تأثیر تثبیت حرارتی پلی‌پروپیلن بر خواص بازگشت‌پذیری فرش خابدار تحت بارهای استاتیکی

فاطمه تقی‌پور[1] | محمد قانع[1] | سعید طالبیان[1]

چکیده

در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای از نخ‌های BCF پلی‌پروپیلن به عنوان نخ خاب و به عنوان بهترین جایگزین نخ‌های اکریلیکی یا پشمی در فرشهای ماشینی استفاده شده است. خواص فشارپذیری فرش، عمدتاً متأثر از خواص فیزیکی نخ خاب مورد مصرف می‌باشد. هدف از انجام این مطالعه، بررسی اثر تثبیت حرارتی PP بر خواص بازگشت‌پذیری فرش (خابدار) تحت بارهای استاتیکی است. عملیات تثبیت حرارتی به همراه فریز با هدف ایجاد ارتجاعیت و جلوه‌های خاص در فرش ماشینی انجام می‌شود. در این تحقیق، خواص فشارپذیری فرش‌های تهیه شده از نخها، تحت بارهای استاتیکی اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دمای تثبیت حرارتی نمره نخ و میزان جمعشدگی موج نخ برای نخ‌های تثبیت شده افزایش می‌یابد، در حالیکه جمع‌شدگی، مدول اولیه و ازدیاد طول نخ‌هایی که تحت مراحل افزایش دما در تثبیت حرارتی قرار گرفته‌اند کاهش می‌یابد. به علاوه، با افزایش دمای تثبیت حرارتی ضخامت اولیه فرش و الاستیسیته فرش افزایش پیدا میکند. با افزایش فشار بخار، میانگین کاهش ضخامت میزان فشردگی کاهش پیدا میکند و فشار بخار بر روی سایر پارامترها بی‌تأثیر است. با افزایش تغذیه اضافی تنها استحکام نخ کاهش پیدا می‌کند. تغذیه اضافی بر روی سایر پارامترهای فشارپذیری فرش و خواص فیزیکی مکانیکی نخ‌ها بی‌تأثیر می‌باشد.

۱- مقدمه

امروزه به‌طور وسیعی از الیاف پلی‌پروپیلن به دلیل کیفیت مناسب و هزینه تولید پایین به عنوان یک جایگزین مناسب برای الیاف پشم، هم به‌صورت مخلوط با سایر الیاف و هم به شکل خالص به ویژه به صورت نخ BCF در صنعت فرش‌بافی استفاده می‌شود. لیف پلی‌پروپیلن (PP) در مقایسه با سایر الیاف، به‌ویژه پشم دارای جهندگی کمتری است. این خصوصیت در مواردا‌ستفاده خاص مانند نخ خاب در فرش ماشینی اهمیت بسیاری پیدا می‌کند. امروزه الیاف PP، با سطح مقطع دایره‌ای یا سه‌پره‌ای و یا به شکل توخالی و با هدف اصلی بهبود بخشیدن جهندگی آن تولید می‌گردند. این الیاف با داشتن حجم بیشتر، خواص ظاهری و قدرت پوشانندگی مطلوب‌تری خواهند داشت. فرآیند تثبیت حرارتی که به منظور ایجاد ثبات ابعادی در کالای نساجی و بهبود خواص مختلف آن صورت می‌گیرد، سبب تغییر در تبلور لیف، آرایش جدید زنجیرها و ... می‌گردد.

این تغییرات اعمال شده در ساختمان داخلی الیاف باعث به‌وجود آمدن تغییراتی در خواص آنها از جمله خواص رنگرزی، خصوصیات موج (برگشت‌پذیری، حجم موج و ...)، تثبیت شدن تاب نخ‌ها و ... می‌شود.

