

اثر تعدادی از متغیرهای فرایند کشش بر برخی خواص نخ چند رشته ای یکسره نایلون ۶**

The Effect of Drawing Parameters on Some Properties of Nylon 6 Filament Yarn

محمدعلی توانایی^۱، محمدرضا محدث مجتهدی^۲، محمد حقیقت کیش^۳

۱- تهران، شهریار، شرکت الیاف

۲- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۴۱۳

دریافت: ۸۱/۹/۲۷، پذیرش: ۸۲/۶/۱

چکیده

در این پژوهش، برخی از عوامل تولید در فرایند کشش نخهای چندرشته ای یکسره (فیلامنتی) نایلون ۶ تغییر داده شد. این عوامل شامل متغیرهای زمانی (تعداد دور پیچش نخ حول غلتک گودت، طول ناحیه کشش، طول ناحیه پیچش و زمان بعد از پیچش نخ روی بوبین) و متغیرهای دمایی (دمای تثبیت در ناحیه کشش و ناحیه پیچش) است. خواص کششی شامل استحکام (تنش ظاهری هنگام پارگی)، ازدیاد طول تا پارگی، مدول اولیه، کار تا پارگی همراه با جمع شدگی اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج آزمایشها نشان می دهد که اثر متغیرهای دمایی بر خواص اندازه گیری شده محسوستر از متغیرهای زمانی است. ملاحظه شد که با افزایش دما در ناحیه کشش و پیچش یا زمان دهی نخ روی بوبین می توان مقدار جمع شدگی پس از مرحله کشش را کاهش داد. با استفاده از تجزیه رگرسیون، روابط خطی بین جمع شدگی در 130°C ، دمای تثبیت در ناحیه کشش و پیچش، روابط لگاریتمی، جمع شدگی و زمان دهی نخ روی بسته بدست آمد. نتایج حاصل با توجه به نظریه های جاری درباره اثر دما و زمان بر خواص نایلون ۶ توجیه شده است.

واژه های کلیدی

نایلون ۶، کشش، خواص کششی،
جمع شدگی، نخ چند رشته ای یکسره

مقدمه

سرعت نسبتاً کم (۱۰۰ تا ۱۵۰۰ m/min) رسیده می شوند. سپس، در مرحله کشش و تاب آن را با سرعت ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ m/min روی بوبینهای مناسب می بیچند تا در جایی دیگر در مراحل بعدی موجدار (تکسچره) شده و در جوراب بافی مورد استفاده قرار گیرند یا به شکل خام و

یکی از انواع الیاف پر مصرف که امروزه به شکل چند رشته ای یکسره (فیلامنتی) در کشور تولید می شود نایلون ۶ است. نایلون ۶ از پلیمر شدن کاپرولاکتام حاصل می شود و با روش مذاب ریزی به نخهای چند رشته ای تبدیل می گردد. در روش معمول نخهای چند رشته ای با

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: mhkish@aut.ac.ir

** بخشی از مطالب این مقاله در کنفرانس ملی نساجی (یزد، اردیبهشت ۱۳۸۲) ارائه شده است.

Key Words

nylon 6, drawing,
tensile properties, shrinkage,
continous filament yarn

متفاوتی مانند استحکام و تقلیل طول به وسیله ویژگیهای ناحیه بی نظم (غیربلوری) معین می شود. دو ناحیه غیربلوری در نظر گرفته شده است: ناحیه غیر بلوری همسانگرد و ناحیه ناهمسانگرد [۹،۱۱،۱۲]. استحکام و کاهش طول الیاف نایلون ۶ را وابسته به مقدار ناحیه غیربلوری ناهمسانگرد دانسته اند [۱۱،۱۲].

اورپانی و سیمال [۱۰] اثر گرما بر نخ چند رشته‌ای نایلون ۶ در حالت آزاد را مورد توجه قرار داده‌اند. ملاحظه شده است که گرما موجب افزایش تبلور می گردد. نتایج حاصل از پرتو اشعه ایکس با زاویه کم نمایانگر وجود تکرار با دامنه زیاد است و نشان می دهد که علاوه بر افزایش تبلور، شدت تکرارها با دامنه زیاد نیز افزایش می یابد.

برای توجیه خواص مختلف الیاف نایلون نظریه های متفاوتی ارائه شده است. نظریه اولیه میسلهای ریشکدار بر مبنای دوفازی بودن الیاف است [۸،۱۳]. سالها بعد نظریه تا خوردن زنجیر توسط استانون [۸] ارائه گردید که عملیات گرمایی موجب تا خوردن مولکولهای زنجیر می شود. نظریه جدیدتر نظریه پروورسک است [۹] که الیاف نایلون را دارای سه فاز متفاوت می داند. این نظریه با یافته های جدید، که قبلاً به آنها اشاره شد، نیز مطابقت دارد.

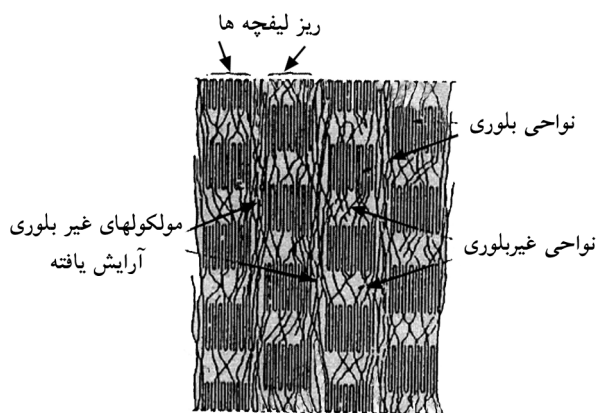
الگوی ساختاری رشته های یکسره (الیاف) نایلون ۶ که توسط پروورسک و همکاران [۹،۱۵] بر اساس تجربیات فراوان ارائه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این الگو، الیاف نایلون ۶ حداقل از سه فاز متفاوت تشکیل شده اند. این سه فاز نواحی بی نظم و بلوری در ریز لیفچه ها و مواد میان لیفچه ای آرایش یافته است. قطر لیفچه ها برابر چند ده تا چند صد آنگستروم است و لیف را پایدار نگه می دارند و در استحکام بخشی به لیف چندان موثر نیستند. مواد میان لیفچه ای محکمترین جزء لیف است و موجب استحکام کششی لیف می گردد. جرم مخصوص مواد میان لیفچه ای کمتر از جرم مخصوص ناحیه بلوری و بیشتر از ناحیه بی نظم است. دمای ذوب مواد میان لیفچه ای کمتر از دمای نرم

صاف به پارچه تبدیل گردند [۴-۱۱]. خواص و چگونگی تولید نخهای چند رشته ای با سرعت زیاد که منجر به نخ کشیده شده می گردد نیز مورد توجه برخی پژوهشگران قرار گرفته است [۷-۵]. اکنون تولید تجاری این نوع نخها چندان رایج نیست، ولی انتظار می رود در آینده جای نخهای تولیدی با روش معمول را بگیرند. به هر حال در فرایند تولید رایج یکی از مراحل اساسی مرحله کشش است.

