳۰۰ انتخاب گردید.

۲-۴- جمع‌شدگی

بر طبق استاندارد ASTM D885، میزان جمع‌شدگی رسن با اندازه‌گیری اختلاف طول اولیه و نهایی تحت نیروی den/gf ۰/۱محاسبه می‌شود؛ طول نمونه نهایی پس از اعمال حرارت در دمای ۱۷۷°C به مدت زمان ۲ دقیقه اندازه‌گیری می‌گردد. در این آزمون نمونه تحت کشش اولیه ۱۰/ درصد قرار داده شد و دمای آن از ۲۵°C تا ۲۵۰°C افزایش یافت. نیروی ناشی از تمایل به جمع شدن رسن برحسب N/tex در دماهای مختلف گزارش گردید.



شکل ۱- مقایسه نمودارهای تنش-کرنش نخ هیبریدی ثبیت حرارتی شده در دمای ۱۸۰°C به مدت ۵ دقیقه با نمودارهای نخ‌های تک‌لای بدون تثبیت

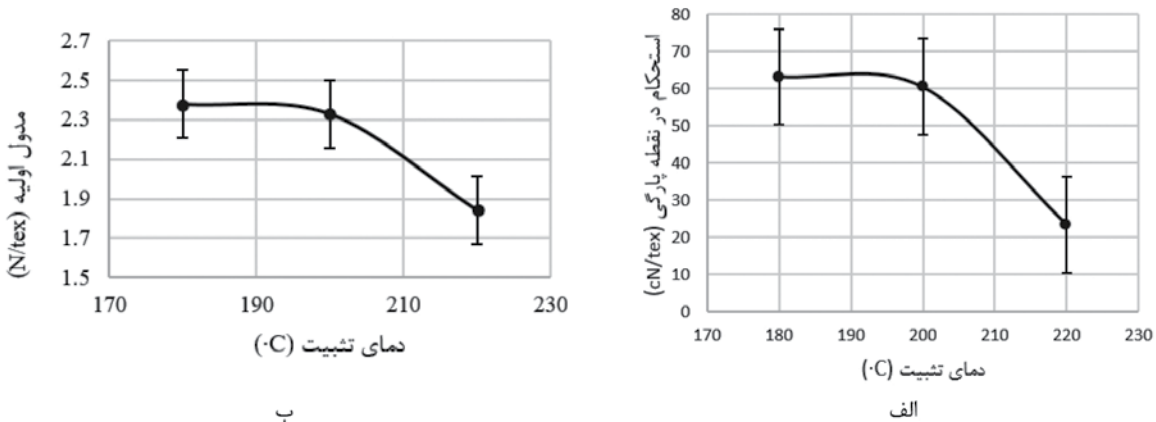
۳- بحث و نتایج

۳-۱- اختلاف طول رسن

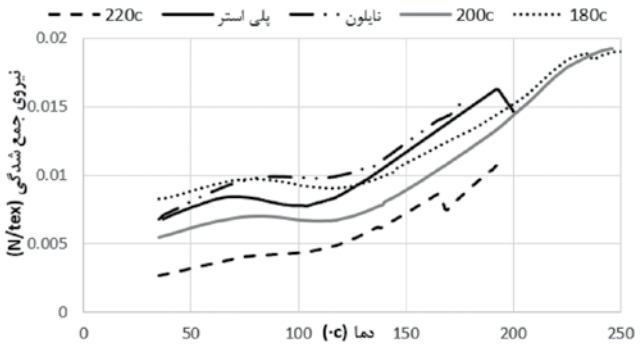
جدول ۱ نتایج اندازه‌گیری طول اجزای یک متر رسن هیبریدی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نخ پلی‌استر با ۶/۹ درصد و نخ نایلون ۶۶ با ۱/۵ درصد طول بیشتر در ساخت یک متر نخ هیبرید مشارکت داشته‌اند؛ در واقع سهم طولی نخ نایلون ۶۶ نسبت به نخ پلی‌استر کمتر است. نسبت چنبرش در رسن هیبرید ۳۶ درصد است که نشان از پیچش قابل توجه نخ پلی‌استر در اطراف نخ نایلون می‌باشد. دلیل این امر، خواص مکانیکی و سطحی متفاوت نخ‌های به‌کارگرفته شده در ساخت رسن هیبریدی است.

۳-۲- اثر تثبیت حرارتی بر خواص مکانیکی

در شکل ۱ نمودار تنش – ازدیاد طول نخ هیبریدی تثبیت شده در



شکل ۲- تغییرات خواص مکانیکی با تغییر دمای تثبیت حرارتی



شکل ۳- منحنی‌های نیروی جمع‌شدگی- دما

دمای ۱۸۰°C به مدت ۵ دقیقه، با نمودار نخ‌های تک‌لای پلی‌استر و نایلون مقایسه می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، شیب در قسمت ابتدایی منحنی تنش- ازدیاد طول رسن هیبریدی مشابه شیب منحنی نایلون است و با افزایش ازدیاد طول، مدول یانگ افزایش می‌یابد. در واقع در ابتدای بارگذاری، نایلون درگیر نیرو بوده و با افزایش ازدیاد طول و درگیر شدن پلی‌استر، مدول افزایش می‌یابد.