سرکشیک و همکارانش تأثیر پارامترهای دما و زمان بر ویژگی‌های نخ BCF پلی‌پروپیلن را موردمطالعه و آزمایش قرار دادند. نتایج حاصل از آزمایشات آنها بیان می‌کند که عملیات تثبیت حرارتی سبب کاهش استحکام ویژه نخ‌های BCF می‌گردد. بر اساس نتایج حاصل، برخلاف استحکام ویژه، شرایط تثبیت حرارتی به خصوص دما در میزان کاهش مدول اولیه نخ‌ها تأثیر چشمگیرتری را داراست.

بر طبق این تحقیقات دو عامل زمان و دما در طی عملیات تثبیت حرارتی سبب کاهش جمع‌شدگی نخ‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای می‌شود، که این مورد مشابه یافته‌های میلر برای نخ‌های BCF نایلون است. همچنین بر اساس نمودارهای به دست آمده برای تغییرات برگشت‌پذیری نخ‌های BCF تثبیت حرارتی شده به مدت ۹۰ ثانیه در برابر دما، مشاهده شده که این فرآیند تأثیری مثبت بر روی برگشت‌پذیری نخ BCF پلی‌پروپیلن داشته است. نتایج حاصل از WAXS3 نشان می‌دهد که با افزایش درجه حرارت، شاخص تبلور افزایش می‌یابد. از این تغییرات می‌توان دریافت که فرآیند تثبیت حرارتی بر روی ساختمان مولکولی نخ‌های BCF تغییر ایجاد می‌کند و عموماً عملیات تثبیت حرارتی سبب ساختاربندی یا تبلور مجدد می‌شود که نتیجه آن درجه تبلور بالاتر (تبدیل برخی از قسمت‌های آمورف به قسمت‌های بلورین) و آرایش‌یافتگی بهتر بلورهای کوچک در نخ می‌شود. یغمایی بر روی تأثیر برخی پارامترهای فریز بر روی خواص فیزیکی مکانیکی نخ - BCF پلی‌پروپیلن مطالعه کرد.

بررسی نتایج اندازه‌گیری شده نشان داد که با افزایش فشار محفظه فشاری جمع‌شدگی موج و در نتیجه آن، حجم نخ و خاصیت ارتجاعی افزایش می‌یابد و در نتیجه ظاهری مجعدتر با افکت‌های بیشتر مهیا می‌گردد. اما در مقابل، کاهش در میزان استحکام و مدول، با افزایش فشار مشاهده شد. استحکام و مدول برای نخ‌هایی که تحت فرآیند فریز قرار نگرفته بودند بیشتر از بقیه نمونه‌ها بود. فشارپذیری؛ درواقع بررسی چگونگی تغییر ضخامت یا حجم ماده به علت تغییر نیرو یا فشار عمودی وارد بر سطح ماده است. نیروهای وارده بر فرش در طی مصرف شامل نیروهای استاتیکی (مانند نیروی وارد از سوی پایه‌های مبلمان) و دینامیکی (مانند نیروی ناشی از راه رفتن روی فرش) می‌باشند. یکی از تأثیرات این نیروها بر روی فرش، کاهش قابلیت ارتجاعی فرش (قدرت بازگشت‌پذیری به حالت اولیه با گذشت زمان) است. پارامترهای فشارپذیری شامل انرژی فشردگی WC، انرژی برگشت‌پذیری W'C، خاصیت ارتجاعی RC و فاکتور فشارپذیری EMC هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$WC = \int_{Tor}^{Tm} Pdt \quad (۱)$$

$$W'C = \int_{Tm}^{Tor} Pdt \quad (۲)$$

$$RC = \frac{WC}{W'C} \quad (۳)$$

$$EMC = 1 - \frac{Tm}{Tor} \quad (۴)$$

T_{OR} ضخامت اولیه فرش، T_m ضخامت فرش در بیشترین فشار و P تابع فشار می‌باشد.