در فرایند کشش از دستگاه کشش استفاده می شود. یک دستگاه کشش شامل دو قسمت اساسی کشش و تاب دادن است. نخ چند رشته ای تازه ریسیده شده، که از این پس بدان نوریس (as-spun) اطلاق می گردد، از یک بسته باز شده و بین غلتکهای تغذیه و کشش، کشیده می شود. این نخ پس از عبور از راهنمای دم خوکی تاب داده شده و روی بوبین پیچیده می شود. رشته های نخ نایلون ۶ نوریس وقتی به مرحله کشش و تاب می رسد دارای ساختار نیمه بلوری اند [۷]. ساختار آنها به زمان، دما و رطوبت محیط در مرحله بین ریسیدن و کشش بستگی دارد [۴-۱]. پیش از مرحله کشش نخهای نوریس نایلون ۶ باید مدتی در هوای استاندارد (دمای 22°C و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) نگهداری شوند تا از نظر ساختار درونی به تعادل برسند. این زمان از چند ساعت تجاوز نمی کند و نباید چندان طولانی باشد تا متبلور شدن از محدوده مشخصی فراتر رود [۳-۱]. به هر حال در مرحله کشش در نخ بعد از خروج از غلتک تغذیه کردن بوجود می آید که موضع آن بستگی به سرعت عبور نخ دارد [۶]. ساختار رشته ها در اثر کشش دچار دگرگونی شدید می گردد. از همان ابتدای اعمال کشش، تغییر ساختار بلوری با تبدیل شکل بلوری از α به β رخ می دهد [۷] و آرایش های بلوری و مولکولی در قسمتهای بی نظم افزایش می یابد [۳-۱].

اثر برخی عوامل در مرحله کشش بر خواص نخ چند رشته ای کشیده شده همواره مورد توجه بوده و مشخص شده است که با افزایش نسبت کشش، جرم مخصوص خطی و ازدیاد طول تا پارگی کاهش می یابد و تنش ظاهری در هنگام پارگی (استحکام) و مدول اولیه افزایش پیدا می کند [۳،۱]. با وجود این یافته ها پژوهشگران معتقدند که کشش فرایندی پیچیده است. عوامل موثر دارای برهم کنش اند و هر یک از آنها اثر قابل توجهی بر خواص و ساختار رشته های تولیدی دارند [۵،۲].

در منابع مختلف آثار عوامل کشش و تثبیت گرمایی بر خواص در یک محدوده وسیع برای الیافی که به طریق مذاب ریزی تهیه می شوند غالباً یک جا مورد توجه قرار گرفته است [۸،۹]. در حالی که مقالات منتشر شده جدید که فنون پیشرفته را بکار گرفته اند [۱۰-۱۲] تفاوت های ساختاری را حتی برای نایلون ۶ و نایلون ۶۶ نیز مشخص می سازند. الیاف نایلون ۶ دارای ساختار لیفچه ای است. لیفچه ها از ورقه هایی بوجود می آیند که مولکولها در آنها تا خورده اند [۱۴، ۱۳، ۹]. خواص



شکل ۱- الگوی ساختاری الیاف نایلون ۶ ارائه شده توسط پروورسک [۹]

شدن لیفچه هاست.

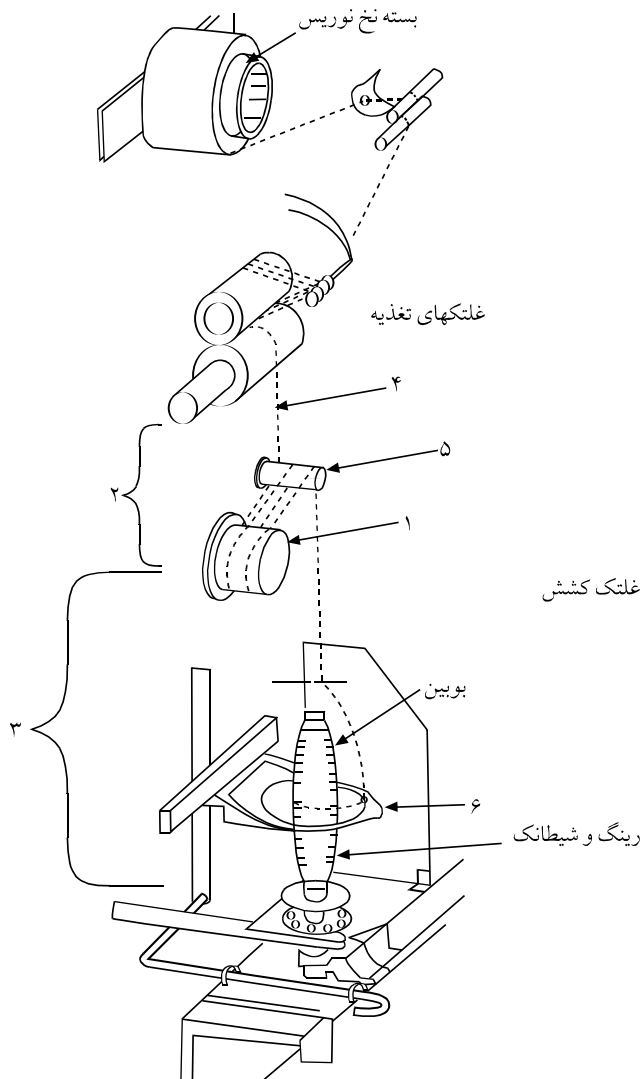
نخهای نایلون ۶ که به روش سرد کشیده می‌شوند، عموماً پس از تولید، چنانچه آزاد باشند با گذشت زمان از طول آنها کاسته می‌شود. کسری از تنشهای اعمال شده هنگام کشش در نخ ذخیره شده و برای رها شدن از آنها کاهش طول ایجاد می‌شود. چنانچه نخ روی بوبین پیچیده شده باشد، این تنش و در نتیجه تمایل به کاهش دادن طول موجب ایجاد نیروهایی در راستای شعاع به طرف مرکز می‌گردد که بوبین باید بتواند آنها را تحمل کند. اگر بوبین از مواد کم مقاومت یا با اندازه نامناسب ساخته شده باشد در برابر این تنشها تاب نمی‌آورد و شکل هندسی و تقارن خود را از دست می‌دهد. با تعریفی مترادف در کشش سرد نسبت کشش مکانیکی با نسبت کشش واقعی متفاوت است. بعد از مرحله کشش، اگر زمان کافی به نخ داده نشود، نخ بازگشت طول خواهد داشت. این مقدار به مواد و شرایط کشش بستگی دارد. به نظر اسپرولی [۱] عوامل موثر عبارتند از: نسبت کشش اعمالی که هر چه نسبت کشش بیشتر باشد این بازگشت بیشتر است، زمان توقف نخ در حالت کشیده شده و زمان آسایش در فاصله بین غلتک کشش و پیچش نخ روی بوبین و تنش اعمالی هنگام پیچش روی بوبین. هر چه این سه بیشتر باشد، کاهش طول کمتر خواهد شد. اما، افزایش تنش هنگام پیچش خود موجب افزایش نیروهای شعاعی مزبور می‌شود.

