

تأثیر متغیرهای ماشین ریسندگی جت هوا بر خصوصیات کیفی نخ‌های ویسکوز

علی مردیها^۱، محسن شنبه^{۱*}، محمد ذره بینی^۱^۱اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی

mshanbeh@iut.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش ۱۴۰۵/۰۲/۲۶

چکیده

فناوری ریسندگی جت هوا (ورتکس) به دلیل سرعت تولید بسیار بالا و ویژگی‌های منحصربه‌فرد محصول نهایی، جایگاه ویژه‌ای در تولید نخ‌های مختلف پیدا کرده است. با این حال، دستیابی به خواص فیزیکی و مکانیکی بهینه در این سیستم، به شدت تحت تأثیر تعامل پیچیده میان متغیرهای فرآیندی و نمره نخ قرار دارد. لذا، درک دقیق تأثیر متقابل این متغیرها بر خواص کیفی برای بهینه‌سازی فرآیند تولید در نمره‌های مختلف ضروری است. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی اثر سرعت تولید، کشش ریسندگی و کشش اولیه (هر کدام در سه سطح) و دانسیته خطی نخ (در دو سطح) بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نخ تولید شده در ریسندگی جت هوا (ورتکس) می‌باشد. بدین منظور از طرح آزمایش عاملی کسری با هدف بررسی دقیق اثر متغیرهای اصلی بر خواص نخ و کاهش تعداد نمونه استفاده شد. طبق این طرح آزمایش، ۱۸ نمونه نخ با استفاده از دستگاه ریسندگی جت هوا اتوایرو ۱ و الیاف ویسکوز در دو نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی، تولید شد. در این پژوهش استحکام تاحدپارگی، ازدیاد طول تا حدپارگی، پریزینی و نایکنواختی جرمی نخ به عنوان ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی نخهای تولیدشده مورد ارزیابی و تحلیل آماری قرار گرفتند. همچنین بر مبنای تصویربرداری به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی، ساختمان نخهای جت هوا و شکل الیاف دورپیچ و ساختار آن، مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج حاصل نشان دهنده تأثیر متفاوت متغیرهای مورد بررسی در دو نمره نخ مورد نظر بود. همچنین بررسیهای صورت گرفته نشان داد که متغیرهای تولید از جمله سرعت تولید و کشش ریسندگی بر روی ساختمان نخ بویژه شکل توزیع الیاف دورپیچ تأثیر مستقیم دارند. سرعت تولید و کشش اولیه تأثیر معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر روی پریزینی نخهای تولیدشده نشان دادند و با افزایش سرعت تولید، پریزینی روند صعودی نشان داد. همچنین کشش ریسندگی تأثیر معنی داری بر روی استحکام تاحدپارگی نخهای تولیدشده نشان داد و کاهش استحکام تاحدپارگی با افزایش کشش ریسندگی مشاهده شد.

واژگان کلیدی: نخ جت هوا، سرعت تولید، خواص فیزیکی و مکانیکی، کشش اولیه، کشش ریسندگی.

Effect of air jet spinning machine parameters on the characteristics of viscose yarns