افزایش دمای فرایند تثبیت حرارتی باعث کاهش استحکام نمونه‌ها می‌شود. (شکل ۲- الف) در دمای ۲۲۰°C نیز با افزایش زمان تثبیت، استحکام نمونه‌ها کاهش یافته است؛ همچنین با افزایش دمای تثبیت، مدول یانگ کاهش (شکل ۲- ب) و ازدیاد طول در نیروی ثابت (EASI) افزایش می‌یابد. تغییرات ذکر شده براساس تا خوردن زنجیره‌های پلیمری یا بلوری شدن در اثر حرارت، به وجود می‌آیند. اگر در زنجیره‌های پلیمری، جمع‌شدگی یا تا خوردگی رخ دهد؛ در اثر اعمال تنش در انجام آزمون استحکام، زنجیره‌های جمع شده تمایل به باز شدن دارند و موجب ازدیاد طول بیشتر در نمونه‌ها می‌شوند . افزایش ازدیاد طول نیز به معنای کاهش مدول است. استحکام نیز به تعداد زنجیره‌های کشیده شده در سطح مقطع لیف بستگی دارد. در اثر جمع‌شدگی، تعداد زنجیره‌های پلیمری کشیده شده کاهش و در نتیجه استحکام نیز کاهش می‌یابد.

۳-۳- اثر تثبیت حرارتی بر جمع‌شدگی

نتایج تست جمع‌شدگی حرارتی نخ تایرهیبریدی به شرح ذیل است:

جدول ۲- میزان جمع‌شدگی اندازه‌گیری شده پس از تثبیت حرارتی (۱۷۷ دقیقه-۲°C)

دما(c۰) / زمان(دقیقه)	۱۸۰	۲۰۰	۲۲۰
۱	۲/۰۷	۱/۴۱	۱/۲
۲	۲/۷۵	۱/۰۶	۰/۹۱
۵	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۵۱

از جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دما و زمان تثبیت، میزان جمع‌شدگی کاهش می‌یابد. الیاف ترموپلاستیک همچون نایلون و پلی‌استر در اثر اعمال حرارت تمایل به جمع‌شدگی دارند. تغییر ساختار بلوری لیف در اثر حرارت موجب این امر می‌شود. پس از اعمال حرارت مجدد به لیف، ساختار جدید تغییر چندانی نخواهد داشت و جمع‌شدگی باقیمانده، بر اثر تغییر درصدی از ساختار است که در مرحله اول تغییری نداشته است. همچنین منحنی نیروی جمع‌شدگی بر حسب دمای نمونه‌های مختلف در شکل ۳ قابل مشاهده است.

نیروی جمع‌شدگی نایلون بیشتر از پلی‌استر است و ضمن افزایش دما، نیروی جمع‌شدگی افزایش و با افزایش دمای تثبیت، کاهش می‌یابد. افزایش نیروی جمع‌شدگی بر اثر افزایش دما، به این علت است که زنجیره‌های پلیمری در دماهای بالاتر، تمایل بیشتری برای تاخوردگی دارند؛ لذا نیروی بیشتری برای ماندن در وضعیت ثابت نیاز است. علت کاهش نیروی جمع‌شدگی ضمن افزایش دمای تثبیت حرارتی، این است که در اثر تثبیت در دماهای بالا، تغییرات ساختاری در پلیمرها تا حدی رخ داده‌است و بر اثر اعمال حرارت مجدد در حین این آزمون، تمایل به جمع شدن کمتر بوده، نیروی جمع‌شدگی کاهش می‌یابد.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نخ‌های تک‌لای پلی‌استر و نایلون توسط دستگاه تاب، دولاتابی شدند. تاب ایجاد شده به نحوی است که طول پلی‌استر در یک متر رسن هیبریدی بیشتر از نایلون است. عملیات تثبیت حرارتی، به مدت زمان ۲،۱ و ۵ دقیقه و دمای ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰°C درجه سانتیگراد به نمونه‌ها اعمال شد. آزمون‌های استحکام، میزان جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی انجام گردید. رفتار مکانیکی رسن هیبریدی، به گونه‌ای است که با افزایش ازدیاد طول، مدول نیز افزایش می‌یابد. استحکام در نقطه پارگی و مدول با افزایش دمای تثبیت، کاهش یافت. دلیل کاهش استحکام و مدول را می‌توان تاخوردگی زنجیره‌ها و تغییر در ساختار بلوری الیاف دانست؛ همچنین میزان جمع‌شدگی در اثر افزایش دما و زمان تثبیت حرارتی کاهش یافت. با افزایش دما، نیروی جمع‌شدگی افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش تمایل زنجیره‌های پلیمری برای تا خوردن و جمع شدن در دماهای بالاتر است. با افزایش دمای تثبیت، نیروی جمع‌شدگی نیز کاهش پیدا کرد.

پی‌نوشت:

۱- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر