مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، سال شانزدهم،
شماره ۴ ، صفحه ۲۲۱-۲۱۱، ۱۳۸۲
ISSN : 1016-3255

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

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

محمدعلی توانایی[۱]، محمدرضا محدث‌مجتهدی[۲]، محمد حقیقت‌کیش[۲*]
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 چندرشته‌ای یکسره (فیلامنتی) نایلون۶ 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 جمع‌شدگی اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که اثر متغیرهای دمایی بر خواص اندازه‌گیری شده محسوستر از متغیرهای زمانی است. ملاحظه شد که با افزایش دما در ناحیه کشش و پیچش یا زمان‌دهی نخ روی بوبین می‌توان مقدار جمع‌شدگی پس از مرحله کشش را کاهش داد. با استفاده از تجزیه رگرسیون، روابط خطی بین جمع شدگی در ۱۳۰°C، دمای تثبیت در ناحیه کشش و پیچش، روابط لگاریتمی، جمع‌شدگی و زمان‌دهی نخ روی بسته بدست آمد. نتایج حاصل با توجه به نظریه‌های جاری درباره اثر دما و زمان بر خواص نایلون۶ توجیه شده است.

واژه‌های کلیدی

نایلون۶ ، کشش، خواص کششی، جمع‌شدگی، نخ چند رشته ای یکسره

Key Words

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

مقدمه

یکی ازانواع الیاف پر مصرف که امروزه به شکل چند رشته ای یکسره (فیلامنتی) در کشور تولید می‌شود نایلون ۶ است. نایلون ۶ از پلیمر شدن کاپرولاکتام حاصل می‌شود و با روش مذاب ریسی به نخهای چند رشته ای تبدیل می‌گردد. در روش معمول نخهای چند رشته‌ای با سرعت نسبتاً کم (۱۰۰ تا m/min ۱۵۰۰) ریسیده می‌شوند. سپس، در مرحله کشش و تاب آن را با سرعت ۴۰۰ تا m/min ۱۰۰۰ روی بوبینهای مناسب می‌پیچند تا در جایی دیگر در مراحل بعدی موجدار(تکسچره) شده و در جوراب بافی مورد استفاده قرار گیرند یا به شکل خام و

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: mhkish@aut.ac.ir

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

صاف به پارچه تبدیل گردند[۴-۱]. خواص و چگونگی تولید نخهای چند رشته‌ای با سرعت زیاد که منجر به نخ کشیده شده می‌گردد نیز مورد توجه برخی پژوهشگران قرار گرفته است [۷-۵]. اکنون تولید تجاری این نوع نخها چندان رایج نیست، ولی انتظار می‌رود 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 می‌شود. یک دستگاه کشش شامل دو قسمت اساسی کشش و تاب دادن است. نخ چند رشته‌ای تازه ریسیده شده، که از این پس بدان نوریس (as-spun) اطلاق می‌گردد، از یک بسته باز شده و بین غلتکهای تغذیه و کشش، کشیده می‌شود. این نخ پس از عبور از راهنمای دم خوکی تاب داده شده و روی بوبین پیچیده می‌شود. رشته‌های نخ نایلون ۶ نوریس وقتی به مرحله کشش و تاب می‌رسد دارای ساختار نیمه بلوری‌اند [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 ۲۲ °C و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) نگهداری شوند تا از نظر ساختار درونی به تعادل برسند. این زمان از چند ساعت تجاوز نمی‌کند 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 گردن بوجود می‌آید که موضع آن بستگی به سرعت عبور نخ دارد [۶]. ساختار رشته‌ها در اثر کشش دچار دگرگونی شدید می‌گردد. از همان ابتدای اعمال کشش، تغییر ساختار بلوری با تبدیل شکل بلوری از α به γ رخ می‌دهد [۷] و آرایش‌های بلوری و مولکولی در قسمتهای بی‌نظم افزایش می‌یابد [۳-۱].

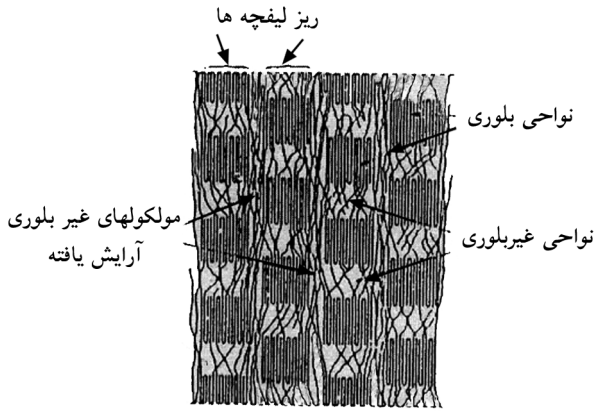
اثر برخی عوامل در مرحله کشش برخواص نخ چند رشته‌ای کشیده شده همواره مورد توجه بوده و مشخص شده است که با افزایش نسبت کشش، جرم مخصوص خطی و ازدیاد طول تا پارگی کاهش می‌یابد و تنش ظاهری در هنگام پارگی (استحکام) و مدول اولیه افزایش پیدا می‌کند [۱،۳]. با وجود این یافته‌ها پژوهشگران معتقدند که کشش فرایندی پیچیده است. عوامل موثر دارای برهم‌کنش‌اند و هر یک از آنها اثر قابل توجهی برخواص و ساختار رشته‌های تولیدی دارند [۲،۵].