Ali Mardiha¹, Mohsen Shanbeh^{1*}, Mohammad Zarrebini¹

¹Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan
mshanbeh@iut.ac.ir

Abstract

Air-jet vortex spinning technology has emerged as a prominent method in the textile industry, owing to its superior production speed and the distinctive properties of the produced yarn. Nevertheless, the physical and mechanical performance of vortex-spun yarns is critically depend on the complex synergy between production parameters and yarn linear density (count). Consequently, an in-depth investigation into the interaction of these variables is imperative to optimize the production process and ensure consistent quality in different yarn counts. The main objective of the present study is to investigate the effect of production speed, spinning draft and break draft (each at three levels) and yarn count (at two levels) on the physical and mechanical properties of airjet vortex yarns. For this purpose, in order to accurately investigate the effect of the main variables on yarn properties and reduce the number of samples, a fractional factorial experimental design was used. According to this experimental design, 18 yarn samples were produced using Autoairo1 airjet spinning machine in two counts of 30 and 36 Ne. In this study, the physical and mechanical properties of the produced yarns—including tensile strength at break, elongation at break, hairiness, and mass irregularity (CVm)—were evaluated and statistically analyzed. Additionally, using scanning electron microscopy (SEM), the structure of air-jet yarns and the configuration of wrapper fibers were examined. The results revealed that the investigated variables had differing effects on the two yarn counts. Furthermore, the results demonstrated that production parameters, such as spinning speed and spinning draft, have a direct influence on yarn structure, particularly on the distribution pattern of the wrapper fibers in the yarn structure. Production speed and break draft showed a significant effect at the 95% confidence level on the hairiness of the yarns, and with increasing production speed, hairiness showed an increasing trend. Also, spinning draft showed a significant effect on the breaking strength of the produced yarns, and a decrease in breaking strength was observed with increasing spinning draft.

Keywords: Air jet yarn, production speed, Physical and mechanical properties, break draft, spinning draft.

۱. مقدمه

جریان هوا به طور فزاینده‌ای در انتقال و جداسازی مواد مختلف به دلیل مزیت‌هایی از جمله راندمان و صرفه اقتصادی، استفاده شده است. در صنعت فرآوری پلیمر و نساجی، جریان هوا نقش مهمی در روش‌های مختلف فرآیند تولید مانند پودگذاری جت هوا، ریسندگی جت هوا و ریسندگی ورتکس ایفا کرده‌اند. در طول توسعه فرآیند ریسندگی جت هوا روش‌های متعددی ارائه شده است [۱]. به طور کلی، یک انقلاب در تاریخچه توسعه فرآیند ریسندگی با جت هوا با معرفی دستگاه ریسندگی جت هوا (MJS) از شرکت ماشین‌ساز ژاپنی موراتا آغاز شد [۲]. شرکت موراتا ماشین‌های ریسندگی با مدل MVS 810، MVS 81T، MVS 851، MVS 861 و اخیراً مدل MVS 870 را توسعه داده است [۱]. شرکت ریتز ماشین‌های ریسندگی J10، J20، J26 و J70 را که با همان اصول سیستم ریسندگی ورتکس موراتا عمل می‌کند، ارائه داد. شرکت شناخته شده اشلافورث (مربوط به گروه زاورر^۱) دستگاه ریسندگی جت هوای ورتکس را در نمایشگاه ایتما ۲۰۱۹ با نام تجاری آتوایرو^۲، معرفی کرد و اصول کلی آن مشابه سیستم ریسندگی شرکت موراتا، است. سیستم ریسندگی ورتکس موراتا اساساً مشابه فناوری ریسندگی جت هوای موراتا است، اما از نظر مکانیزم با روش ریسندگی جت هوای موراتا تفاوت دارد. تفاوت بین این

دو مکانیزم در هندسه واحد تاب‌دهنده جت هوا است [۳]. نخ ورتکس دارای ساختار متفاوتی نسبت به دیگر ساختارهای نخ رایج است. نخ ورتکس دارای ساختار دو بخشی است که شامل الیاف مرکزی و الیاف دورپیچ است. الیاف قرار گرفته در مرکز نخ توسط الیاف دورپیچ پوشانده می‌شود. مطالعات پیشین نشان دادند که ساختار و عملکرد نخ‌های جت هوا و ورتکس تحت تأثیر زاویه نازل، فشار نازل، قطر دوک، سرعت تولید نخ، چگالی خطی نخ (نمره نخ)، درصد اختلاط الیاف و فاصله بین غلتک جلو و دوک قرار دارد [۳ و ۴]. در این راستا بازال و اوگزنهام^۳ اثر تعدادی از پارامترهای فرآیند روی خصوصیات کیفی نخ را بررسی کردند [۴]. آن‌ها مشاهده کردند که افزایش فشار نازل منجر به تولید نخ مستحکم‌تر ولی سفت‌تر می‌شود. سرعت تولید پایین منجر به کاهش موئینگی و همچنین کاهش نقاط ضخیم در نخ ورتکس می‌شود. علت آن است که سرعت تولید کمتر منجر به افزایش الیاف دورپیچ محکم در فاصله‌های منظم می‌شود. کاهش فاصله میان غلتک تولید تا اسپیندل منجر به تولید نخ یکنواخت‌تر با عیوب کمتر و همچنین موئینگی کمتر می‌شود، که به کنترل بهتر الیاف نسبت داده شد. تیاگی و همکاران گزارش دادند افزایش فشار نازل منجر به ایجاد سطح بالایی از الیاف دورپیچ محکم می‌شود [۵]. در مطالعه دیگر از تیاگی و همکاران^۴، آن‌ها گزارش دادند که