اگر چه درباره اثر عوامل تولید بر ویژگیهای نخ چندرشته‌ای نایلون به وسیله پژوهشگران مختلف توضیح داده شده است [۱-۴] ولی اغلب نتایج محدود به شرایط آزمایشگاهی می‌شود و معلوم نیست در یک دستگاه تولید اثر دما و زمان تا چه اندازه بر کاهش طول بعد از کشش مؤثرند. هدف اصلی این پژوهش، تعیین عوامل تولیدی مؤثر بر مقدار این کاهش طول یا تنش باقیمانده بعد از کشش در یک دستگاه تولیدی تجاری است که در راستای آن خواص متفاوت دیگری نیز مورد توجه قرار گرفته است.

تجربی

مواد

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش، نخ ۱۰ رشته‌ای نوریس نایلون ۶ محصول شرکت الیاف است. جدول ۱ خواص کششی این نخها را نشان می‌دهد. از آنجا که انجام آزمایشها چندین ماه بطول می‌انجامد و نگهداری نخهای نوریس بدون تغییر خواص مشکل است، بنابراین از چند نمونه مختلف برای آزمایشها استفاده شد. بسته‌های نخ نوریس از



شکل ۲- نمای کلی دستگاه کشش مورد استفاده برای تهیه نمونه‌ها: (۱) تعداد دور پیچش نخ حول غلتک کششی، (۲،۳) ناحیه‌های کشش و پیچش، (۴،۵) محل قرار گرفتن راهنمای گرمایی، (۶) زمان دهی روی بوبین.

تولیدات جاری به گونه‌ای انتخاب شده و سپس مورد آزمایش قرار گرفته است که زمان توقف آنها در مرحله انبار قبل از کشش و آزمایش یکسان بوده است. در بررسی اثر زمان دهی پس از پیچش نخ روی بوبین از بوبین نخهای کشیده شده با نسبت کشش ۳/۳، سرعت غلتک تولید ۹۳۰ m/min و سرعت دوک ۷۸۰۰ rpm با جرم مخصوص خطی ۴/۶ tex استفاده گردید. از لعاب ریسندگی با نام تجاری Limanol ساخت شرکت آلمانی شل و زایلانخر (Schill & Seillacher) استفاده شد. این نوع لعاب دارای ترکیبات ضدالکتریسیته ساکن و ضد باکتری

گردید. بدیهی است که در این آزمایش طول ناحیه کشش و پیچش به ترتیب ۵۰ cm و ۳۰ cm بوده است.

۵- دمای تثبیت در ناحیه پیچش از ۲۵ تا ۱۸۰ °C (مطابق جدول ۳) با استفاده از راهنمای گرمایی سوزن داغ به جای غلتک جداکننده و یک کنترل کننده گرمایی تغییر داده شد. از نمونه E (جدول ۱) استفاده شد. بدیهی است که در این آزمایش طول ناحیه کشش و پیچش به ترتیب ۵۰ cm و ۳۰ cm بوده است.

۶- برای زمان دهی نخ کشیده روی بسته نیز بویین نخ کشیده کامل روی دستگاه کشش تهیه گردید و از زمان برداشت تا ۱۰۰ ساعت بعد، زمان ماندن نخ روی بسته (مطابق جدول ۴) خواص مختلف اندازه گیری شد.

شرایط معمول برای تولید عبارت بودند از: تعداد دور پیچش نخ حول غلتک گودت ۴ دور، طول ناحیه کشش ۵۰ cm، طول ناحیه پیچش ۳۰ cm و دمای محیط (۲۵°C). هنگامی که هریک از متغیرها تغییر داده شد شرایط دیگر ثابت نگاه داشته شد.

روشها

جرم مخصوص خطی: برای اندازه گیری جرم مخصوص خطی نمونه‌ها از کلاف پیچی با طول محیط یک متر و سرعت پیچش ثابت (برای ایجاد کشیدگیهای یکسان در کلافها) استفاده گردید. خواص کششی: خواص کششی نمونه‌ها از جمله استحکام، ازدیاد طول تا پارگی، کار تا پارگی و مدول اولیه با استفاده از دستگاه سنجش خواص کششی اندازه گیری شد. مبنای کار این دستگاه بر اساس افزایش طول با سرعت ثابت است. تنظیمات دستگاه یاد شده با استفاده از استاندارد ASTM D ۲۲۵۶ انجام شد. طول نمونه برای نخهای نوریس ۱۰۰mm و برای نخهای کشیده شده ۵۰۰ mm و سرعت حرکت فک نیز در ۵۰۰ mm/min تنظیم گردید.

است و بطور معمول برای ریسندگی این نوع نخها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دستگاهها

برای تولید نمونه‌ها از یک دستگاه کشش ساخت شرکت سوئیسی ریتر مدل ۵/۵ J استفاده شده که نمایی از آن در شکل ۲ آمده است. همچنین، خواص کششی نمونه‌ها مانند: استحکام، ازدیاد طول تا پارگی، کار تا پارگی و مدول اولیه به وسیله دستگاه اندازه گیری خواص کششی ساخت شرکت زوئیک آلمان مدل ۱۵۱۱ اندازه گیری شده است.

عملیات کشش نخهای نوریس

برای تولید نمونه‌ها با دستگاه کشش، ویژگیهای زیر در محدوده‌های یاد شده بطور مستقل تغییر داده شد. برای تعیین اثر تغییرات در هر یک از ویژگیهای زیر از نمونه‌های متفاوتی استفاده شده که در جدول ۱ خصوصیات آنها نشان داده شده است.

۱- تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت، از ۴ تا ۲۴ دور، (۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ دور) که با تغییر زاویه بین غلتک گودت و غلتک جداکننده تغییر داده شد. از نمونه A (جدول ۱) استفاده شد.

۲- طول ناحیه کشش از ۵۰ تا ۲۵۵۰ cm (مطابق جدول ۲) با استفاده از راهنماهای ثابت در دستگاه و گذراندن نخ از روی آن تغییر داده شد. نمونه B (جدول ۱) بکار گرفته شد.

۳- طول ناحیه پیچش از حالت معمول دستگاه ۳۰ cm تا ۹۳۰ cm (مطابق جدول ۲) با استفاده از راهنماهای ثابت یاد شده تغییر داده شد. از نمونه C (جدول ۱) استفاده گردید.

۴- دمای تثبیت در ناحیه کشش از ۲۵ تا ۱۸۰ °C (مطابق جدول ۳) با استفاده از یک راهنمای گرمایی بین غلتک تغذیه و تولید و یک کنترل کننده گرما تغییر داده شد. از نمونه D (جدول ۱) استفاده

جدول ۱- خواص کششی نخهای نوریس.