۱- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- تجربیات

تمامی نمونه‌های بافته شده به‌طور همزمان با هم و به‌صورت موازی تولید گردیدند تا از هرگونه اختلافی در مرحله تولید جلوگیری به عمل آید. جدول ۱-۲ نشان‌دهنده مشخصات ساختاری فرش‌های بافته شده است. جهت اندازه‌گیری میزان کاهش ضخامت فرش‌های تولید شده مطابق با استاندارد ISO 3416 با استفاده از دستگاه بارگذاری استاتیکی نمونه‌هایی به ابعاد ۱۰۰mm×۱۰۰mm تهیه شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت تحت شرایط آزمایشگاهی قرار گرفتند. پس از آن تحت فشار ۷۰۰ کیلوپاسکال به مدت ۲۴ ساعت تحت بارگذاری استاتیک قرار گرفتند. فشار استاندارد اندازه‌گیری ضخامت قبل از بارگذاری KPa ۲ و زمان‌های اندازه‌گیری ضخامت ۲دقیقه، ۱ ساعت و ۲۴ ساعت بعد از برداشتن بار بود. این اندازه‌گیری ۵ بار برای هر نمونه فرش تکرار شد. ضخامت فرش‌ها طبق استاندارد ISO 1765 توسط دستگاه ضخامت‌سنج اندازه‌گیری شد. میانگین کاهش ضخامت برای هر یک از نمونه‌ها طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$\%\Delta D = \frac{Do-Di}{Di} \times 100 \quad (۵)$$

که $\%\Delta D$ میانگین کاهش ضخامت به درصد، D_0 میزان ضخامت اولیه فرش و D_i ضخامت‌های اندازه‌گیری شده در دوره‌های ۲ دقیقه، ۱ ساعت و ۲۴ ساعت پس از برداشتن بار می‌باشد. علاوه بر میانگین کاهش ضخامت، سایر پارامترهای فشارپذیری فرش بر اساس روش نیهات و همکارانش محاسبه شد.

آنها برای بررسی نتایج استاتیکی فرش ها ۴ پارامتر کلی شامل میزان فشردگی S، میزان تغییر شکل پایدار D_p، میزان الاستیسیته پس از بازگشت‌پذیری به مدت ۲۴ ساعت E و میزان بازگشت‌پذیری در هر دوره بازگشت‌پذیری R را به صورت زیر تعریف کردند:

جدول ۱- مشخصات ساختاری نمونه فرش‌های تولید شده

جنس نخ تار سفت بافت	پنبه- پلی‌استر
نمره نخ تار سفت بافت	۲۰/۵ انگلیسی
جنس نخ تار شل بافت	فیلامنت پلی‌پروپیلن
نمره نخ تار شل بافت	۱۴۰۰ دنیر
جنس نخ پود	جوت
نمره نخ پود	LBS ۱۶ وزن (lbs) ۱۴۴۰۰ یارد نخ بر حسب پوند است.)
تراکم تار در متر (نمره شانه)	۳۰۰
تراکم پودی	۱۰۰۰
ارتفاع خاب (تنظیم شده روی ماشین)	۱۳ میلی‌متر

