

اثر دمای خشک کردن چیپس پلی استر بر خواص نخ تکسچره

Effect of Drying Temperature of Polyester Chips on the Properties of Textured Yarn

لاله قاسمی، محمد مرشد*

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده نساجی، کدپستی ۸۴۱۵۴

دریافت ۸۲/۹/۳، پذیرش ۸۴/۷/۲۰

چکیده

خشک کردن چیپس پلی استر یکی از مراحل اساسی تولید الیاف پلی استر است. این امر به دلیل حساسیت گروه‌های استری به آبکافت در مجاورت مولکول‌های آب است. الیاف پلی استر ریسیده شده در این پژوهش، با سرعت 2200 m/min تولید شده‌اند. بنابراین، به شکل نیمه آرایش یافته‌اند. برای بهبود خواص و کاربرد مطلوب‌تر محصول، این الیاف معمولاً تکسچره می‌شوند. در این پژوهش اثر شرایط خشک کردن چیپس پلی استر بر خواص نخ تکسچره حاصل بررسی شد. نخهای نیمه آرایش یافته پلی استر که دمای خشک کردن چیپس آنها 175 ، 170 ، و 180°C بود، تکسچره شد. سپس استحکام، ازدیاد طول تا پارگی، رنگ پذیری، جمع شدگی، تعداد تشکیل حلقه و بلورینگی نخ تکسچره حاصل بررسی شد. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که دمای خشک کردن چیپس پلی استر از نظر آماری اثر معنی داری بر ویژگیهای نخ تکسچره دارد.

واژه‌های کلیدی

پلی اتیلن ترفتالات، چیپس، خشک کردن، تکسچره کردن، خواص

مقدمه

دمای 175°C به عنوان بهترین دما برای خشک کردن چیپس پلی استر مشخص شد. در دماهای کمتر از 175°C به دلیل خارج نشدن کامل رطوبت از چیپس پلی استر، تخریب آبکافتی پلی استر در حالت مذاب اتفاق می‌افتد و این امر باعث تضعیف کیفیت نخ می‌شود. در دماهای

خشک کردن چیپس پلی استر یکی از مراحل مهم و اساسی تولید الیاف پلی استر است. در مقاله قبل [۱]، اثر دمای خشک کردن چیپس پلی استر بر خواص الیاف نیمه آرایش یافته بررسی شد. همان‌طور که ذکر شد در شرایط ریسندگی بکارگرفته شده در پژوهش قبلی،

Key Words

PET, chips, drying, texturizing, properties

آرایش نیافته مناطق بی شکل منجر به جمع شدگی می شوند [۷]. بطور کلی پژوهشهای انجام شده حاکی از این امر است که مناطق بی شکل نقش اساسی را در جمع شدگی دارند و بلوری بودن ساختار باعث پایداری آن می شود [۷]. لودویگ نیز در پژوهشهای خود نشان داد که جمع شدگی بطور اساسی به دلیل رهایی تنش در بخشهای غیر بلوری الیاف است. بنابراین، با افزایش بلورینگی جمع شدگی کاهش می یابد [۸].

ساختار مولکولی الیاف بر خواص مکانیکی آن اثر دارد. عواملی که برای توصیف ساختار مولکولی بکار گرفته می شوند، عبارتند از درصد بلورینگی، اندازه بلورها، آرایش یافتگی بلورها و آرایش یافتگی زنجیرهای مولکولی [۹]. بلورینگی پلیمرها یکی از خواص مهم پلیمرهاست [۶] و بر خواص الیاف تولیدی از جمله استحکام و ازدیاد طول اثر بسزایی دارد [۹، ۱۰]. پژوهشهای انجام شده نشان می دهد که درصد بلورینگی الیاف اثر زیادی بر ازدیاد طول تا پارگی آنها دارد و با افزایش درصد بلورینگی ازدیاد طول تا پارگی الیاف کاهش می یابد. افزایش تبلور باعث افزایش استحکام الیاف می شود. اما، اثر درصد بلورینگی بر استحکام الیاف کمتر از اثر آن بر ازدیاد طول تا پارگی الیاف است [۹]. پژوهشهای انجام شده توسط دیگران [۱۰] نیز نشان می دهد که با افزایش بلورینگی، استحکام افزایش و مقدار ازدیاد طول تا پارگی کاهش می یابد. عوامل بسیاری بر سرعت و مقدار تبلور پلیمرها اثر می گذارند که بعضی از آنها عبارتند از سرعت سرد کردن، جرم مولکولی و تعداد شاخه های جانبی [۱۱]. مطالعات زیادی راجع به اثر عوامل مختلف بر بلورینگی پلی اتیلن ترفتالات انجام شده است [۱۲، ۱۳]. یکی از مشخصات پلی اتیلن ترفتالات، وجود حلقه های بنزن در زنجیر آن است که منجر به سختی زنجیرهای پلیمری می شود [۶]. این امر باعث می شود که پلی استر به سختی بلوری شود [۶]. معمولاً الیاف پلی اتیلن ترفتالات نیمه آرایش یافته تولیدی دارای بلورهای رشد کرده نیستند و رشد بلورها در مراحل بعدی کشش و تثبیت گرمایی اتفاق می افتد [۶]. از روشهای مختلفی برای اندازه گیری مقدار تبلور در پلیمرها استفاده می شود که از جمله آنها می توان به روش تعیین درجه تبلور به وسیله تفرق اشعه X اشاره کرد. درجه تبلور می تواند با استفاده از منحنیهایی اندازه گیری شود [۶، ۱۱]. از روش طیف سنجی IR و NMR نیز برای تعیین درجه تبلور استفاده می شود [۶، ۱۱]. پژوهشهای انجام شده نشان می دهد در طیف IR پیکهای ۸۴۸، ۸۷۳/۵ و 972 cm^{-1} می توانند برای تخمین تبلور پلی اتیلن ترفتالات بکار گرفته شوند [۱۴، ۱۵]. در این پژوهش، از روشهای X-ray و طیف سنجی FTIR برای مقایسه تبلور نمونه های مختلف استفاده شد.