کار تا پارگی (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	مدول اولیه (cN/tex)	استحکام (cN/tex)	جرم مخصوص خطی (tex)	خواص نمونه
۲۵/۶ (۴/۵)	۳۷۵/۵ (۳۷/۲)	۵۵/۱ (۷/۷)	۱۳/۰ (۱/۸)	۱۵/۶ (۰/۱)*	A
۲۵/۵ (۳/۴)	۳۸۱/۵ (۲۴/۰)	۶۰/۳ (۸/۷)	۱۴/۴ (۱/۱)	۱۴/۹ (۰/۱)	B
۲۳/۱ (۲/۷)	۳۴۴/۵ (۲۲/۸)	۶۳ (۱۳/۰)	۱۵/۳ (۱/۱)	۱۴/۷ (۰/۱)	C
۲۲/۴ (۲/۹)	۳۲۶/۶ (۱۸/۸)	۵۷/۴ (۷/۴)	۱۵/۲ (۱/۴)	۱۳/۹ (۰/۲)	D
۲۲/۲ (۲/۱)	۳۱۵/۲ (۱۸/۴)	۶۰/۵ (۱۲/۲)	۱۵/۳ (۰/۸)	۱۴/۴ (۰/۲)	E

* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار هر میانگین است.

درصد جمع شدگی: تعیین درصد جمع شدگی بر اساس استاندارد DIN ۵۳۸۴۰ آلمان انجام شد. بدین ترتیب که جرم مخصوص خطی نمونه برحسب دسی تکس معین می‌شود. آنگاه، برای داشتن شرایط وزنی یکسان در کلافهای مورد آزمایش، تعداد دور کلاف با استفاده از معادله ۱ که در آن d جرم مخصوص خطی نخ برحسب dtex است محاسبه می‌شود:

(۱)
$$\text{تعداد دور کلاف} = 2500 / (2 \times d)$$

$$\%SH_{130} = (L_1 - L_2) / L_1 \times 100 \quad (2)$$

علاوه بر اندازه‌گیری درصد جمع شدگی در دمای 130°C درصد جمع شدگی در محیط استاندارد آزمایشگاه یعنی دمای 22°C و رطوبت نسبی 68 ± 2 درصد، SH_{22} پس از زمان 60 min نیز اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که پس از رسیدن اندازه بوبین نخ روی دستگاه کشش به مقداری معین، فوراً بوبین از روی دستگاه برداشته شد و کلافهایی به طول L_1 از آن تهیه گردید. پس از قراردادن کلافها به مدت 60 min در محیط استاندارد طول کلافها (L_2) اندازه‌گیری و از آنجا جمع شدگی مانند حالت قبل محاسبه شد.

طول کلاف تهیه شده (L_1) تحت تنش 0.1 cN/tex اندازه‌گیری شد. کلاف در آون بادمای خشک 130°C بمدت 10 min قرار گرفت و پس از خارج کردن و سرد شدن کلاف، طول آن (L_2) تحت تنش

جدول ۲- اثر متغیرهای زمانی بر خواص کششی و جمع شدگی نخهای کشیده شده (شرایط ثابت: تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت ۴ دور، طول ناحیه کشش ۵۰ cm، طول ناحیه پیچش ۳۰ cm و دمای محیط).

جمع شدگی (%)		مدول اولیه (cN/tex)	کار تا پارگی (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	استحکام (cN/tex)	خواص کششی و جمع شدگی متغیر	
10 min و 130°C	60 min و 22°C					تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت (دور)	طول ناحیه کشش (cm)
۸/۳ (۰/۱)	۲/۲ (۰/۲)	۲۹۸/۰ (۲۲/۳)	۱۷/۶ (۱/۷)	۳۶/۵ (۰/۵)	۳۹/۳ (۲/۱)*	۴	تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت (دور)
۸/۰ (۰/۲)	۲/۶ (۰/۴)	۳۲۳/۴ (۱۵/۲)	۱۷/۶ (۲/۱)	۴۰/۹ (۴/۷)	۳۹/۳ (۲/۱)	۸	
۸/۵ (۰/۲)	۲/۸ (۰/۱)	۲۶۵/۱ (۸/۶)	۱۵/۴ (۰/۹)	۵۰/۷ (۴/۶)	۴۶/۷ (۱/۱)	۱۲	
۷/۷ (۰/۲)	۲/۷ (۰/۲)	۲۵۰/۴ (۲۱/۷)	۱۵/۵ (۲/۱)	۴۹/۳ (۵/۴)	۴۶/۷ (۲/۴)	۱۶	
۸/۳ (۰/۱)	۲/۴ (۰/۳)	۲۶۲/۶ (۸/۹)	۱۵/۵ (۰/۹)	۵۰/۹ (۲/۸)	۴۶/۲ (۱/۹)	۲۰	
۷/۸ (۰)	۲/۳ (۰/۱)	۲۷۷/۵ (۱۰/۹)	۱۴/۶ (۱/۳)	۴۹/۶ (۲/۷)	۴۵/۷ (۱/۵)	۲۴	
۸/۳ (۰/۲)	۱/۳ (۰/۲)	۴۳۲/۳ (۲۱/۳)	۱۵/۰ (۲/۶)	۴۴/۹ (۵/۸)	۴۸/۷ (۲/۸)	۵۰	طول ناحیه کشش (cm)
۸/۱ (۰/۱)	۱/۳ (۰/۲)	۴۳۵/۶ (۱۴/۴)	۱۷/۱ (۱/۸)	۳۶/۴ (۳/۶)	۴۴/۳ (۳/۱)	۵۵۰	
۸/۱ (۰/۱)	۱/۸ (۰)	۴۱۶/۹ (۱۹/۷)	۸/۸ (۱/۳)	۳۱/۶ (۲/۷)	۴۱/۸ (۱/۳)	۱۰۵۰	
۸/۵ (۰/۱)	۲/۳ (۰/۲)	۳۶۳/۲ (۵/۳)	۱۰/۳ (۱/۸)	۳۶/۹ (۶/۲)	۴۳/۵ (۱/۸)	۱۵۵۰	
۸/۸ (۰/۲)	۲/۱ (۰/۲)	۳۶۲/۷ (۱۳/۸)	۱۷/۵ (۱/۸)	۳۸/۶ (۴/۷)	۴۴/۱ (۲/۲)	۲۰۵۰	
۸/۸ (۰/۵)	۱/۹ (۰/۱)	۳۵۷/۶ (۱۸/۴)	۱۰/۳ (۱۰/۹)	۳۶/۹ (۴/۸)	۴۳/۸ (۰/۹)	۲۵۵۰	
۹/۷ (۰/۱)	۲/۱ (۰/۱)	۳۴۳/۴ (۱۴/۳)	۱۷/۰ (۱/۳)	۵۳/۱ (۳/۲)	۴۷/۷ (۱/۷)	۳۰	طول ناحیه پیچش (cm)
۸/۷ (۰/۱)	۱/۴ (۰/۱)	۳۳۴/۳ (۱۹/۳)	۱۶/۹ (۲/۱)	۵۲/۲ (۵/۱)	۴۷/۹ (۳/۲)	۳۳۰	
۸/۸ (۰/۱)	۱/۵ (۰/۱)	۳۳۲/۶ (۱۹/۶)	۱۸/۱ (۲/۱)	۵۵/۳ (۵/۲)	۵۰/۲ (۲/۳)	۵۳۰	
۸/۳ (۰/۲)	۱/۸ (۰/۲)	۳۰۲/۶ (۱۸/۱)	۱۵/۷ (۲/۱)	۵۱/۱ (۵/۰)	۴۳/۸ (۲/۳)	۷۳۰	
۸/۴ (۰/۲)	۱/۸ (۰/۳)	۳۰۰/۴ (۲۹/۶)	۱۲/۷ (۲/۱)	۴۵/۹ (۵/۳)	۴۰/۷ (۳/۲)	۹۳۰	

* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار هر میانگین است.