جدول ۲- نتایج حاصل از بارگذاری استاتیکی

کد نمونه	میانگین ضخامت اولیه (mm)	میانگین کاهش ضخامت برای ۲ دقیقه(٪)	میانگین کاهش ضخامت برای ۱ ساعت(٪)	میانگین کاهش ضخامت برای ۲۴ ساعت (٪)
A1	۱۲/۵۸	۵۵/۱۱	۴۵/۱۷	۳۳/۷۹
A2	۱۲/۵۶	۵۲/۹۳	۴۳/۶۸	۳۰/۸۶
A3	۱۲/۵۰	۵۳/۰۲	۴۲/۵۳	۳۱/۰۱
A4	۱۲/۳۲	۵۲/۳۷	۴۳/۰۵	۲۸/۸۲
A5	۱۲/۷۴	۵۵/۲۹	۴۵/۲۹	۳۰/۲۱
A6	۱۳/۰۴	۵۰/۵۱	۳۹/۷۱	۲۸/۷۰
A7	۱۳/۶۶	۵۲/۱۳	۴۲/۷۹	۳۰/۰۶
A8	۱۳/۰۷	۵۲/۶۷	۴۲/۱۴	۳۰/۴۴
A9	۱۳/۰۵	۵۲/۱۴	۴۲/۲۲	۲۹/۰۶
A10	۱۳/۸۱	۵۰/۶۶	۴۰/۷۸	۲۷/۰۵
A11	۱۳/۶۲	۵۲/۱۳	۴۱/۱۲	۲۷/۸۸
A12	۱۳/۰۸	۵۰/۵۳	۴۰/۳۱	۲۶/۴۹
A13	۱۳/۳۶	۵۱/۹۶	۴۱/۹۷	۲۹/۰۳
A14	۱۳/۵۱	۵۱/۷۳	۴۱/۷۹	۲۷/۷۹
انحراف معیار	۰/۴۷۸	۱/۴۵۱	۱/۶۳۴	۱/۸۸۴
نمونه شاهد	۱۲/۳۰	۵۰/۸۹	۴۰/۸۹	۲۷/۷۸

$$\delta = h_o - h \quad (۶)$$

$$\delta_s = h_o - h_1 \quad (۷)$$

$$\delta_p = h_o - h_3 \quad (۸)$$

$$\delta_R = h - h_1 \quad (۹)$$

$$h_1 = \delta / h_o \times 100 \quad (۱۰)$$

$$S = \delta_s / h_o \times 100\% \quad (۱۱)$$

$$D_p = \delta_p / h_o \times 100\% \quad (۱۲)$$

$$E = \delta_E / \delta_s \times 100\% \quad (۱۳)$$

$$R = \delta_R / \delta_s \times 100\% \quad (۱۴)$$

که h ضخامت متوسط اندازه‌گیری شده پس از بازگشت پذیری بعد از حذف بارگذاری استاتیکی، h_o ضخامت متوسط اولیه فرش در فشار استاندارد ۲ KPa قبل از بارگذاری استاتیکی، h_1، h_2 و h_3 ضخامت متوسط اندازه‌گیری شده پس از بازگشت‌پذیری به مدت به ترتیب ۲ دقیقه، ۱ ساعت و ۲۴ ساعت است. δ تفاوت بین ضخامت اولیه و ضخامت اندازه‌گیری شده پس از بازگشت‌پذیری، δ_S و δ_P تفاوت بین ضخامت اولیه و ضخامت اندازه‌گیری شده پس از بازگشت‌پذیری به‌مدت به‌ترتیب ۲ دقیقه و ۲۴ ساعت می‌باشد. δ_E تفاوت بین بازگشت‌پذیری ضخامت بعد از ۲۴ ساعت و ۲ دقیقه است. δ_R تفاوت بین بازگشت‌پذیری ضخامت در هر دوره بازگشت‌پذیری و ضخامت بعد از بازگشت‌پذیری به مدت ۲ دقیقه می‌باشد.