خشک کردن بیشتر از 175°C ، اندازه گیری گرانیوی نشان می دهد که پلیمر شدن در فاز جامد و افزایش وزن مولکولی پلی استر البته به مقدار کم اتفاق می افتد و به دلیل پهن تر شدن توزیع وزن مولکولی و افزایش ذرات گرد و غبار همراه چپیس پلی استر، در دماهای بالا خشک کردن چپیس پلی استر، نایکنواختی الیاف نیمه آرایش یافته حاصل افزایش می یابد [۱]. الیاف تهیه شده در این پژوهش، با سرعت 3200 m/min تولید شدند. با توجه به سرعت تولید، این الیاف به شکل نیمه آرایش یافته (partially oriented yarn, POY) هستند [۲، ۳] ولی ثابت ابعادی خوبی ندارند. برای افزایش قابلیت عایق بندی گرمایی، ازدیاد ضریب پوشاندگی نخ و تثبیت ابعادی نخهای نیمه آرایش یافته این نخها معمولاً تکسچره می شوند [۴]. در ادامه پژوهش قبل، نخهای نیمه آرایش یافته ای که دمای خشک کردن چپیس پلی استر آنها 170°C ، 175°C و 180°C بود، کشیده و تکسچره و اثر شرایط خشک کردن بر خواص نخ تکسچره بررسی شد. در مرحله تکسچره کردن نخهای نیمه آرایش یافته در عملیات کشش و تثبیت گرمایی قرار می گیرند. کشش باعث ایجاد ساختار جدید در الیاف می شود. الیاف کشیده شده اگر در عملیات گرمایی قرار نگیرند ناپایداری ابعادی زیادی نشان می دهند و به همین دلیل، عملیات تثبیت گرمایی به همراه عملیات کشش انجام می شود تا الیاف نهایی ثابت ابعادی خوبی در دماهای بالا داشته باشند [۵]. در ماشین تکسچره ای که در این پژوهش استفاده شد، عملیات کشش در دماهای بالا انجام شد. عملیات گرمایی که بطور همزمان یا جداگانه با عملیات کشش انجام می شود، باعث پایداری ابعادی الیاف و در نتیجه کاهش جمع شدگی باقیمانده و کاهش ازدیاد طول تا پارگی الیاف می شود.

نتایج پژوهشهای زیبایی با توجه به مدل های ساختاری که برای مواد ویسکوالاستیک (که الیاف نیز شامل آنها می شود) در نظر گرفته حاکی از این امر است که جمع شدگی باقیمانده ای که در الیاف کشیده شده وجود دارد، به شرایط کشش بستگی دارد و تنش بیشتر در بخش کشش منجر به جمع شدگی باقیمانده بیشتری می شود [۵]. پژوهشهای دیگران نیز نشان می دهد که جمع شدگی بستگی به عملیات انجام شده روی پلی اتیلن ترفتالات دارد. اگر رهایی از تنشهای وارده به الیاف بطور کامل انجام شود، جمع شدگی کاهش می یابد [۶]. بنابراین، بطور عمده مقدار جمع شدگی به تنشهای باقیمانده در الیاف بستگی دارد و اگر این تنشها برطرف شود، جمع شدگی باقیمانده در الیاف کاهش می یابد. مطالعات زیادی راجع به جمع شدگی الیاف پلی استر انجام شده است. مطالعات انجام شده توسط سامویل و ویلسون نشان می دهد که جمع شدگی بطور مستقیم به آرایش یافتگی بخشهای بی شکل مرتبط است و بخشهای

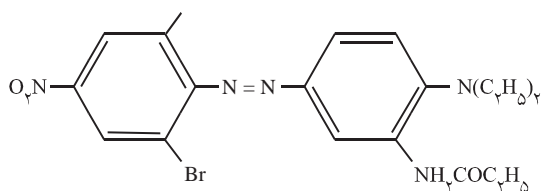
نسبت به رشته های دیگر جبران کنند و باعث ایجاد حلقه در نخ تکسچره نهایی می شوند.

در این پژوهش، اثر شرایط خشک کردن چپیس پلی استر بر خواص نخ تکسچره حاصل بررسی شده است. بدین منظور، الیاف نیمه آرایش یافته ای که دمای خشک کردن چپیس پلی استر آنها ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰°C بود، تکسچره شد و خواص نخ تکسچره حاصل از قبیل بلورینگی، استحکام، ازدیاد طول، جمع شدگی، رنگ پذیری و وجود حلقه بررسی شد.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از چپیس پلی استر ساخت شرکت هانکوک کشور کره با مشخصات ذکر شده در مقاله قبل [۱]، رنگ پراکنده با نام Foron Blue SE-۲R ساخت شرکت ترنتکست (ساختار شیمیایی این رنگ در ساختار ۱ آمده است) و صابون سیلوپاین از نو غیر یونی - آنیونی استفاده شد.



ساختار ۱

دستگاهها

دستگاههای بکار گرفته شده در این پژوهش به قرار زیر است: استحکام سنج با سرعت ازدیاد طول ثابت (constant rate elongation, CRE) ساخت شرکت زوئیک کشور آلمان مدل ۲۰۰۱ برای اندازه گیری استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی نخهای تکسچره، طیف سنج زیرقرمز Bomem مدل Mb۱۰۰ ساخت شرکت Hartmann and Braun کشور کانادا برای برداشت طیف FTIR از نخهای تکسچره، پرس دستی برای تهیه قرص طیف گیری، دستگاه کلاف پیچ ساخت شرکت کیمیا بهریس ایران، وزنه ۱ کیلوگرمی برای آزمایش تعیین درصد جمع شدگی، دستگاه X-ray فیلیپس مدل X-Pert-MPD ساخت هلند بالوله مسی و طول موج ۷۵۴ Å، دستگاه رنگرزی خودکار مدل Ahiba ۱۰۰۰ ساخت کشور سوئیس، طیف نورسنج انعکاسی مدل تکس فلش ۲۰۰۰ ساخت شرکت سوئیس دیتاکالر، دستگاه تکسچره مدل FTF سال ۲۰۰۰ موجود در شرکت نخ پلی استر زاگرس ساخت شرکت Riter.

مقدار رنگ پذیری نخ تکسچره حاصل، یکی از عوامل مهمی است که اهمیت زیادی دارد. میلرو بالمن در پژوهشهای خود نشان داده اند که مقدار رنگ پذیری نخ تکسچره نهایی بستگی به خواص نخ نیمه آرایش یافته اولیه دارد [۱۶]. پژوهشهای انجام شده توسط هیوویل و هیوسمن [۱۷] نشان می دهد حجم کل مناطق بی شکل و در دسترس بودن این مناطق بر مقدار جذب رنگ اثر زیادی دارد. در دسترس بودن مناطق بی شکل بستگی به قابلیت حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی شکل دارد. از آنجا که بلورها، عامل محدودکننده حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی شکل هستند، با افزایش تعداد بلورها، قابلیت حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی شکل کاهش می یابد. بنابراین، در درصد بلورینگی یکسان هنگامی که تعداد بلورها بیشتر و اندازه آنها کوچکتر باشد، نسبت به هنگامی که تعداد بلورها کمتر و اندازه آنها بزرگتر است، حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی شکل با محدودیت بیشتری مواجه شده، در نتیجه قابلیت دسترسی به این مناطق کمتر می شود [۱۷]. همچنین، پژوهشهای انجام شده توسط گوپتا و همکاران [۱۸] نشان داده است که کاهش آرایش یافتگی بخشهای بی شکل، باعث افزایش رنگ پذیری نخ می شود [۱۸]. بنابراین، تعداد بلورها و اندازه آنها، همچنین حجم کل مناطق بی شکل در دسترس و آرایش یافتگی مناطق بی شکل از عوامل مهم و مؤثر در مقدار رنگ پذیری الیاف است. با افزایش تعداد بلورها، حجم کل مناطق بی شکل کاهش می یابد، در حالی که تعداد بلورها کاهش یابد، حتی اگر حجم آنها افزایش یابد نسبت به حالتی که تعداد بلورها بیشتر و اندازه آنها کوچکتر است، رنگ پذیری الیاف افزایش می یابد. آرایش یافتگی مناطق بی شکل نیز یکی از عواملی است که بر رنگ پذیری الیاف اثر دارد. با افزایش آرایش یافتگی، نفوذ رنگ به مناطق بی شکل کم شده، در نتیجه قابلیت رنگ پذیری الیاف کاهش می یابد [۱۹]. در عمل، یکی از عواملی که باعث تضعیف کیفیت نخ نهایی می شود، وجود حلقه در نخ تکسچره است. یکی از دلایل تشکیل حلقه در نخ تکسچره تغییرات چگالی خطی بین رشته هاست [۲۰].