جدول ۳- اثر دما در نواحی کشش و پیچش بر خواص کششی (شرایط ثابت: تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت ۴ دور، طول ناحیه کشش ۵۰ cm، طول ناحیه پیچش ۳۰ cm و دمای محیط).

مدول اولیه (tex)	کار تا پارگی (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	استحکام (cN/tex)	خواص کششی متغیر	
				دما (°C)	پیچش (°C)
۲۵۵/۸ (۱۳/۸)	۱۴/۲ (۱/۷)	۴۸/۷ (۳/۵)	۴۲/۱ (۲/۹)*	۲۵	دمای تثبیت در ناحیه کشش (°C)
۲۵۳/۴ (۱۹/۲)	۱۲/۲ (۰/۸)	۴۴/۰ (۴/۷)	۳۹/۶ (۲/۱)	۱۰۰	
۲۵۱/۲ (۱۳/۳)	۱۲/۷ (۱/۷)	۴۴/۶ (۴/۱)	۴۰/۶ (۱/۳)	۱۲۰	
۲۳۳/۴ (۱۳/۸)	۱۰/۳ (۱/۷)	۳۹/۹ (۴/۴)	۳۸/۶ (۱/۷)	۱۴۰	
۲۵۰/۴ (۱۳/۱)	۱۲/۲ (۱/۳)	۴۳/۵ (۳/۴)	۴۰/۹ (۱/۷)	۱۶۰	
۲۴۳/۵ (۱۰/۷)	۶/۵ (۱/۷)	۳۴/۶ (۵/۴)	۲۸/۷ (۲/۲)	۱۸۰	
۳۸۱/۷ (۵۹/۲)	۱۶/۴ (۲/۶)	۵۵/۱ (۷/۱)	۴۴/۶ (۳/۷)	۲۵	دمای تثبیت در ناحیه پیچش (°C)
۳۷۹/۲ (۳۷/۹)	۱۵/۳ (۲/۲)	۴۶/۵ (۴/۴)	۴۷/۵ (۲/۵)	۱۰۰	
۳۰۸/۱ (۱۶/۷)	۱۳/۶ (۳/۶)	۴۲/۰ (۸/۱)	۴۷/۰ (۳/۲)	۱۲۰	
۳۴۸/۰ (۲۲/۲)	۱۳/۸ (۲/۳)	۴۷/۱ (۵/۱)	۴۸/۰ (۱/۶)	۱۴۰	
۳۴۲/۹ (۱۹/۲)	۱۲/۴ (۱/۸)	۳۸/۵ (۵/۰)	۴۷/۵ (۲/۵)	۱۶۰	
۳۴۵/۳ (۲۰/۵)	۱۲/۰ (۱/۸)	۳۸/۶ (۳/۷)	۴۶/۸ (۲/۵)	۱۸۰	

* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار هر میانگین است.

جدول ۴- اثر زمان بر خواص کششی (شرایط ثابت: تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت ۴ دور، طول ناحیه کشش ۵۰ cm، طول ناحیه پیچش ۳۰ cm و دمای محیط).

مدول اولیه (tex)	کار تا پارگی (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	استحکام (cN/tex)	خواص کششی متغیر	
				زمان دهی نخ کشیده روی بسته (h)	زمان دهی نخ کشیده وسط بسته (h)
۳۳۰/۴ (۳۵/۸)	۱۳/۹ (۱/۳)	۵۰/۹ (۳/۵)	۴۰/۱ (۳/۲)*	۰	زمان دهی نخ کشیده روی بسته (h)
۳۱۹/۸ (۲۶/۹)	۱۳/۲ (۱/۷)	۵۱/۰ (۴/۰)	۳۹/۶ (۲/۴)	۴/۵	
۳۲۷/۶ (۱۶/۹)	۱۴/۰ (۱/۷)	۵۱/۵ (۴/۹)	۴۰/۰ (۲/۶)	۲۵/۵	
۳۴۸/۳ (۱۹/۲)	۱۵/۷ (۳/۱)	۵۳/۸ (۵/۳)	۴۲/۷ (۳/۷)	۴۷/۵	
۳۴۴/۴ (۱۳/۷)	۱۴/۹ (۰/۹)	۵۳/۰ (۳/۰)	۴۲/۴ (۱/۹)	۱۰۰	
۳۱۷/۱ (۱۶/۷)	۱۳/۴ (۲/۱)	۵۰/۷ (۵/۲)	۴۰/۰ (۲/۶)	۰	زمان دهی نخ کشیده وسط بسته (h)
۳۲۸/۷ (۳۰/۱)	۱۳/۹ (۱/۳)	۴۹/۸ (۳/۰)	۴۱/۶ (۱/۷)	۴/۵	
۳۰۷/۸ (۲۵/۵)	۱۳/۰ (۲/۲)	۵۰/۶ (۴/۳)	۳۷/۲ (۲/۶)	۲۵/۵	
۳۲۰/۱ (۲۷/۱)	۱۳/۷ (۲/۱)	۵۱/۴ (۵/۳)	۴۰/۱ (۲/۴)	۴۷/۵	
۳۰۸/۵ (۲۷/۵)	۱۳/۱ (۱/۷)	۵۱/۰ (۳/۳)	۳۹/۱ (۱/۹)	۱۰۰	

* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار هر میانگین است.

نتایج و بحث

ناحیه کشش از ۵۰ cm (حالت معمول دستگاه) به مقدار بیشتر، سبب کاهش جزیی در خواص کششی شده است. تحلیل آماری نشان داد که این اختلاف در سطح ۹۵ درصد اطمینان با اهمیت است. در هنگام تولید مشاهده شد که وقتی طول ناحیه کشش به ۵۵۰ cm می‌رسد، پارگی رشته‌ها بطور محسوسی افزایش می‌یابد. بنابراین، روند کاهش در خواص کششی را می‌توان به دلیل پارگی رشته‌ها دانست که حاصل از تنش زیاد موجود در ناحیه کشش در نتیجه تماس نخ با راهنماهای ثابت مورد استفاده است.

چنانچه نتایج قسمت پائینی جدول ۲ نشان می‌دهد افزایش طول ناحیه پیچش از حالت معمول ۳۰ تا ۵۳۰ cm بر خواص کششی، بی‌اثر است، اما از طول ۵۳۰ cm به بعد خواص کششی کاهش می‌یابد. در این حالت نیز وقتی از نزدیک نخهای چند رشته‌ای مورد بازمینی قرار گرفت، رشته‌های پاره قابل توجهی ملاحظه شد که ممکن است در اثر افزایش تنش ناشی از اصطکاک زیاد نخ با راهنماهای ثابت باشد.