۳- بحث و نتایج

در جدول بالا که نتایج حاصل از بارگذاری استاتیکی بر روی نمونه‌ها را نشان می‌دهد درصدهای R_1، R_2 و R_3 درصد بازگشت‌پذیری پس از به ترتیب ۲ دقیقه، ۱ ساعت و ۲۴ ساعت می‌باشد. طبق مشاهدات، ضخامت اولیه فرش‌ها بر اثر عملیات تثبیت حرارتی و تحت تأثیر افزایش دما (به دلیل تغییرات ساختاری ایجاد شده در نخ‌ها) افزایش می‌یابد. با بررسی میانگین کاهش ضخامت بعد از ۲ دقیقه می‌توان دریافت که نتایج حاصل تفاوت معنی‌داری ندارند، زیرا ۲ دقیقه زمان کافی برای برگشت به حالت اولیه نمی‌باشد. در حالی که با بررسی نتایج این تحقیق و سایر مطالعات صورت گرفته، میانگین کاهش ضخامت پس از ۱ ساعت تحت تأثیر دما و فشار در طول عملیات تثبیت حرارتی، کاهش میابد. همچنین دما، فشار و نیز اثر توأم این دو پارامتر موجب کاهش میانگین کاهش ضخامت پس از ۲۴ ساعت میگردند و این به این معنی است که با افزایش دمای تثبیت حرارتی، بازگشت پذیری به حالت اولیه بهبود پیدا کرده است. با توجه به نتایج حاصل، افزایش پارامترهای دما و فشار در کاهش میزان فشردگی تأثیر معنادار داشته است. همچنین با افزایش دما، میزان تغییر شکل D_p کاهش می‌یابد، چون با افزایش دما میزان جمع‌شدگی و در نتیجه میزان تغییر شکل کاهش می‌یابد. با بررسی نتایج حاصل می‌توان دریافت که با افزایش دمای تثبیت حرارتی، الاستیسیته E و نیز بازگشت پذیری پس از ۲۴ ساعت (R_3٪) افزایش پیدا کرده است.

٤- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان داد که با افزایش دما، نمره نخ و میزان جمع‌شدگی موج نخ افزایش می‌یابد، در حالی که جمع‌شدگی، مدول اولی و ازدیاد طول نخ‌ها کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دما، ضخامت اولیه و الاستیسیته فرش افزایش پیدا می‌کند، در حالی که میانگین کاهش ضخامت بعد از ۱ساعت و ۲۴ ساعت و میزان تغییر شکل و نیز میزان فشردگی، روند کاهشی پیدا می‌کنند.

جدول ۳- نتایج حاصل از D_p، E و R و نیز R_1، R_2 و R_3 بدست آمده از بارگذاری استاتیکی

کد نمونه	(٪)S	(٪) DP	(٪)E	(٪) R1	(٪) R2	(٪) R3
A1	۵۵/۰۲	۳۱/۷۱	۴۲/۵۹	۰	۱۸/۱۳	۴۲/۵۹
A2	۵۲/۸۵	۳۰/۸۳	۴۱/۶۶	۰	۱۷/۵۵	۴۱/۶۶
A3	۵۲/۹۸	۳۰/۹۷	۴۱/۵۵	۰	۱۹/۹۹	۴۱/۵۵
A4	۵۲/۳۶	۲۸/۷۸	۴۵/۱۰	۰	۱۷/۸۷	۴۵/۱۰
A5	۵۵/۱۴	۳۰/۹۷	۴۴/۰۵	۰	۱۸/۱۹	۴۴/۰۵
A6	۵۰/۵۱	۷۰/۲۸	۴۳/۲۶	۰	۲۱/۴۲	۴۳/۲۶
A7	۵۲/۰۹	۳۰/۰۱	۴۲/۴۶	۰	۱۷/۹۵	۴۲/۴۶
A8	۵۲/۶۹	۳۰/۴۵	۴۲/۲۰	۰	۲۰/۰۴	۴۲/۲۰
A9	۵۲/۱۰	۲۹/۰۲	۴۴/۳۴	۰	۱۸/۹۹	۴۴/۳۴
A10	۵۰/۶۶	۲۶/۹۹	۴۶/۷۴	۰	۱۹/۵۹	۴۶/۷۴
A11	۵۲/۱۰	۲۷/۸۷	۴۶/۵۶	۰	۲۱/۲۰	۴۶/۵۶
A12	۵۰/۴۹	۲۶/۵۰	۴۷/۵۵	۰	۲۰/۲۱	۴۷/۵۵
A13	۵۱/۹۴	۲۹/۰۳	۴۴/۱۶	۰	۱۹/۱۹	۴۴/۱۶
A14	۵۱/۷۴	۲۷/۸۳	۴۶/۱۹	۰	۱۹/۱۲	۴۶/۱۹
نمونه شاهد	۵۰/۸۸	۲۷/۷۶	۴۵/۴۸		۱۹/۶۹	۴۵/۴۸