3 Basel and Oxenham
4 Tiagi and et.al

1 Saurer
2 Autoairo

افزایش فشار هوای نازل تا مقدار مشخصی می‌تواند منجر به کاهش موئینگی نخ شود [۶]. یافته‌های مطالعه زو و همکاران^۱ نشان داد که مقادیر بالای فشار نازل باعث افزایش میانگین سرعت زاویه‌ای انتهای آزاد (باز) الیاف می‌شود [۷]. این امر باعث می‌شود که الیاف دورپیچ در پیرامون نخ با نیروی بیشتری تابیده شوند و سهم دورپیچ‌های محکم در ساختار نخ افزایش یابد. مرتووا و موکووا^۲ اثر فشار نازل و سرعت تولید روی مشخصات ساختار نخ ویسکوز جت هوای ریترا را مطالعه کردند [۸]. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش فشار نازل (۴ بار به ۶ بار)، عرض دسته الیاف دورپیچ، فاصله میان دسته الیاف دورپیچ و زاویه قرارگیری دسته الیاف دورپیچ افزایش پیدا می‌کند. بعلاوه، با افزایش سرعت تولید (۳۰۰ به ۵۰۰ متر بر دقیقه)، عرض دسته الیاف دورپیچ و فاصله میان دسته الیاف دورپیچ افزایش پیدا می‌کند، اما زاویه دسته الیاف دورپیچ کاهش می‌یابد. اثر فشار نازل، سرعت تولید و قطر دوک روی خصوصیات نخ ورتکس پلی‌استر/پنبه توسط تریپاتی و همکاران^۳ مورد بررسی قرار گرفت [۹]. با توجه به یافته‌های بدست آمده، افزایش فشار نازل منجر به افزایش استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نخ، و کاهش عیوب نخ از جمله نواحی نازک و ضخیم، نپ، شاخص یکنواختی و موئینگی شد. افزایش سرعت تولید منجر به کاهش استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نخ، و افزایش

عیوب نخ و موئینگی گردید. بعلاوه، استحکام و ازدیاد طول تا پارگی نخ با کاهش قطر دوک افزایش یافت؛ از طرفی، با افزایش قطر دوک، عیوب نخ و موئینگی افزایش پیدا کرد. بازال و اوگزنهام تفاوت بین خواص و ساختار نخ‌های جت هوا و ورتکس تولید شده با اختلاط پنبه/پلی‌استر سیاه با نسبت‌های مختلف را بررسی کردند [۱۰]. آن‌ها موفق به تولید نخ ۱۰۰٪ پلی‌استر و مخلوط پلی‌استر/پنبه با سیستم ریسندگی ورتکس شدند؛ گرچه، موفق به تولید نخ پنبه ۱۰۰٪ با استفاده از سیستم ریسندگی ورتکس نشدند. علت عدم موفقیت در تولید نخ ۱۰۰٪ پنبه را حضور الیاف پنبه با طول کوتاه در فتيله پنبه ذکر کردند. طبق بررسی‌های انجام گرفته، تمایل آشکاری بین الیاف پنبه یا پلی‌استر برای قرارگیری در مرکز ساختار نخ یا دورپیچ وجود ندارد. کیلیچ و اوکور^۴ خواص نخ‌های مخلوط تنسل و پرومودال با نمره ۳۰ انگلیسی ریسیده شده در سیستم‌های مختلف ریسندگی (رینگ، کامپکت و ورتکس) را بررسی کردند [۱۱]. بر اساس یافته‌ها مشاهده شد که با افزایش محتوای الیاف سلولزی بازیافتی (تنسل و پرومودال)، مقادیر موئینگی نخ ورتکس افزایش می‌یابد. بعلاوه، افزایش سهم الیاف سلولزی بازیافتی منجر به تولید نخ با یکنواختی بهتر و کاهش تعداد نواحی نازک و ضخیم و نپ شد. با توجه به یافته‌های اورتلک و اولکو^۵ روی ویژگی‌های نخ ورتکس،