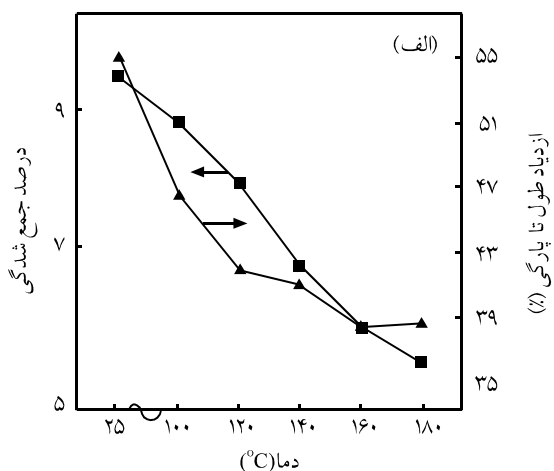
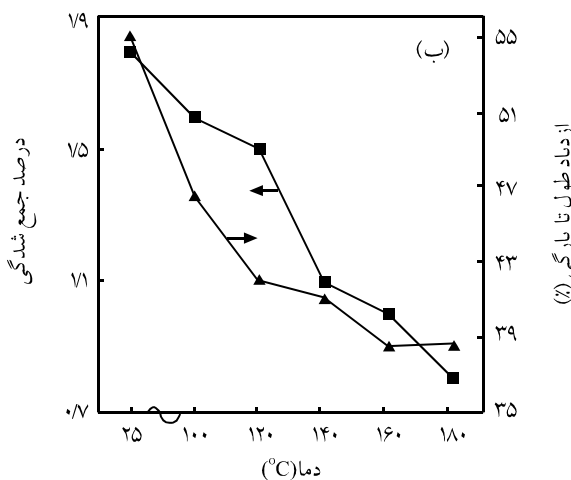
علاوه بر خواص کششی مقادیر جمع شدگی نخهای کشیده شده در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل آماری روی نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن میزان تغییرات ذاتی، جمع شدگیها در شرایط متفاوت نیز اختلافی با هم ندارند.

اگر زمان توقف نخ در دستگاه کشش به شکل $t = x/v$ تعریف شود، که در آن x طول نخ بین غلتک تغذیه و راهنمای دم خوک و v سرعت خطی عبور نخ است، ملاحظه می‌شود که زمان توقف نخ در این سه گروه آزمایش افزون بر ۵۰ برابر افزایش داده شده است. تعداد دور پیچش نخ حول غلتک گودت، طول ناحیه کشش و ناحیه پیچش هر سه زمان توقف نخ را در مراحل کشش نشان می‌دهند. زمان توقف که با ۸

مقایسه عمومی نتایج خواص کششی نخهای نوریس جدول ۱ با خواص کششی نخهای کشیده شده جداول ۲ تا ۴ نشان می‌دهد که عملیات کشش موجب افزایش استحکام و مدول اولیه و کاهش ازدیاد طول تا پارگی و کار تا پارگی می‌گردد. این گونه آثار کشش معمول و موافق با نظریات متداول است [۱-۳]. بطور متوسط عملیات کشش موجب افزایش استحکام از ۴ به ۴۳ cN/tex و کاهش ازدیاد طول تا پارگی از میانگین ۳۵۰ به ۴۵ درصد شده است. مدول اولیه پنج برابر شده و کار تا پارگی ۵۰ درصد کاهش داشته است. کاهش کار تا پارگی به دلیل کاهش شدید در ازدیاد طول تا پارگی است. مشخص شده است که افزایش استحکام و مدول اولیه و کاهش ازدیاد طول تا پارگی همراه با افزایش جهتگیری مولکولی (افزایش آرایش مولکولی) و تبلور است و این موضوع با توجه به تغییر در ضرایب ساختاری در مورد تمام مواد پلیمری نیمه بلوری شونده توجیه شده است [۱،۳].

قسمت بالایی جدول ۲ نشان می‌دهد که با تغییر تعداد دور پیچش نخ حول غلتک گودت بیش از ۴ دور، خواص کششی دچار تغییر می‌شود، اما افزایش از ۱۲ تا ۲۴ دور تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد. بنظر می‌رسد که برای ایجاد اصطکاک کافی بین نخ و غلتک گودت بیش از ۴ دور پیچش حول آن برای اعمال کشش لازم است. بیش از ۸ دور اثری بر مقدار کشش نداشته و چون فاصله بین غلتک جدا کننده و غلتک گودت چندان زیاد نیست، زمان توقف نخ در دستگاه نیز چندان زیاد نمی‌شود.

چنانچه نتایج قسمت میانی جدول ۲ نشان می‌دهد تغییر طول



شکل ۳- اثر دما در ناحیه کشش بر ازدیاد طول تا پارگی و جمع شدگی در شرایط آزمایش: (الف) دمای ۱۳۰°C و زمان ۱۰ min و (ب) دمای استاندارد ۲۳°C و زمان ۶۰ min.

$$SH_{130} = 10/10 - 0/02 (T_S) \quad (3)$$

جمع شدگی در شرایط استاندارد SH_{22} و دمای ناحیه کشش (T_S) از معادله رگرسیون خطی یعنی معادله ۴ با ضریب رگرسیون خطی $R = 0/85$ پیروی می‌کند:

$$SH_{22} = 37/465 - 0/141 (T_S) \quad (4)$$

شکل ۴ اثر دما در ناحیه پیچش بر جمع شدگیها و ازدیاد طول تا پارگی را نشان می‌دهد. این اثر با پراکندگی جزئی بیشتر مشابه اثر دما در ناحیه کشش است.

جمع شدگی در $130^\circ C$ (SH_{130}) و دمای ناحیه پیچش (T_W) نیز تابع معادله رگرسیون خطی به شکل معادله ۵ با ضریب رگرسیون خطی $R = 0/93$ است:

$$SH_{130} = 10/8 - 0/287 (T_W) \quad (5)$$

جمع شدگی در شرایط استاندارد SH_{22} و دما در ناحیه پیچش T_W از معادله رگرسیون خطی به شکل معادله ۶ با ضریب رگرسیون خطی $R = 0/93$ بدست می‌آید:

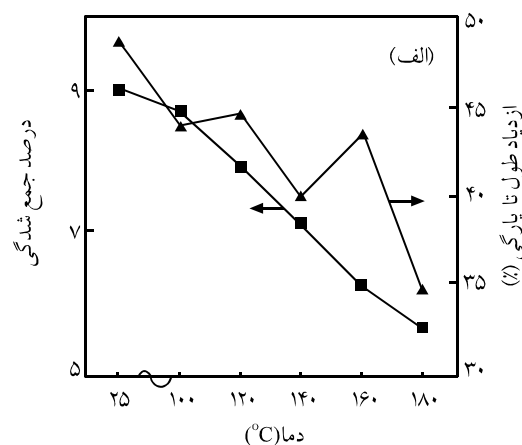
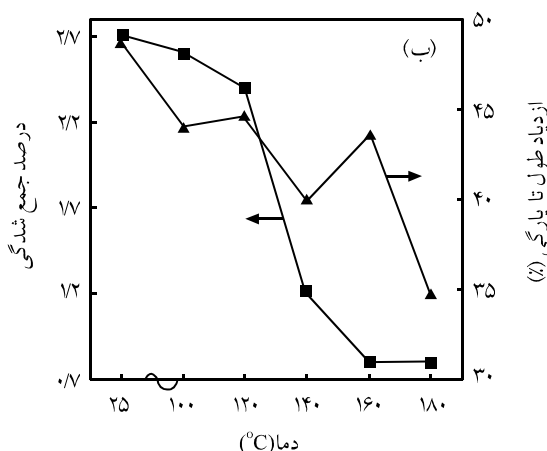
$$SH_{22} = 2/100 - 0/07 (T_W) \quad (6)$$