در مرحله تثبیت گرمایی نخ، در گرم کن اول ماشین تکسچره به روش تاب مجازی، رشته ها دچار جمع شدگی می شوند. در حالتی که چگالی خطی بین رشته ها متفاوت باشد درصد جمع شدگی رشته ها به دلیل تغییرات چگالی خطی، متفاوت است. در این حالت رشته های ظریفتر بیشتر دچار جمع شدگی می شوند و رشته های ضخیم تر به مقدار کمتری در معرض جمع شدگی قرار می گیرند [۲۰]. بنابراین، به دلیل جمع شدگی کمتر و در نتیجه طول بیشتر رشته های ضخیم تر نسبت به رشته ها ظریفتر، این رشته ها برآمده می شوند تا زیادتر بودن طول را

روشها

تکسچره کردن

ابتدا نخهای نیمه آرایش یافته به وسیله دستگاه تکسچره به روش تاب مجازی و با استفاده از سامانه دیسکهای اصطکاکی تکسچره شد. در فرایند تکسچره، نخهای نیمه آرایش یافته پس از گذشتن از گرم کن اول و کشش در این ناحیه، از واحد تاب دهنده عبور کرد، سپس وارد گرم کن دوم شد، در نهایت روی بوبین پیچیده شد. دمای گرم کن اول در ماشین تکسچره 210°C ، دمای گرم کن دوم 180°C ، نسبت D/Y برابر $1/76$ و سرعت تکسچره 650 m/min بود.

بررسی تبلور الیاف به روش FTIR

برای مقایسه تبلور الیاف از طیف سنجی FTIR استفاده شد. به این منظور، ابتدا مقدار کمی از الیاف با قیچی به قطعات بسیار ریزی بریده شد و بعد از مخلوط کردن با پتاسیم برمید در هاون چینی به پرس دستی منتقل شد. در پرس، این مخلوط برای تولید فیلم فشرده شد. سپس، فیلمهای حاصل در دستگاه طیف سنجی FTIR قرار گرفت و طیفهای هر یک از نمونه ها برداشت شد.

تعیین مقدار جمع شدگی نخهای تکسچره شده

برای تعیین مقدار جمع شدگی نخهای تولید شده در شرایط خشک کردن متفاوت، مطابق روش استاندارد ASTM [21] ابتدا به کمک دستگاه کلاف پیچ، 13 متر نخ، پیچیده و در ادامه، وزنه 1 kg به انتهای کلاف آویخته شد و طول اولیه کلاف اندازه گیری شد (L_1). سپس، کلاف نخ به داخل حمام آب جوش که محتوی چند قطره شوینده است، منتقل و پس از 30 min ، حمام تا دمای 50°C سرد شد. سپس، نمونه آبیگری و داخل آن با دمای $65 \pm 3^{\circ}\text{C}$ به مدت 1 h قرار داده شد. در ادامه، وزنه 1 kg به انتهای کلاف آویخته و طول ثانویه کلاف اندازه گیری شد (L_2). درصد جمع شدگی نخها به وسیله معادله (1) محاسبه شد:

$$\text{درصد جمع شدگی} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله L_1 طول اولیه کلاف و L_2 طول ثانویه کلاف است.

محاسبه وزن وزنه مورد استفاده

وزن وزنه ای که باید به انتهای کلاف آویخته شود از معادله (2) محاسبه شد:

$$\text{وزن} = 0.5 \times N \times D \quad (2)$$

که در این معادله D چگالی خطی نخ و N تعداد دور کلاف است. از آنجا که چگالی خطی نخهای تکسچره 155 den و تعداد دور کلاف 13 است. بنابراین:

$$1\text{ kg} = 1000\text{ g} \approx 1007 = 155 \times 13 \times 0.5 = \text{نیرو}$$

بررسی رفتار رنگ پذیری نمونه های مختلف

برای بررسی رفتار رنگ پذیری نمونه های تکسچره تولیدی در شرایط مختلف، مطابق با منابع موجود [22] از رنگ Foron Blue SE-2R استفاده شد. مقدار رنگ موجود در حمام رنگرزی 3 درصد (بر حسب وزن کالا) بود، رنگرزی در دمای 100°C به مدت 60 min انجام شد. برای ثابت نگه داشتن pH حمام رنگرزی برابر 5، از استیک اسید 10 درصد به مقدار 2 g/L استفاده شد. پس از انجام عملیات رنگرزی، شستشوی نمونه ها با محلول 2 g/L صابون در دمای 60°C به مدت 15 min انجام شد. بعد از رنگرزی، مقدار انعکاس (R) نمونه ها به وسیله طیف نورسنج انعکاسی اندازه گیری شد. برای تعیین مقدار رنگ جذب شده به وسیله این نمونه ها از نسبت K/S استفاده شد. S ، مقدار انتشار نور و K مقدار جذب نور به وسیله نمونه است و از معادله (3) بدست می آید:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3)$$

بنابراین، برای محاسبه K/S ، کمترین انعکاس در طول موج حاکم جذب که معرف خوبی برای بیشترین مقدار جذب است، از انعکاسها انتخاب و طبق معادله (3)، K/S محاسبه شد.

تعیین تعداد حلقه ایجاد شده در نخ تکسچره تولیدی در شرایط متفاوت خشک کردن

متأسفانه، برای تعیین تعداد حلقه ایجاد شده در نخ تکسچره تولیدی در شرایط خشک کردن متفاوت، وسیله آزمایشگاهی دقیقی وجود نداشت. برای مقایسه تعداد حلقه ایجاد شده در شرایط خشک کردن متفاوت، بوبینهای تولید شده در شرایط خشک کردن متفاوت، تکسچره و تعداد حلقه آنها بطور چشمی مقایسه شد. در هر شرایط، 3 بوبین و از هر بوبین 18000 متر از نخ تولیدی نیمه آرایش یافته، تکسچره شد، سپس تعداد حلقه در سطح مقطع بوبین تولیدی، شمارش و میانگین آنها محاسبه شد.