در منابع مختلف آثار عوامل کشش و تثبیت گرمایی برخواص در یک محدوده وسیع برای الیافی که به طریق مذاب ریسی تهیه می‌شوند غالباً یک جا مورد توجه قرارگرفته است [۸،۹]. در حالی که مقالات منتشر شده جدید که فنون پیشرفته را بکار گرفته‌اند [۱۲-۱۰] تفاوتهای ساختاری را حتی برای نایلون ۶ و نایلون ۶۶ نیز مشخص می‌سازند. الیاف نایلون ۶ دارای ساختار لیفچه‌ای است. لیفچه‌ها از ورقه‌هایی بوجود می‌آیند که مولکولها در آنها تا خورده‌اند [۱۴، ۱۳، ۹]. خواص متفاوتی مانند استحکام و تقلیل طول به وسیله ویژگیهای ناحیه بی‌نظم (غیربلوری) معین می‌شود. دو ناحیه غیربلوری در نظر گرفته شده است: ناحیه غیر بلوری همسانگرد و ناحیه ناهمسانگرد [۹،۱۱،۱۲]. استحکام و کاهش طول الیاف نایلون۶ را وابسته به مقدار ناحیه غیربلوری ناهمسانگرد دانسته‌اند [۱۱،۱۲].

اوریانی و سیمال [۱۰] اثر گرما بر نخ چند رشته‌ای نایلون۶ در حالت آزاد را مورد توجه قرار داده‌اند. ملاحظه شده است که گرما موجب افزایش تبلور می‌گردد. نتایج حاصل از پرتو اشعه ایکس با زاویه کم نمایانگر وجود تکرار با دامنه زیاد است و نشان می‌دهد که علاوه بر افزایش تبلور، شدت تکرارها با دامنه زیاد نیز افزایش می‌یابد.

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

الگوی ساختاری رشته‌های 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 شده‌اند. این سه فاز نواحی بی نظم و بلوری در ریز لیفچه‌ها و مواد میان لیفچه‌ای آرایش یافته است. قطر لیفچه‌ها برابر چند ده تا چند صد آنگستروم است و لیف را پایدار نگه می‌دارند و در استحکام بخشی به لیف چندان موثر نیستند. مواد میان‌لیفچه‌ای محکمترین جزء لیف است و موجب استحکام کششی لیف می‌گردد. جرم مخصوص مواد میان لیفچه‌ای کمتر از جرم مخصوص ناحیه بلوری و بیشتر از ناحیه بی‌نظم است. دمای ذوب مواد میان لیفچه‌ای کمتر از دمای نرم