شیب منفی هر چهار معادله خطی بالا از نظر آماری با اهمیت است و

دور گردش نخ حول غلتک گودت حاصل می‌شود، در شرایطی که طول ناحیه کشش ۵۰ cm و طول ناحیه پیچش ۳۰ cm است، در یک دمای ثابت برای بدست آوردن خواص مناسب و ایجاد یک ساختار مشخص کافی است و مقادیری بیش از آنها در محدوده آزمایش شده بر خواص نخ بی اثر است. در نایلون ۶ به علت وجود عوامل پیتیدی، سرعت تبلور بسیار زیاد است [۱۸]. در نتیجه، بنظر می‌رسد که این زمان توقف در دستگاه کشش ساختار مناسب و کاملی را بوجود آورده است.

جدول ۳ آثار دما در نواحی تثبیت و پیچش را بر خواص کششی نشان می‌دهد. خواص کششی در ناحیه کشش در دمای $180^\circ C$ نسبت به سایر دماها، کاهش شدیدی را نشان می‌دهد که اختلافها از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد اطمینان با اهمیت است. هنگام تولید نخ در دمای $180^\circ C$ در ناحیه کشش ملاحظه شد که لعاب ریسندگی بشدت تبخیر می‌شود که بسیار متفاوت با دماهای دیگر است و پارگی رشته‌ها نیز بوجود می‌آید. در دمای $180^\circ C$ در ناحیه پیچش فقط تبخیر لعاب ریسندگی روی داد و پارگی رشته‌های محسوسی ملاحظه نشد. جدول ۳ نشان می‌دهد که دمای تثبیت بین $25^\circ C$ تا $160^\circ C$ در نواحی پیچش و کشش اثر قابل ملاحظه‌ای با روندی مشخص بر استحکامهای اندازه‌گیری شده ندارد.

شکل ۳ اثر دما در ناحیه کشش بر جمع شدگی و ازدیاد طول تا پارگی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش دما در ناحیه کشش، جمع شدگی و ازدیاد طول تا پارگی هر دو کاهش می‌یابند. جمع شدگی در $130^\circ C$ (SH_{130}) و دمای ناحیه کشش (T_S) از معادله رگرسیون خطی (معادله ۳) با ضریب رگرسیون خطی $R = 0/91$ پیروی می‌کند:



شکل ۴- اثر دما در ناحیه کشش بر ازدیاد طول تا پارگی و جمع شدگی در شرایط آزمایش: (الف) دمای $130^\circ C$ و زمان ۱۰ min و (ب) دمای استاندارد $22^\circ C$ و زمان ۶۰ min.

یعنی $\frac{4}{3}$ درصد برابر 694 h خواهد شد. میانگین جمع شدگی استاندارد SH_{22} برای نمونه‌های روی بوبین و وسط بوبین بر حسب زمان از معادله ۸ با ضریب رگرسیون خطی $R = 0.78$ بدست می‌آید:

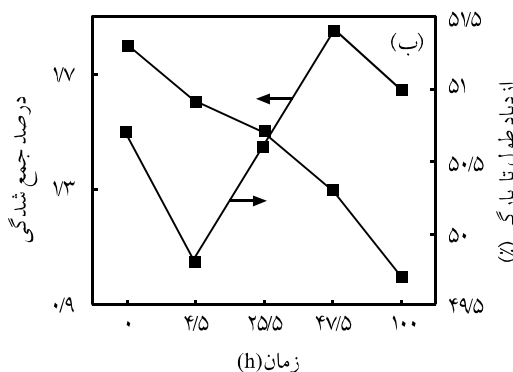
$$\text{SH}_{22} = 2.01 \exp(-0.0099t) \quad (8)$$

چنانچه لازم باشد تا جمع شدگی به نصف مقدار اولیه یعنی ۱ درصد برسد، باید زمانی معادل 70 h به نخ روی بوبین فرصت داده شود.

در این پژوهش، ملاحظه شد که خواص نخ چند رشته‌ای نایلون ۶ در اثر کشش دچار تغییر فاحشی می‌شود. زمان توقف (در محدوده آزمایشها) در طول دستگاه کشش خواص ذاتی نخ را، که حاصل تغییر ساختار رشته‌هاست، تغییر نمی‌دهد.

زمان توقف در ماشین چنانچه کوتاهتر از زمان لازم برای ایجاد تغییرات در نخ باشد نمی‌تواند بر خواص نخ اثر بگذارد، اما ملاحظه می‌شود که در دستگاه صنعتی برای نایلون ۶ این زمان به اندازه کافی نیست. زمان دهی بلند مدت به نخ روی بسته بدون تغییر در خواص کششی دیگر، جمع شدگی را کاهش می‌دهد. کاهش ازدیاد طول تا پارگی و جمع شدگی با افزایش دمای تثبیت در ناحیه کشش و پیچش ملاحظه شد. این نتایج به وسیله نظریه‌های ساختاری الیاف نایلون ۶ قابل توجیه است.

به نظر استاتون [۸] افزایش دمای تثبیت گرمایی اگر همراه با افزایش ازدیاد طول تا پارگی باشد در اثر تا خوردن مولکولهای زنجیری است. ولی، در آزمایشهای انجام شده ملاحظه می‌گردد که افزایش دما هنگام کشش و پیچش هر دو موجب کاهش ازدیاد طول تا پارگی شده است. زمان دهی روی بسته موجب کاهش جمع شدگی شده و خواص کششی دیگر تغییر نکرده است. بنابراین، با نظریه استاتون [۸] نمی‌توان نتایج را توجیه کرد.



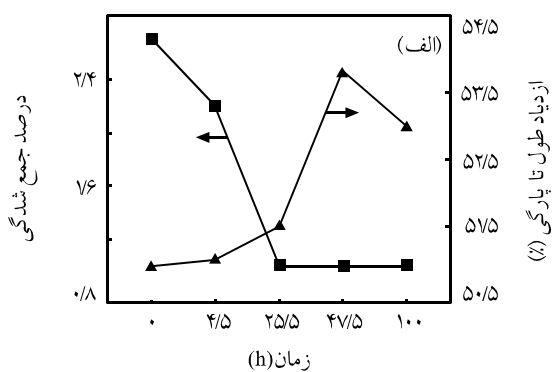
موافق نتایج اوربانی و سیمال است [۱۰]. معادله‌های ۴ و ۶ نشان می‌دهند که اگر جمع شدگی در شرایط استاندارد SH_{22} به نصف تقلیل یابد، دمای ناحیه کشش (T_g) باید برابر 123°C یا دمای ناحیه پیچش (T_w) باید برابر 150°C انتخاب شود. در این حالت معادله‌های ۳ و ۵ نشان می‌دهند که جمع شدگی در 130°C (SH_{130}) به ترتیب به مقدار $7/6$ و $6/5$ درصد تنزل خواهد یافت.