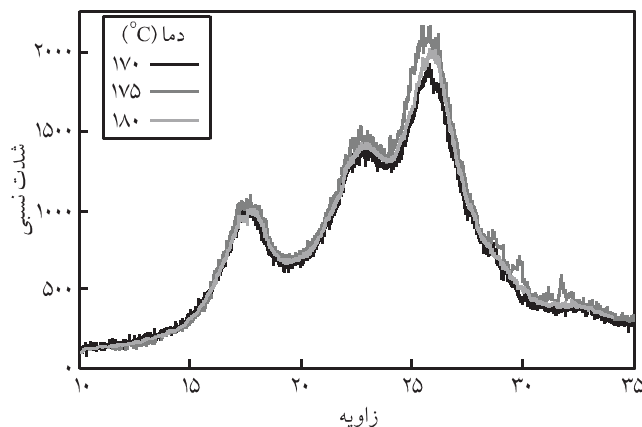
تجزیه و تحلیل های آماری

آمار، علمی است که در مورد جمع آوری، سازمان دهی و تجزیه و تحلیل داده ها و تفسیر و تعمیم نتایج بحث می کند. امروزه علم آمار، جزئی

170°C ، کمترین مقدار را دارد. این امر با مقایسه شدت پیکها در نمونه های مختلف مشاهده می شود.

برای تأیید نتایج بدست آمده از X-ray از طیف سنجی FTIR برای بررسی مقدار بلورینگی نمونه های مختلف استفاده شد. نتایج پژوهشهای انجام شده توسط هیوویل و هیوسمن [۱۴] نشان می دهد که در طیف IR پلی استر شدت پیک در طول موجهای 848 ، $873/5$ و 972 cm^{-1} متناسب با مقدار بلورینگی پلی اتیلن ترفتالات است. در طیفهای FTIR که از نمونه های یاد شده گرفته شد، در طول موج 972 cm^{-1} پیکی مشاهده نشد. ولی، در طول موج 967 cm^{-1} پیکی مشاهده می شود. پیک 972 cm^{-1} به تنشی که به زنجیرهای مولکولی وارد می آید، بستگی دارد و با افزایش تنش، این پیک به طول موجهای کوتاه تر جابه جا می شود. از آنجا که در مرحله ریسندگی، الیاف تا حدودی در تنش قرار می گیرند، جابه جایی پیک 972 cm^{-1} به 967 cm^{-1} را می توان به تنشی که طی مرحله ریسندگی و تکسچره کردن به الیاف وارد می شود، نسبت داد. پژوهشهای هیوویل و هیوسمن، همچنین نشان می دهد که پیکهای 848 و $873/5\text{ cm}^{-1}$ به تنش وارده به زنجیرهای مولکولی، حساس نیست [۱۴].

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، شدت پیک در طول موجهای 848 ، $873/5$ و 967 cm^{-1} با افزایش دمای خشک کردن چپس پلی استر، افزایش یافته است. برای بهنجار کردن و پی بردن به این موضوع که آیا این تفاوت واقعاً به دلیل تفاوت در بلورینگی یا مقدار نمونه است، در هر طیف (طیف مربوط به هر دما) شدت پیکهای مربوط به نواحی بلوری نسبت به پیک 1410 cm^{-1} مقایسه شد. این پیک به درصد بلورینگی حساس نیست و تغییرات بلورینگی در شدت این پیک تغییری ایجاد نمی کند [۲۳]. با توجه به اینکه نسبت شدت پیکهای ناحیه بلوری به شدت پیک



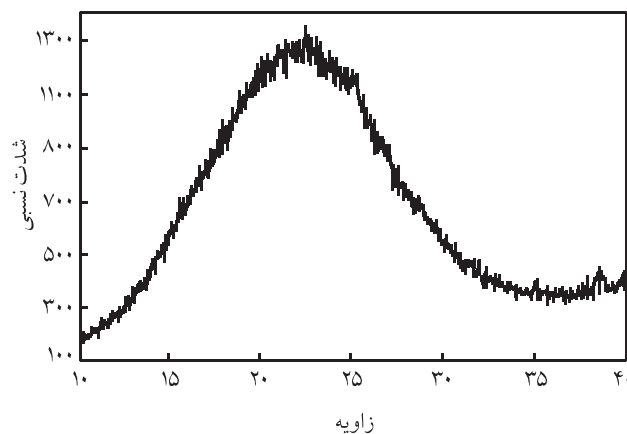
شکل ۲ مقایسه نمودارهای شدت نور متفرق شده برای نمونه های خشک شده در دماهای مختلف.

تفکیک ناپذیر از پژوهشهای علمی در رشته های مختلف است. نرم افزارهای متعددی برای انجام تجزیه های آماری وجود دارند که در این میان، نرم افزار SAS، کاراترین و مهمترین آنها بشمار می آید، که افزون بر تجزیه آماری، قابلیت های دیگری نیز دارد. بر این اساس، نتایج حاصل از آزمایشها در قالب طرح کاملاً تصادفی به وسیله نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

اثر دمای خشک کردن چپس پلی استر بر مقدار تبلور نخ تکسچره تولیدی

مطالعه منابع نشان می دهد [۲،۳] که الیاف پلی استر ریسیده شده در سرعت های کمتر از 4000 m/min ، بطور اساسی بی شکل اند. برای تأیید این موضوع، تبلور نمونه ای از نخهای نیمه آرایش یافته، به روش X-ray اندازه گیری شد. شکل ۱ منحنی شدت نور متفرق شده را برای نمونه ای از نخهای نیمه آرایش یافته نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در این منحنی هیچ پیکی وجود ندارد و در نتیجه الیاف ریسیده شده در این شرایط، بلوری نیستند و با توجه به اینکه سرعت ریسندگی در این پژوهش، 3200 m/min است، این امر با نتایج پژوهشهای انجام شده توسط دیگران [۲،۳] مطابقت دارد. برای بررسی اثر دمای خشک کردن چپس پلی استر، نخهای نیمه آرایش یافته تولیدی در دماهای متفاوت خشک شدن، در شرایط یکسان تکسچره گردیدند. سپس، تبلور این نخها به روش X-ray اندازه گیری شد. شکل ۲ منحنی شدت نور متفرق شده را برای ۳ نمونه نشان می دهد. همان طور که نتایج X-ray نشان می دهد، بلورینگی در دمای 180°C ، بیشترین مقدار و در دمای



شکل ۱ نمودار شدت نور متفرق شده برای نمونه نیمه آرایش یافته.