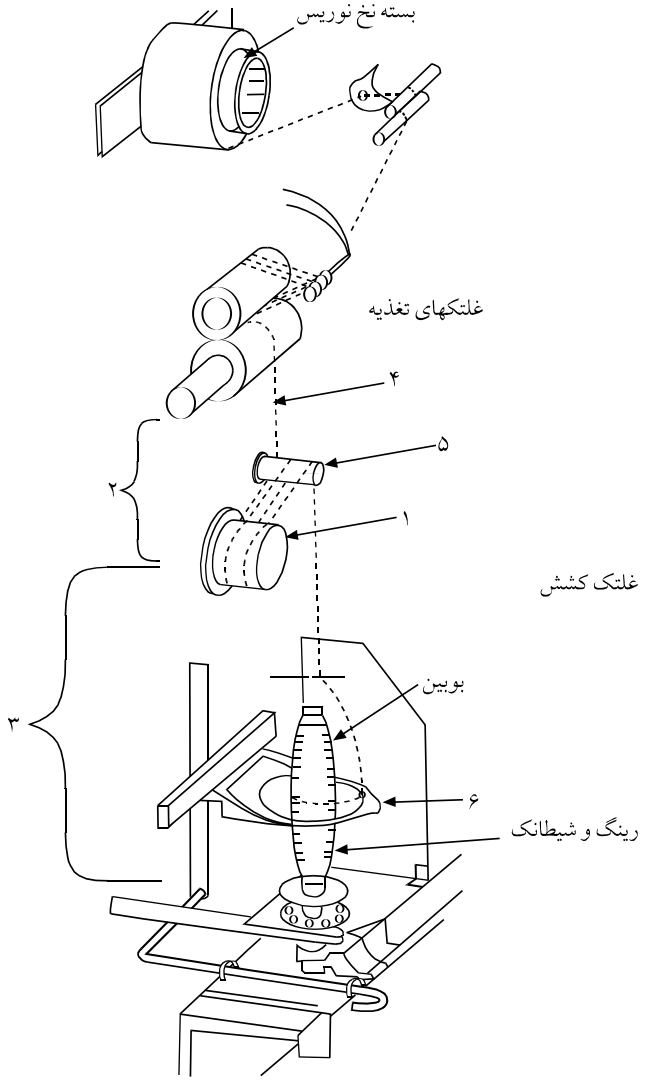


شکل ۱ - الگوی ساختاری الیاف نایلون ۶ ارائه شده توسط پروورسک [۹].

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 اسبرولی [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 [۴-۱]، 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.



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) زمان‌دهی روی بوبین.

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 می‌انجامید و نگهداری نخهای نوریس بدون تغییر خواص مشکل است، بنابراین از چند نمونه مختلف برای آزمایشها استفاده شد. بسته‌های نخ نوریس از 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 زمان‌دهی 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 زایلاخر (Schill & Seillacher) استفاده شد. این نوع لعاب دارای ترکیبات ضدالکتریسیته ساکن و ضد باکتری

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

دستگاهها

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

عملیات کشش نخهای نوریس

برای تولید نمونه ها با دستگاه کشش، ویژگیهای زیر در محدوده های یاد شده بطور مستقل تغییر داده شد. برای تعیین اثر تغییرات در هر یک از ویژگیهای زیر از نمونه های 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 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 گردید. بدیهی است که در این آزمایش طول ناحیه کشش و پیچش به ترتیب ۵۰ 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 و ۳۰ cm بوده است.

۶ - برای زمان دهی نخ کشیده روی بسته نیز بوبین 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 نمونه ها از کلاف پیچی با طول محیط یک متر و سرعت پیچش ثابت (برای ایجاد کشیدگیهای یکسان درکلافها) استفاده گردید.

خواص کششی: خواص کششی نمونه ها 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.

جدول ۱ - خواص کششی نخهای نوریس.

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

* 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 دسی‌تکس 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:

$$\text{تعداد دور کلاف} = ۲۵۰۰ / (۲\times d) \qquad (۱)$$

طول کلاف تهیه شده ($L_۱$) تحت تنش ۰/۱ cN/tex اندازه‌گیری شد. کلاف در آون با دمای خشک ۱۳۰°C بمدت ۱۰ min قرار گرفت و پس از خارج کردن و سرد شدن کلاف، طول آن ($L_۲$) تحت تنش ۰/۱ cN/tex اندازه‌گیری و درصد جمع‌شدگی $SH_{۱۳۰}$ با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد:

$$\%SH_{۱۳۰} = (L_۱ - L_۲) / L_۱ \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

علاوه بر اندازه‌گیری درصد جمع شدگی در دمای ۱۳۰°C درصد جمع شدگی در محیط استانداردآزمایشگاه یعنی دمای ۲۲°C و رطوبت نسبی ۶۸±۲ درصد، $SH_{۲۲}$ پس از زمان ۶۰ 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 $L_۱$ از آن تهیه گردید. پس از قراردادن کلافها به مدت ۶۰ min در محیط استاندارد طول کلافها ($L_۲$) اندازه‌گیری و از آنجا جمع‌شدگی مانند حالت قبل محاسبه شد.

جدول ۲ - اثر متغیرهای زمانی بر خواص کششی و جمع‌شدگی 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).