برای اندازه‌گیری اثر زمان دهی، نمونه‌هایی از روی بوبینهای چند کیلوگرمی و نمونه‌هایی از وسط بوبین انتخاب و آزمایش شد. نتایج اثر زمان بر خواص کششی در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که زمان دهی به نخ کشیده شده روی بوبین اثر قابل ملاحظه‌ای بر خواص کششی ندارد. این امر، برای نخهای گرفته شده از سطح و وسط بسته نیز دیده می‌شود.

مقدار جمع شدگی تغییر محسوسی را نشان می‌دهد. شکل ۵ اثر زمان دهی به نخ کشیده شده روی بسته بر مقادیر جمع شدگی و ازدیاد طول تا پارگی را نشان می‌دهد. جمع شدگی در دمای 130°C و دمای استاندارد هر دو روندی کاهشی دارند، در حالی که مقادیر ازدیاد طول تا پارگی دارای افت و خیزهایی تصادفی است و اختلاف قابل قبول آماری ندارند. مطابق با آنچه در مورد مواد ویسکوالاستیک معمول است [۱۳] اگر فرض شود که افت تنش با زمان به شکل یک تابع لگاریتمی کاهش یابد، می‌توان یک معادله رگرسیون لگاریتمی نیز برای میانگین جمع شدگیهای نمونه‌های سطح و وسط بسته بر حسب زمان بدست آورد. ملاحظه می‌شود جمع شدگی در SH_{130} بر حسب زمان t از معادله ۷ با ضریب رگرسیون خطی $R = 0.91$ پیروی می‌کند:

$$\text{SH}_{130} = 6/8 \exp(-0.0100t) \quad (7)$$

در این حالت زمان لازم برای کاهش جمع شدگی به نصف مقدار اولیه



شکل ۵- اثر زمان دهی به نخ کشیده شده روی بسته بر ازدیاد طول تا پارگی و نتایج آزمایشهای جمع شدگی در زمان 6 min و محیط استاندارد: (الف) سطح بسته و (ب) وسط بسته.

نتیجه‌گیری

در بررسی اثر تعدادی از متغیرهای فرایند کشش بر برخی خواص نخ نایلون ۶، دو دسته متغیرهای زمانی و دمایی تغییر داده شد و خواص کششی و جمع‌شدگی نخهای تولیدی اندازه‌گیری شد. ملاحظه گردید که مدل سه فازی پروورسک می‌تواند آثار متغیرها را روی خواص کششی بطور عمومی توجیه کند. از نظر عملی موضوع مهم یافتن روشی برای کاستن تقلیل طول نخ روی بسته است. از این رو، دو روش می‌توان پیشنهاد کرد:

- ۱- تثبیت گرمایی نخ نایلون ۶ چند رشته‌ای در دمای حدود 150°C ترجیحاً در ناحیه پیچش و اتخاذ تمهیدات مناسب برای لعاب زنی. در این حالت انتظار می‌رود که خواص عمومی نخ تغییر محسوسی داشته باشد و باید این خواص سنجیده و با خواص نخ معمول مقایسه شود.
- ۲- زمان دهی به نخ کشیده شده روی بسته سخت (بسته فلزی با روکش پلاستیکی) بمدت کافی و سپس برگردان کردن نخ روی بوبین یک بار مصرف.

تشکر و قدردانی

با سپاس از کلیه مسئولان محترم شرکت الیاف که امکان آزمایشهای این تحقیق را فراهم کردند.

مراجع

1. Sbrolli W., Nylon 6, *Man-Made Fibers Science and Technology*, Mark H.M., Atlas S.M. and Cerenia E. (Eds.), Interscience, New York, 227-295, 1968.
2. Deopura B.L. and Mukharejee A.K., Nylon 6 and Nylon 66 Fibers, *Manufactured Fiber Technology*, Gupta V.B. and Kothari V.K. (Eds.), Chapman & Hall, London, 319-359, 1997.
3. Ibid, 171-187.
4. Ziabicki A., *Fundamentals of Fibre Formation*, John Wiley & Sons, New York, 724, 1976.
5. Heuvel H.M. and Huisman R., Effect of Winding Speed and Other Spinning Conditions on the Physical Structure of As-spun Polyethylene Terephthalate and Nylon 6 Yarns, *High Speed Fibre Spinning*, Ziabicki A. and Kawai H. (Eds.), John Wiley & Sons, New York, 245-331, 1985.
6. Heuvel H.M. and Huisman R., Effects of Winding Speed, Drawing and Heating in the Crystalline Structure of Nylon 6 Yarns, *J. Appl. Polym. Sci.*, **26**, 713-732, 1981.
7. Bankar V.G., Spruiell J.E. and White J.L., Melt Spinning of Nylon 6: Structure Development and Mechanical Properties of As-spun Filaments, *J. Appl. Polym. Sci.*, **21**, 2341-2358, 1977.
8. Statton W.O., *Synthetic Fibre: Structure and Setting in the Setting of Fibres and Fabrics*, Hearl J.W.S. and Miles L.W.C. (Eds.), Merrow, England, 63-113, 1971.
9. Prevorsek D.C., Butler R.H., Kwon Y.D., Lamb G.E.R. and Sharma R.K., Influence of Fibre Properties on Wrinkling Behavior of Fabrics. Part VII: Effects of Morphology on Fiber Properties, *Text. Res. J.*, **47**, 107-126, 1977.
10. Oriani L.A.D.G. and Simal A.L., Structure of Heat-Treated Nylon 6 Fibres, Application of the Arrhenius Equation, *J. Appl. Polym. Sci.*, **46**, 1973-1985, 1992.
11. Simal A.L. and Martin A.R., Structure of Heat-treated Nylon 6 and 66 Fibres, The Shrinkage Mechanism, *J. Appl. Polym. Sci.*,

- 68, 440-450, 1998.
12. Murthy N.S., Bray R.G., Correale S.T. and Moore R.A.F., Drawing and Annealing of Nylon-6 Fibres: Studies of Crystal Growth, Orientation of Amorphous and Crystalline Domains and their Influences on Properties, *Polymer*, **36**, 3863-3873, 1995.
13. Morton W.E. and Hearle J.W.S., *Physical Properties of Textile Fibres*, Textile Institute, London, 2, 1975.
14. Murthy N.S., Fibrillar Structure and its Relevance to Diffusion, Shrinkage and Relaxation Processes in Nylon Fibres, *Text. Res. J.*, **67**, 511-520, 1997.
15. Reimschuessel A.C. and Prevorsek D.C., Domain Structure of Nylon 6 Fibers, *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*, **14**, 485-498, 1976.