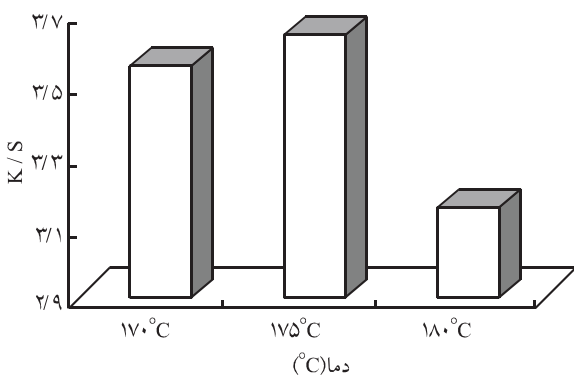
الیاف تکسچره حاصل، در هر شرایط دمایی، ۵ نمونه نخ تکسچره رنگری شد. سپس، به وسیله طیف نورسنج انعکاسی K/S نمونه‌ها محاسبه و میانگین K/S نمونه‌ها به عنوان K/S در آن دما گزارش شد. شکل ۴ اثر شرایط خشک کردن چپس پلی استر را بر K/S نمونه‌های تکسچره رنگری شده نشان می‌دهد.

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که جذب رنگ در نمونه‌ای که دمای خشک کردن چپس پلی استر 175°C است، بیشترین مقدار را دارد. همان‌طور که در مقاله قبل ذکر شد، آرایش یافتگی در نمونه نخ نیمه آرایش یافته‌ای که دمای خشک کردن چپس پلی استر 180°C است به دلایلی که ذکر شد نسبت به نمونه‌هایی که دمای خشک کردن چپس پلی استر 170°C و 175°C است، افزایش می‌یابد و مطالعه منابع [۲۴، ۳] نشان می‌دهد که افزایش آرایش یافتگی منجر به افزایش تبلور می‌شود. کاهش جذب رنگ در دمای 180°C نسبت به دمای 175°C را می‌توان به افزایش تبلور و کاهش مناطق بی‌شکل نسبت داد. زیرا بلورها مناطقی هستند که مولکولهای رنگ نمی‌توانند به این مناطق نفوذ کنند. جذب رنگ به مقدار زیادی به حجم مناطق بی‌شکل در دسترس بستگی دارد [۱۷]. واضح است با افزایش مقدار تبلور، حجم مناطق بی‌شکل کاهش و در نتیجه جذب رنگ در دمای 180°C نسبت به دمای 175°C کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش جذب رنگ در دمای 180°C نسبت به دمای 175°C با توجه به افزایش مقدار بلورینگی، منطقی است. انتظار می‌رفت که با کاهش بلورینگی در دمای 170°C ، جذب رنگ نمونه‌هایی که دمای خشک کردن چپس پلی استر در آنها 170°C است، افزایش یابد. ولی، نتایج عکس این موضوع را نشان می‌دهد. بنظر می‌رسد در دمای 170°C ، به علت تراکم کمتر زنجیرها، به دلیل کوتاه شدن طول زنجیرها در اثر تخریب آبکافتی، شرایط برای رشد هسته‌ها مساعد نباشد و هسته‌زایی بیشتر از رشد هسته اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر، در دمای 175°C شرایط برای رشد هسته‌ها مساعدتر است و ابعاد بلورها در نمونه‌هایی

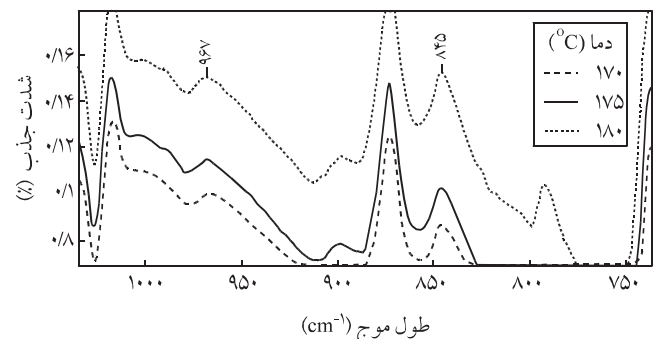
1410 cm^{-1} در دمای 170°C ، 175°C و 180°C نیز روند افزایشی دارد، معلوم شد که تفاوت در شدت پیکهای نواحی بلوری در نمونه‌های مختلف مستقل از غلظت ماده است. با توجه به این موضوع نمودارها روی یک شکل رسم و مقایسه شد. افزایش تبلور نمونه‌های تکسچره‌ای که دمای خشک کردن چپس پلی استر در آنها 180°C است را می‌توان به افزایش آرایش یافتگی این نمونه‌ها نسبت داد. مطالعه منابع مختلف [۲۴، ۳] نشان می‌دهد که افزایش آرایش یافتگی منجر به افزایش بلورینگی می‌شود. علت این است که تراکم در مناطقی که زنجیرها نظم ساختاری دارند، تسهیل می‌شود و با افزایش تراکم زنجیرهای پلیمری مقدار بلورینگی افزایش می‌یابد [۲۴]. بنابراین، می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری کرد که با افزایش وزن مولکولی و در نتیجه آرایش یافتگی زنجیرهای پلیمری در نمونه‌های نیمه آرایش یافته‌ای که دمای خشک کردن چپس پلی استر در آنها 180°C است، نظم ساختاری افزایش یافته، تراکم زنجیرهای پلیمری تسهیل شده، در مرحله تکسچره کردن، بلورینگی افزایش می‌یابد. کاهش تبلور در دمای 170°C نسبت به 175°C و 180°C را می‌توان به کوتاه شدن طول زنجیرهای پلیمری و نایکنواختی طول زنجیرها در اثر تخریب آبکافتی نسبت داد. زیرا در اثر کوتاه شدن طول زنجیرها، نیروهای جانبی نیز کاهش یافته، در نتیجه تبلور کاهش می‌یابد. مطالعه منابع نشان می‌دهد [۲۴] که مقدار بلورینگی به بزرگی نیروهای جانبی زنجیرهای پلیمر و یکنواختی زنجیرها بستگی دارد و با افزایش نیروهای جانبی و یکنواختی زنجیرها، مقدار بلورینگی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه تخریب، اثر عکس بر دو عامل یادشده دارد. بنابراین، کاهش بلورینگی نمونه‌هایی که دمای خشک کردن آنها 170°C است، به دلیل تخریب آبکافتی که در این شرایط اتفاق افتاده و با توجه به مطالب ذکر شده منطقی بنظر می‌رسد.

اثر شرایط خشک کردن چپس پلی استر بر رنگ پذیری الیاف تکسچره

برای بررسی اثر شرایط خشک کردن چپس پلی استر بر رنگ پذیری



شکل ۴ اثر دمای خشک کردن بر K/S نخ تکسچره.