متغیر / خواص کششی و جمع‌شدگی		استحکام (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	کار تا پارگی (cN/tex)	مدول اولیه (cN/tex)	جمع شدگی (%)	
						۲۲°C و ۶۰ min	۱۳۰°C و ۱۰ min
تعداد پیچش نخ حول غلتک گودت (دور)	۴	۳۹/۳ (۲/۱)*	۳۶/۵ (۰/۵)	۱۱/۶ (۱/۷)	۲۹۸/۰ (۲۲/۳)	۲/۲ (۰/۲)	۸/۳ (۰/۱)
	۸	۳۹/۳ (۲/۱)	۴۰/۹ (۴/۷)	۱۱/۶ (۲/۱)	۳۲۳/۴ (۱۵/۲)	۲/۶ (۰/۴)	۸/۰ (۰/۲)
	۱۲	۴۶/۷ (۱/۱)	۵۰/۷ (۴/۶)	۱۵/۴ (۰/۹)	۲۶۵/۱ (۸/۶)	۲/۸ (۰/۱)	۸/۵ (۰/۲)
	۱۶	۴۶/۷ (۲/۴)	۴۹/۳ (۵/۴)	۱۵/۵ (۲/۱)	۲۵۰/۴ (۲۱/۷)	۲/۷ (۰/۲)	۷/۷ (۰/۲)
	۲۰	۴۶/۲ (۱/۹)	۵۰/۹ (۲/۸)	۱۵/۵ (۰/۹)	۲۶۲/۶ (۸/۹)	۲/۴ (۰/۳)	۸/۳ (۰/۱)
	۲۴	۴۵/۷ (۱/۵)	۴۹/۶ (۲/۷)	۱۴/۶ (۱/۳)	۲۷۷/۵ (۱۰/۹)	۲/۳ (۰/۱)	۷/۸ (۰)
طول ناحیه کشش (cm)	۵۰	۴۸/۷ (۲/۸)	۴۴/۹ (۵/۸)	۱۵/۰ (۲/۶)	۴۳۲/۳ (۲۱/۳)	۱/۳ (۰/۲)	۸/۳ (۰/۲)
	۵۵۰	۴۴/۳ (۳/۱)	۳۶/۴ (۳/۶)	۱۱/۱ (۱/۸)	۴۳۵/۶ (۱۴/۴)	۱/۳ (۰/۲)	۸/۱ (۰/۱)
	۱۰۵۰	۴۱/۸ (۱/۳)	۳۱/۶ (۲/۷)	۸/۸ (۱/۳)	۴۱۶/۹ (۱۹/۷)	۱/۸ (۰)	۸/۱ (۰/۱)
	۱۵۵۰	۴۳/۵ (۱/۸)	۳۶/۹ (۶/۲)	۱۰/۳ (۱/۸)	۳۶۳/۲ (۵/۳)	۲/۳ (۰/۲)	۸/۵ (۰/۱)
	۲۰۵۰	۴۴/۱ (۲/۲)	۳۸/۶ (۴/۷)	۱۱/۵ (۱/۸)	۳۶۲/۷ (۱۳/۸)	۲/۱ (۰/۲)	۸/۸ (۰/۲)
	۲۵۵۰	۴۳/۸ (۰/۹)	۳۶/۹ (۴/۸)	۱۰/۳ (۱۰/۹)	۳۵۷/۶ (۱۸/۴)	۱/۹ (۰/۱)	۸/۸ (۰/۵)
طول ناحیه پیچش (cm)	۳۰	۴۷/۷ (۱/۷)	۵۳/۱ (۳/۲)	۱۷/۰ (۱/۳)	۳۴۳/۴ (۱۴/۳)	۲/۱ (۰/۱)	۹/۷ (۰/۱)
	۳۳۰	۴۷/۹ (۳/۲)	۵۲/۲ (۵/۱)	۱۶/۹ (۲/۱)	۳۳۴/۳ (۱۹/۳)	۱/۴ (۰/۱)	۸/۷ (۰/۱)
	۵۳۰	۵۰/۲ (۲/۳)	۵۵/۳ (۵/۲)	۱۸/۱ (۲/۱)	۳۳۲/۶ (۱۹/۶)	۱/۵ (۰/۱)	۸/۸ (۰/۱)
	۷۳۰	۴۳/۸ (۲/۳)	۵۱/۱ (۵/۰)	۱۵/۷ (۲/۱)	۳۰۲/۶ (۱۸/۱)	۱/۸ (۰/۲)	۸/۳ (۰/۲)
	۹۳۰	۴۰/۷ (۳/۲)	۴۵/۹ (۵/۳)	۱۲/۷ (۲/۱)	۳۰۰/۴ (۲۹/۶)	۱/۸ (۰/۳)	۸/۴ (۰/۲)

* 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).

خواص کششی / متغیر		استحکام (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	کار تا پارگی (cN/tex)	مدول اولیه (tex)
دمای تثبیت در ناحیه کشش (°C)	۲۵	۴۲/۱ (۲/۹)*	۴۸/۷ (۳/۵)	۱۴/۲ (۱/۷)	۲۵۵/۸ (۱۳/۸)
	۱۰۰	۳۹/۶ (۲/۱)	۴۴/۰ (۴/۷)	۱۲/۲ (۰/۸)	۲۵۳/۴ (۱۹/۲)
	۱۲۰	۴۰/۶ (۱/۳)	۴۴/۶ (۴/۱)	۱۲/۷ (۱/۷)	۲۵۱/۲ (۱۳/۳)
	۱۴۰	۳۸/۶ (۱/۷)	۳۹/۹ (۴/۴)	۱۰/۳ (۱/۷)	۲۳۳/۴ (۱۳/۸)
	۱۶۰	۴۰/۹ (۱/۷)	۴۳/۵ (۳/۴)	۱۲/۲ (۱/۳)	۲۵۰/۴ (۱۳/۱)
	۱۸۰	۲۸/۷ (۲/۲)	۳۴/۶ (۵/۴)	۶/۵ (۱/۷)	۲۴۳/۵ (۱۰/۷)
دمای تثبیت در ناحیه پیچش (°C)	۲۵	۴۴/۶ (۳/۷)	۵۵/۱ (۷/۱)	۱۶/۴ (۲/۶)	۳۸۱/۷ (۵۹/۲)
	۱۰۰	۴۷/۵ (۲/۵)	۴۶/۵ (۴/۴)	۱۵/۳ (۲/۲)	۳۷۹/۲ (۳۱/۹)
	۱۲۰	۴۷/۰ (۳/۲)	۴۲/۰ (۸/۱)	۱۳/۶ (۳/۶)	۳۰۸/۱ (۱۶/۷)
	۱۴۰	۴۸/۰ (۱/۶)	۴۱/۱ (۵/۱)	۱۳/۸ (۲/۳)	۳۴۸/۰ (۲۲/۲)
	۱۶۰	۴۷/۵ (۲/۵)	۳۸/۵ (۵/۰)	۱۲/۴ (۱/۸)	۳۴۲/۹ (۱۹/۲)
	۱۸۰	۴۶/۸ (۲/۵)	۳۸/۶ (۳/۷)	۱۲/۰ (۱/۸)	۳۴۵/۳ (۲۰/۵)

* 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).

خواص کششی / متغیر		استحکام (cN/tex)	ازدیاد طول تا پارگی (%)	کار تا پارگی (cN/tex)	مدول اولیه (tex)
زمان‌دهی نخ کشیده روی بسته (h)	۰	۴۰/۱ (۳/۲)*	۵۰/۹ (۳/۵)	۱۳/۹ (۱/۳)	۳۳۰/۴ (۳۵/۸)
	۴/۵	۳۹/۶ (۲/۴)	۵۱/۰ (۴/۰)	۱۳/۲ (۱/۷)	۳۱۹/۸ (۲۶/۹)
	۲۵/۵	۴۰/۰ (۲/۶)	۵۱/۵ (۴/۹)	۱۴/۰ (۱/۷)	۳۲۷/۶ (۱۶/۹)
	۴۷/۵	۴۲/۷ (۳/۷)	۵۳/۸ (۵/۳)	۱۵/۷ (۳/۱)	۳۴۸/۳ (۱۹/۲)
	۱۰۰	۴۲/۴ (۱/۹)	۵۳/۰ (۳/۰)	۱۴/۹ (۰/۹)	۳۴۴/۴ (۱۳/۷)
زمان‌دهی نخ کشیده وسط بسته (h)	۰	۴۰/۰ (۲/۶)	۵۰/۷ (۵/۲)	۱۳/۴ (۲/۱)	۳۱۷/۱ (۱۶/۷)
	۴/۵	۴۱/۶ (۱/۷)	۴۹/۸ (۳/۰)	۱۳/۹ (۱/۳)	۳۲۸/۷ (۳۰/۱)
	۲۵/۵	۳۷/۲ (۲/۶)	۵۰/۶ (۴/۳)	۱۳/۰ (۲/۲)	۳۰۷/۸ (۲۵/۵)
	۴۷/۵	۴۰/۱ (۲/۴)	۵۱/۴ (۵/۳)	۱۳/۷ (۲/۱)	۳۲۰/۱ (۲۱/۱)
	۱۰۰	۳۹/۱ (۱/۹)	۵۱/۰ (۳/۳)	۱۳/۱ (۱/۷)	۳۰۸/۵ (۲۱/۵)

* اعداد داخل پرانتز انحراف معیار هر میانگین است.

نتایج و بحث

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 [۳-۱]. بطور متوسط عملیات کشش موجب افزایش استحکام از ۴ به cN/tex ۴۳ 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].