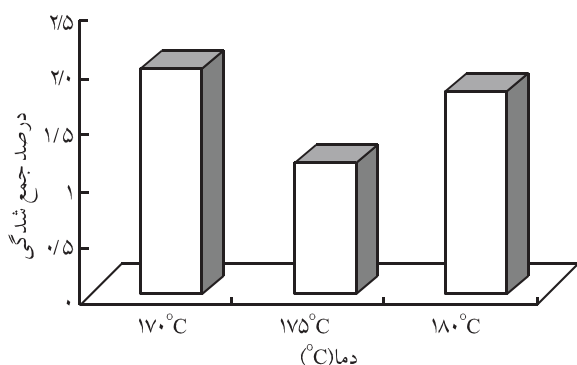


شکل ۳ مقایسه شدت پیکهای 848 cm^{-1} ، 817 cm^{-1} و 967 cm^{-1} در طیف FTIR نمونه‌های تکسچره در دماهای مختلف خشک کردن.

۱۷۵°C است افزایش می‌یابد. بنابراین، بلورینگی الیافی که دمای خشک کردن چپس پلی استر آنها ۱۷۰°C است نسبت به الیافی که دمای خشک کردن چپس پلی استر آنها ۱۷۵°C است، کاهش می‌یابد و جمع‌شدگی بیشتر این الیاف را می‌توان به بلورینگی کمتر آنها نسبت داد. این امر با نتایج پژوهشهای انجام شده توسط دیگران نیز مطابقت دارد [۷]. با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود جمع‌شدگی الیافی که دمای خشک کردن چپس پلی استر آنها ۱۸۰°C است نسبت به الیافی که دمای خشک کردن چپس پلی استر در آنها ۱۷۵°C است، افزایش می‌یابد. همان‌طور که در مقاله قبل [۱] گفته شد در دمای ۱۸۰°C به علت افزایش وزن مولکولی چپس پلی استر در نتیجه پلیمرشدن در فاز جامد و افزایش گرانیوی، تنش ریسندگی افزایش می‌یابد و به دلیل اینکه تنش وارده به رشته‌ها حین مذاب‌ریسی برای شرایط خشک کردن ۱۸۰°C نسبت به دمای خشک کردن ۱۷۵°C بیشتر است و از طرفی تفاوت بلورینگی نمونه‌های تولیدی در شرایط دمایی ۱۷۵ و ۱۸۰°C با توجه به شکل ۲ چندان زیاد نیست و جمع‌شدگی نیز به علت رهایی تنش در بخشهای غیر بلوری است، بنظر می‌رسد جمع‌شدگی بیشتر الیاف تولیدی در شرایط دمایی ۱۸۰°C به دلیل وجود تنش بیشتر الیاف تولیدی، به علت افزایش وزن مولکولی الیاف باشد.

اثر شرایط خشک کردن بر تشکیل حلقه در نخ تکسچره

برای بررسی اثر دمای خشک کردن چپس پلی استر بر تشکیل حلقه در نخ تکسچره در هر شرایط دمایی، ۳ بوبین نخ نیمه‌آرایش یافته تهیه و از هر بوبین ۱۸۰۰۰ متر نخ نیمه‌آرایش یافته تکسچره شد، سپس تعداد حلقه‌ها بطور چشمی در سطح مقطع بوبین شمارش و میانگین آنها به عنوان تعداد حلقه در آن دما گزارش شد. شکل ۷ اثر دمای خشک کردن را بر تعداد حلقه بوجود آمده نشان می‌دهد. همان‌طور که در مقاله قبل گفته شد [۱] در دمای ۱۷۰ و ۱۸۰°C تغییرات چگالی خطی بین رشته‌ها



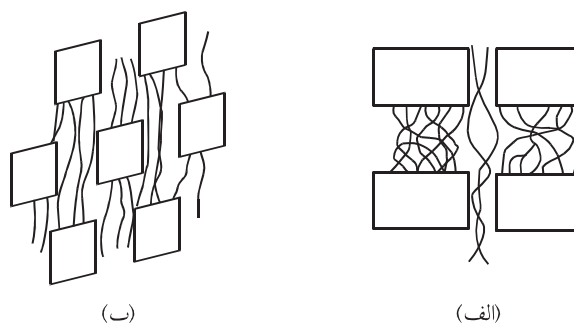
شکل ۶ اثر دمای خشک کردن بر جمع‌شدگی نخ تکسچره.

که دمای خشک کردن چپس پلی استر ۱۷۵°C است، نسبت به نمونه‌هایی که دمای خشک کردن چپس پلی استر ۱۷۰°C است، بزرگتر و تعداد آنها کمتر باشد، هر چند که درصد بلورینگی کل بیشتر است. به عبارت دیگر، در دمای ۱۷۰°C تعداد بلور بیشتری با ابعاد کوچکتر ایجاد شده است. شکل ۵ بطور طرح‌وار، مقایسه این دو حالت را نشان می‌دهد (حالتی که اندازه بلورها بزرگتر و تعداد آنها کمتر است و حالتی که تعداد بلورها بیشتر و اندازه آنها کوچکتر است). مطالعه منابع نشان می‌دهد [۱۶] که رنگ‌پذیری الیاف بستگی به حجم مناطق بی‌شکل در دسترس و قابلیت حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی‌شکل دارد.

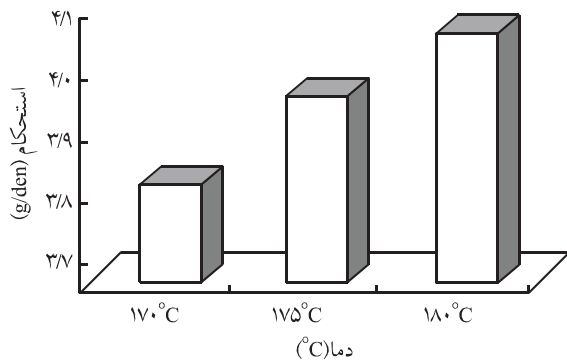
قابلیت حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی‌شکل به تعداد بلورها نیز بستگی دارد. با افزایش تعداد بلورها، قابلیت حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی‌شکل کاهش یافته، در نتیجه حجم مناطق بی‌شکل در دسترس کاهش می‌یابد. بنظر می‌رسد در دمای ۱۷۰°C با افزایش تعداد بلورها، قابلیت حرکت زنجیرهای پلیمری در بخش بی‌شکل کاهش یافته، این امر منجر به کاهش جذب رنگ می‌شود [۱۶].