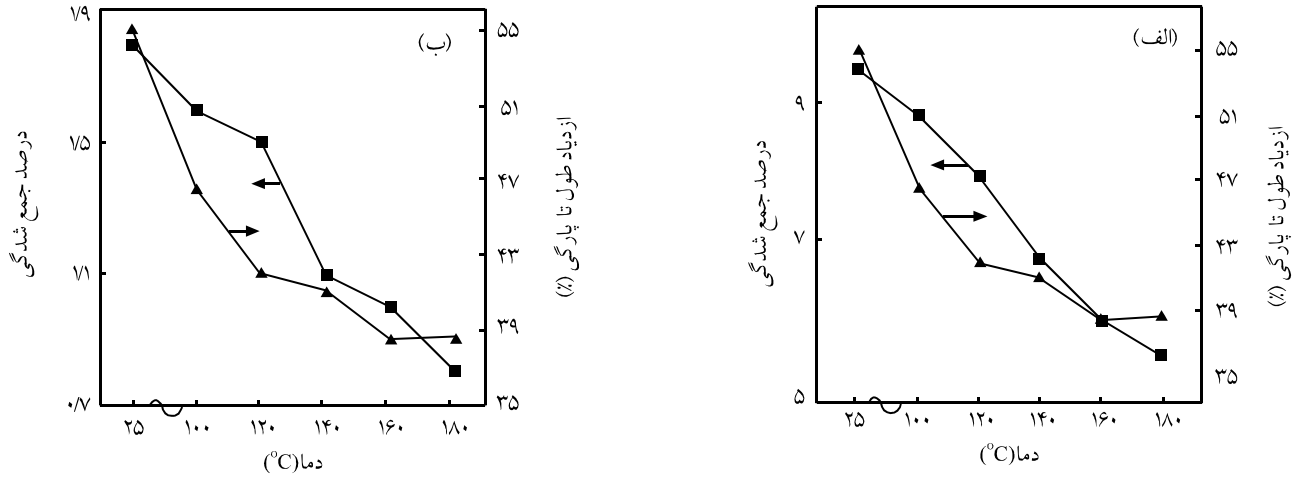
قسمت بالایی جدول ۲ نشان می‌دهد که با تغییر تعداد دور پیچش نخ حول غلتک گودت بیش از ۴ دور، خواص کششی دچار تغییر می‌شود، اما افزایش از ۱۲ تا ۲۴ دور تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد. بنظر می‌رسد که برای ایجاد اصطکاک کافی بین نخ و غلتک گودت بیش از ۴ دور پیچش حول آن برای اعمال کشش لازم است. بیش از ۸ دور اثری بر مقدار 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 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 کاهشی 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 بازبینی قرار گرفت، رشته های 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 خوکی 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 می دهند. زمان توقف که با ۸



شکل ۳ - اثر دما در ناحیه کشش بر ازدیاد طول تا پارگی و جمع شدگی در شرایط آزمایش : (الف) دمای ۱۳۰°C و زمان min ۱۰ و (ب) دمای استاندارد ۲۲°C و زمان ۶۰min.

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 بی‌اثر است. در نایلون ۶ به علت وجود عوامل پپتیدی، سرعت تبلور بسیار زیاد است [۱،۸]. 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 ۱۸۰°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 ۱۸۰°C در ناحیه کشش ملاحظه شد که لعاب ریسندگی بشدت تبخیر می‌شود که بسیار متفاوت با دماهای دیگر است و پارگی رشته ها نیز بوجود می‌آید. در دمای ۱۸۰°C در ناحیه پیچش فقط تبخیر لعاب ریسندگی روی داد و پارگی رشته‌های محسوسی ملاحظه نشد. جدول ۳ نشان می‌دهد که دمای تثبیت بین ۲۵ تا ۱۶۰ °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 جمع‌شدگی و ازدیاد طول تا پارگی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش دما در ناحیه کشش، جمع‌شدگی و ازدیاد طول تا پارگی هر دو کاهش می‌یابند. جمع‌شدگی در ۱۳۰ °C ($SH_{۱۳۰}$) و دمای ناحیه کشش (T_S) از معادله رگرسیون خطی (معادله ۳) با ضریب رگرسیون خطی R = ۰/۹۱ پیروی می‌کند:

$$SH_{۱۳۰} = ۱۰/۱۰ - ۰/۰۲ (T_S) \quad (۳)$$

جمع‌شدگی در شرایط استاندارد $SH_{۲۲}$ و دمای ناحیه کشش (T_S) از معادله رگرسیون خطی یعنی معادله ۴ با ضریب رگرسیون خطی R = ۰/۸۵ پیروی می‌کند:

$$SH_{۲۲} = ۳/۴۶۵ - ۰/۰۱۴۱ (T_S) \quad (۴)$$

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

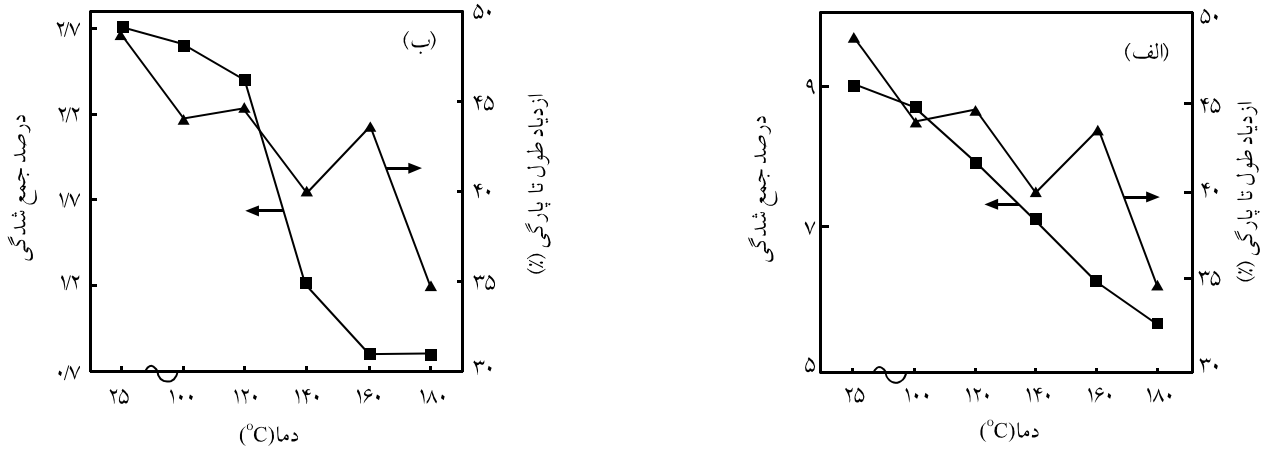
جمع‌شدگی در ۱۳۰ °C ($SH_{۱۳۰}$) و دمای ناحیه پیچش (T_W) نیز تابع معادله رگرسیون خطی به شکل معادله ۵ با ضریب رگرسیون خطی R = ۰/۹۳ است:

$$SH_{۱۳۰} = ۱۰/۸ - ۰/۰۲۸۷ (T_W) \quad (۵)$$

جمع‌شدگی در شرایط استاندارد $SH_{۲۲}$ و دما در ناحیه پیچش T_W از معادله رگرسیون خطی به شکل معادله ۶ با ضریب رگرسیون خطی R=۰/۹۳ بدست می‌آید:

$$SH_{۲۲} = ۲/۱۰۰ - ۰/۰۰۷ (T_W) \quad (۶)$$

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



شکل ۴ - اثر دما در ناحیه کشش بر ازدیاد طول تا پارگی و جمع‌شدگی در شرایط آزمایش : (الف) دمای ۱۳۰°C و زمان ۱۰ min و (ب) دمای استاندارد ۲۲°C و زمان ۶۰ min.

موافق نتایج اوریانی و سیمال است [۱۰]. معادله های ۴ و ۶ نشان می دهند که اگر جمع شدگی در شرایط استاندارد $SH_{۲۲}$ به نصف تقلیل یابد، دمای ناحیه کشش (T_S) باید برابر ۱۲۳°C یا دمای ناحیه پیچش (T_W) باید برابر ۱۵۰°C انتخاب شود. در این حالت معادله های ۳ و ۵ نشان می دهند که جمع شدگی در ۱۳۰°C ($SH_{۱۳۰}$) به ترتیب به مقدار ۷/۶ و ۶/۵ درصد تنزل خواهد یافت.

برای اندازه گیری اثر زمان دهی، نمونه هایی از روی بوبینهای چند کیلوگرمی و نمونه هایی 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 می شود که زمان دهی به نخ کشیده شده روی بوبین اثر قابل ملاحظه ای بر خواص کششی ندارد. این امر، برای نخهای گرفته شده از سطح و وسط بسته نیز دیده می شود.

مقدار جمع شدگی تغییر محسوسی را نشان می دهد. شکل ۵ اثر زمان دهی به نخ کشیده شده روی بسته بر مقادیر جمع شدگی و ازدیاد طول تا پارگی را نشان می دهد. جمع شدگی در دمای ۱۳۰°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، می توان یک معادله رگرسیون لگاریتمی نیز برای میانگین جمع شدگیهای نمونه های سطح و وسط بسته برحسب زمان بدست آورد. ملاحظه می شود جمع شدگی در $SH_{۱۳۰}$ برحسب زمان t از معادله ۷ با ضریب رگرسیون خطی R= ۰/۹۱ پیروی می کند:

$$SH_{۱۳۰} = ۶/۸ \exp(-۰/۰۱۰۰t) \qquad (۷)$$

در این حالت زمان لازم برای کاهش جمع شدگی به نصف مقدار اولیه یعنی ۴/۳ درصد برابر ۶۹۴ h خواهد شد. میانگین جمع شدگی استاندارد $SH_{۲۲}$ برای نمونه های روی بوبین و وسط بوبین بر حسب زمان از معادله ۸ با ضریب رگرسیون خطی R = ۰/۷۸ بدست می آید:

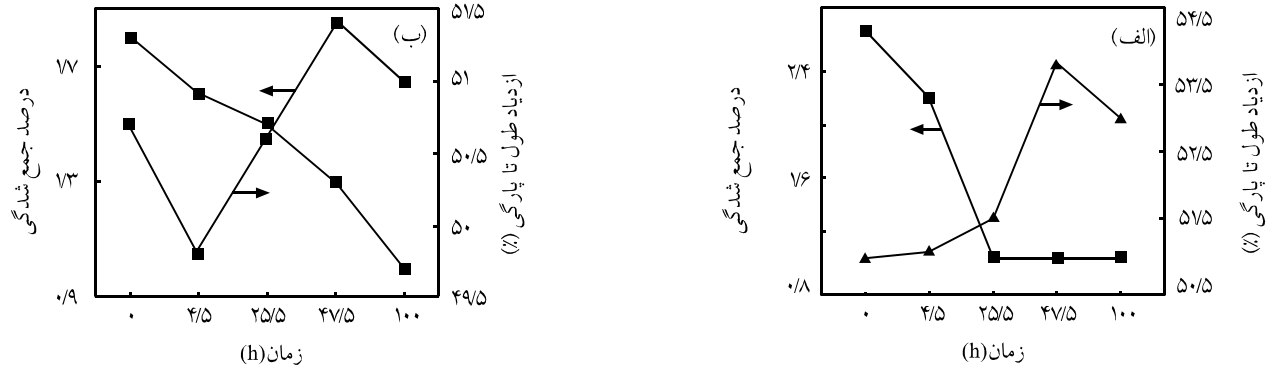
$$SH_{۲۲} = ۲/۰۱ \exp(-۰/۰۰۹۹t) \qquad (۸)$$

چنانچه لازم باشد تا جمع شدگی به نصف مقدار اولیه یعنی ۱ درصد برسد، باید زمانی معادل ۷۰h به نخ روی بوبین فرصت داده شود.

در این پژوهش، ملاحظه شد که خواص نخ چند رشته ای نایلون ۶ در اثر کشش دچار تغییر فاحشی می شود. زمان توقف (در محدوده آزمایشها) در طول دستگاه کشش خواص ذاتی نخ را، که حاصل تغییر ساختار رشته هاست، تغییر نمی دهد.

زمان توقف در ماشین چنانچه کوتاهتر از زمان لازم برای ایجاد تغییرات در نخ باشد نمی تواند بر خواص نخ اثر بگذارد، اما ملاحظه می شود 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 می دهد. کاهش ازدیاد طول تا پارگی و جمع شدگی با افزایش دمای تثبیت در ناحیه کشش و پیچش ملاحظه شد. این نتایج به وسیله نظریه های 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 تاخوردن مولکولهای زنجیری است. ولی، در آزمایشهای انجام شده ملاحظه می گردد 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] نمی توان نتایج را توجیه کرد.



شکل ۵ - اثر زمان دهی به نخ کشیده شده روی بسته بر ازدیاد طول تا پارگی و نتایج آزمایشهای جمع شدگی در زمان min ۶ و محیط استاندارد : (الف) سطح بسته و (ب) وسط بسته.

نظریه ساده میسلهای ریشکدار [۸،۱۳] برخی تغییرات را توضیح می‌دهد، ولی مکانیسمی برای مشخص ساختن اثر زمان بدست نمی‌دهد. بنابراین، بنظر می‌رسد که مکانیسم حاکم، تغییر در ساختار قسمت غیربلوری ناهمسانگرد باشد که پروورسک [۹] وبه گونه‌ای دیگر سیمال [۱۱] و مورثی و همکاران [۱۲] پیشنهاد کرده‌اند و شرح آن در مقدمه آمده است.

با توجه به الگوی ساختاری پروورسک [۹] افزایش استحکام و کاهش ازدیاد طول تا پارگی و افزایش مدول اولیه در اثر کشش به افزایش درصد مواد میان لیفچه‌ای نسبت داده می‌شود. کاهش طول در دمای محیط در اثر از دست رفتن آرایش در نواحی بی‌نظم است که به کندی انجام می‌گیرد و خواص دیگر را تغییر نمی‌دهد.

در دمای بیشتر از دمای انتقال شیشه‌ای نایلون ۶، با گسسته شدن پیوندهای هیدروژنی تشکیل هسته‌های بلوری در نواحی میان لیفچه ای ممکن شده و تبلور ثانویه بوجود می‌آید. همچنین، رشد و تغییر شکل بلوری حاصل می‌شود که پایداری ساختار بیشتر شده و از آن به بعد کاهش طول کمتری خواهد داشت. منشأ کاهش طول پس از کشش مربوط به ناحیه بی‌نظم است که می‌تواند سیالیت داشته باشد. در دمای بالاتر در هنگام پیچش، مولکولها مستقیمتر شده و تبلور افزایش می‌یابد، در نتیجه ساختار پایدارتری بوجود می‌آید.

نتیجه‌گیری

در بررسی اثر تعدادی از متغیرهای فرایند کشش بر برخی خواص نخ نایلون۶، دو دسته متغیرهای زمانی و دمایی تغییر داده شد و خواص کششی و جمع شدگی 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 ـ تثبیت گرمایی نخ نایلون ۶ چند رشته‌ای در دمای حدود ۱۵۰°C ترجیحاً در ناحیه پیچش و اتخاذ تمهیدات متناسب 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 ـ زمان‌دهی 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.