اثر شرایط خشک کردن چپس پلی استر بر جمع‌شدگی نخ تکسچره نهایی

برای بررسی اثر دمای خشک کردن چپس پلی استر بر جمع‌شدگی نخ تکسچره نهایی در هر یک از سه شرایط دمایی، جمع‌شدگی ۵ نمونه تکسچره اندازه‌گیری شد و میانگین جمع‌شدگی ۵ نمونه به عنوان جمع‌شدگی در آن دما گزارش شد. شکل ۶ جمع‌شدگی الیاف تولیدی را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که بیان شد افزایش بلورینگی باعث کاهش جمع‌شدگی می‌شود [۷]. این شکل نشان می‌دهد جمع‌شدگی الیافی که دمای خشک کردن چپس پلی استر آنها ۱۷۰°C است نسبت به الیافی که دمای خشک کردن چپس پلی استر آنها



شکل ۵ اثر دمای خشک کردن چپس پلی استر بر ابعاد و حجم بلورها: (الف) در دمای ۱۷۵°C تعداد بلورها کمتر و اندازه آنها بزرگتر و (ب) در دمای ۱۷۰°C تعداد بلورها بیشتر و اندازه آنها کوچکتر.

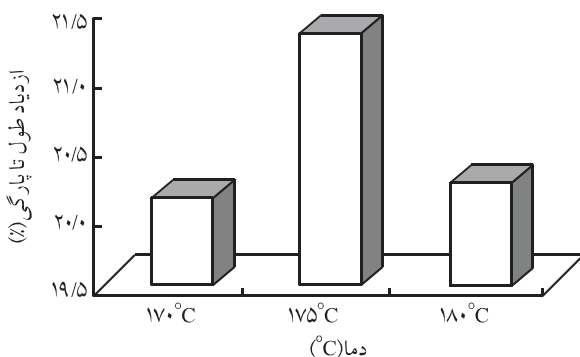


شکل ۸ اثر دمای خشک کردن بر استحکام نخ تکسچره.

تولیدی افزایش می‌یابد. همان‌طور که در مقاله قبل ذکر شد و با توجه به مطالبی که در بخش‌های قبل این مقاله بیان شد، با افزایش دمای خشک کردن، بلورینگی و آرایش یافتگی نخ تکسچره افزایش می‌یابد. افزایش استحکام الیاف تکسچره تولیدی با افزایش دمای خشک کردن را می‌توان به افزایش بلورینگی و آرایش یافتگی الیاف نسبت داد.

شکل ۹ ازدیاد طول تا پارگی نخ تکسچره را در نمونه‌هایی که دمای خشک کردن چپیس پلی استر آنها 170، 175 و 180°C است نشان می‌دهد.

در مقاله قبل [۱] گفته شد در دمای 175°C ازدیاد طول تا پارگی نخ نیمه آرایش یافته نسبت به نمونه‌های نخ نیمه آرایش یافته ای که دمای خشک کردن چپیس پلی استر آنها 170 و 180°C است، افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه نسبت کشش بکار گرفته شده در مرحله تکسچره کردن برای هر سه نمونه یکسان است، مشاهده می‌شود ازدیاد طول تا پارگی نخ‌های تکسچره ای که دمای خشک کردن چپیس پلی استر آنها 175°C است، افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، روند ازدیاد طول تا پارگی



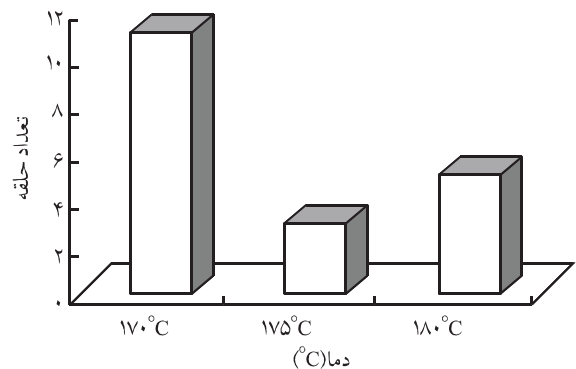
شکل ۹ اثر دمای خشک کردن بر ازدیاد طول تا پارگی نخ تکسچره.

نسبت به دمای 175°C بیشتر است. در دمای 170°C رطوبت موجود در چپیس پلی استر به اندازه کافی خارج نمی‌شود و تخریب آبکافتی در حالت مذاب اتفاق می‌افتد و به دلایلی که در کار قبلی [۱] گفته شد در دماهای بیشتر از 175°C به دلیل افزایش وزن مولکولی و پهن تر شدن توزیع وزن مولکولی و افزایش گرد و غبار همراه چپیس پلی استر تغییرات چگالی خطی بین رشته‌ها نسبت به دمای 175°C افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در دمای 170 و 180°C که تغییرات چگالی خطی بین رشته‌ها در نخ نیمه آرایش یافته افزایش یافته تعداد حلقه بیشتری تشکیل شده است. علت این امر تغییرات چگالی خطی بین رشته‌هاست که باعث تفاوت جمع شدگی رشته‌ها با چگالیهای خطی مختلف شده، منجر به تشکیل حلقه می‌شود. رشته‌های ظریفتر در گرم کن اول ماشین تکسچره بیشتر از رشته‌های ضخیمتر دچار جمع شدگی می‌شوند، در نتیجه رشته‌های ضخیمتر دارای طول بیشتری از رشته‌های ظریفتر هستند و برای جبران این افزایش طول به شکل برآمده و حلقه در می‌آیند. این امر موجب تشکیل حلقه در نخ تکسچره نهایی می‌شود.

اثر شرایط خشک کردن چپیس پلی استر بر استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نخ تکسچره نهایی

برای بررسی اثر شرایط خشک کردن چپیس پلی استر بر استحکام و ازدیاد طول نخ تکسچره در هر شرایط دمایی، استحکام و ازدیاد طول 30 نمونه نخ تکسچره اندازه گیری و میانگین اندازه گیریها به عنوان استحکام و ازدیاد طول در آن دما گزارش شد. شکل ۸ استحکام نخ تکسچره را در نمونه‌هایی که دمای خشک کردن چپیس پلی استر آنها 170، 175 و 180°C است، نشان می‌دهد.

شکل ۸ نشان می‌دهد با افزایش دمای خشک کردن، استحکام الیاف



شکل ۷ اثر دمای خشک کردن بر تعداد حلقه تشکیل شده.

جدول ۱ داده‌های تجزیه واریانس برای عوامل مختلف.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که دمای خشک کردن چیپس پلی استر از نظر آماری اثر معنی داری بر خواص نخ تکسچره حاصل دارد. همچنین، ساختار نخ نیمه آرایش یافته اولیه اثر زیادی بر ویژگیهای نخ تکسچره حاصل دارد. الیاف نیمه آرایش یافته تولیدی از چیپسهایی که در دماهای ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰°C خشک شدند، از نظر ساختاری متفاوتند و در نتیجه این تفاوت ساختار، به مرحله بعد یعنی تکسچره کردن منتقل می‌شود. نتایج آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش دمای خشک کردن چیپس، بلورینگی نخهای تکسچره نهایی نیز افزایش می‌یابد. از نظر رنگ پذیری و جمع شدگی، الیاف تولیدی که دمای خشک کردن چیپس پلی استر آنها ۱۷۵°C است، بهترین رفتار را نشان می‌دهند. یعنی رنگ پذیری بیشتر و جمع شدگی گرمایی کمتری دارند. همچنین، الیاف تولیدی در این شرایط، تعداد حلقه کمتری دارند. با افزایش دمای خشک کردن چیپس و در نتیجه افزایش بلورینگی الیاف، استحکام الیاف افزایش می‌یابد و به دلیل بلورینگی بیشتر از دیاد طول تا پارگی نمونه‌های الیافی که دمای خشک کردن چیپس پلی استر آنها ۱۸۰°C است، نسبت به نمونه‌هایی که دمای خشک کردن چیپس پلی استر آنها ۱۷۵°C است، کاهش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

از همکاریها و مساعدتهای بی دریغ هیأت مدیره محترم شرکت نخ پلی استر زاگرس بویژه جناب آقای مهندس حسین قزوینی و کلیه کارکنان زحمتکش این شرکت که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- Ghasemi L., Morshed M. and Zarrebini M., Effect of Drying Temperature of PET Chips on the Properties of Partially Oriented Yarn, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, **17**, 237-245, 2004.
- Ziabicki A. and Kedzierska K., Studies on the Orientation Phenomena by Fiber Formation from Polymer Melts: Effect of Structure on Orientation Condensation Polymer, *J. Appl. Polym. Sci.*, **6**, 111-119, 1962.
- Heuvel H.M. and Huisman R., Effect of Winding Speed on the Physical Structure of as Spun PET Fibers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 2229-2243, 1978.
- Tavanai H., *Texturing*, Arkan, Iran, 1-6, 1997.
- Ziabicki A., *Fundamentals of Fiber Formation*, Wiley Inter-

عامل	منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
K/S	دما	۲(۶)*	۰/۱۹۹۵ (۰/۰۱۵)*	۱۳۷/۰۴
درصد جمع شدگی	دما	۲(۶)	۰/۶۱۱۴ (۰/۱۰۱۰)	۶/۰۵
تعداد حلقه	دما	۲(۶)	۵۳/۴۴ (۰/۶۶)	۸۰/۱۷
استحکام	دما	۲(۸۷)	۰/۴۵۵۱ (۰/۰۱۴۱)	۳۲/۳۲
از دیاد طول تا پارگی	دما	۲(۸۷)	۱۷/۲۵۱ (۱/۶۳۱۷)	۱۰/۵۷

* اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای داده‌ها را نشان می‌دهد.

نخهای تکسچره در دماهای مختلف مشابه روند از دیاد طول نخهای نیمه آرایش یافته تولیدی در دماهای مختلف است. در دمای ۱۸۰°C به علت بلورینگی بیشتر الیاف نسبت به دمای ۱۷۵°C از دیاد طول تا پارگی کمتر است و در دمای ۱۷۰°C به علت تخریب آبکافتی و کوتاه شدن طول زنجیرها از دیاد طول تا پارگی نسبت به دمای ۱۷۵°C کاهش می‌یابد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای بررسی اثر معنی دار دما بر رنگ پذیری، درصد جمع شدگی، تعداد حلقه‌های بوجود آمده، استحکام و از دیاد طول تا پارگی نخ تکسچره حاصل، تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و نتایج با آماره F در سطح اطمینان ۱ درصد مقایسه شد. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که دمای خشک کردن چیپس پلی استر بر ویژگیهای نخ تکسچره نهایی اثر معنی داری دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱ آمده است.

science, New York, 442-469, 1976.

- Raghavendra R.H. and Autul D.M., Polyester, [www.engr.utk.edu/mse/pages/textiles/polyester Fibers](http://www.engr.utk.edu/mse/pages/textiles/polyester%20Fibers), April 2004.
- Gang W. and Takashi Y., Heat Induced Shrinkage and Microstructural Changes in PET: As-Spun Fibres Prepared via Controlled Threadline Dynamics, *Polymer*, **39**, 6473-6482, 1998.
- Ludewig H., *Polyester Fibers: Chemistry and Technology*, John Wiley and Sons, 181-185, 1971.
- Lewandowski S., Linek M. and Slusarczyk C., Assessment of the Supermolecular Structure of Standard Polyester Fibers and those with Reduced Susceptibility to Pilling as Processed by the

- Uncontrolled Breaking Method, *Fibe. Text. East. Eur.*, **11**, 22-27, 2003.
10. Karakas H. and Dayioglu H., Influence of Major False-Twist Texturing Parameters on the Structural Properties of Polyamide Yarn, *Fib. Text. East. Eur.*, **12**, 25-30, 2004.
11. Yousefi M., *Fibers Physical Structure*, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 110-115, 1993.
12. Pilati F., Tosell M. and Manzoni C., On Specific Factors Affecting the Crystallization of PET, *Polymer*, **38**, 4469-4476, 1997.
13. Liangbin L. and Huange R., A New Mechanism in the Formation of PET Extended-Chain Crystal, *Polymer*, **42**, 2085-2089, 2001.
14. Huisman R. and Heuvel H.M., Infrared Spectra of PET Yarns, Fitting of Spectra, Evaluation of Parameters, and Applications, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 3069-3093, 1985.
15. Gupta V.B. and Kathari V.K., *Manufactured Fiber Technology*, Chapman and Hall, New York, 236, 1997.
16. Miller R.W., Southern J.H. and Ballman R.L., Investigation of Polyester Fiber Process/Structure/Property Relationship Part I., *Text. Res. J.*, **53**, 670-677, 1983.
17. Huisman R. and Heuvel H.M., A Quantitative Description of the Effect of PET Yarns with an Application to Dyeing Behaviour, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 943-956, 1978.
18. Gupta V.B. and Kumar M., Dyeability Characteristics of Textured PET Yarn, *Text. Res. J.*, **45**, 463-467, 1975.
19. Brody H., Influence of Orientation on Polyester Fibers, *Br. Polym. J.*, **9**, 295-298, 1977.
20. Gregory D.R., Improving Property and Processing Performance of Melt Spun Fibers, *Int. Nonwoven J.*, **3**, 15-21, 2000.
21. Standard Test Method for Shrinkage of Yarns, Annual Book of ASTM Standards, **07**, 619-623, 1977.
22. Teli M.D and Rao B.R., The Effect of Heat Setting on the Dyeability of Differentially Dyeable Polyester Fibers, *J. Soc. Dyers Colorists*, **112**, 239-241, 1996.
23. Naik S.G. and Bhat N.V., Structure and Morphological Studies of Aminolysed Poly(ethylene terephthalate) Fibre, *Polymer*, **27**, 233-240, 1986.
24. Odian G., *Principles of Polymerization*, McGraw-Hill, 24-33, 1970.