4 Tripathi and et.al

2 Zu and et.al

2 Mertová and Moučková

4 Kilic and Okur

5 Ortlek and Ulku

نخ‌های ضخیم ویژگی‌های بهتری از نظر یکنواختی نخ، میزان عیوب نخ، موئینگی و خصوصیات کششی بروز می‌دهند [۱۲]. اورتلک و همکاران^۱ اثر قطرهای مختلف دوک و دوره کاری دوک روی خصوصیات نخ‌های ورتکس ۱۰۰٪ ویسکوز، بررسی کردند [۱۳]. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که قطر دوک بزرگ منجر به تولید نخ با موئینگی بالا، و همچنین منجر به کاهش نایکنواختی و استحکام نخ می‌شود. بر اساس مطالعه انجام گرفته توسط هان و همکاران، با افزایش زاویه روزنه نازل، افزایش فاصله میان روزنه نازل با محور نازل و همچنین کاهش قطر داخلی نازل می‌توان دسته الیاف دورپیچ بهتری را ایجاد نمود که در نهایت منجر به بهبود استحکام نخ می‌شود [۱۴]. الاسلام و همکاران^۲ اثر فاصله میان غلتک و دوک را روی خصوصیات نخ ورتکس بررسی کردند [۱۵]. طبق یافته‌های این مطالعه، فاصله کم میان غلتک و دوک منجر به تولید نخ ورتکس با تغییرات وزنی، عیوب، موئینگی و ازدیاد طول تا پارگی کمتر می‌شود. گرچه، فاصله میان غلتک و دوک روی استحکام نخ ورتکس اثر معناداری نداشت. در تحقیق صورت گرفته بوسیله غالبی و همکاران [۱۶]، تأثیر متغیرهای تولید از قبیل کشش ریسندگی، سرعت تولید و نمره نخ یک لا، بر روی خصوصیات کششی نخ‌های چندلا مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر متغیرهای تولید نخ‌های جت هوا (ورتکس) بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پارچه های

حلقوی پودی بافته شده از نخ های جت هوا بوسیله ایران‌نژاد و همکاران مورد بررسی قرار گرفت [۱۷]. درک تأثیر همزمان چندین عامل کلیدی لازمه بهینه‌سازی فرایند ریسندگی نخ ویسکوز در سیستم جت هوا (ورتکس) است. عامل‌های فرایندی متعددی در سیستم ریسندگی جت هوا بر خواص کیفی نخ نهایی مانند استحکام، یکنواختی و میزان پرزدهی تأثیر می‌گذارند. طرح آزمایشی عاملی به محققان این اجازه را می‌دهد تا همانند تعاملات میان عامل‌های مؤثر متغیرها، تأثیر هر یک از عوامل را بر متغیرهای مستقل و وابسته را مطالعه کنند. گرچه، ارزیابی همزمان چندین عامل در قالب یک طرح آزمایش کامل عاملی نیاز به اجرای تمام ترکیبات ممکن سطوح عوامل را دارد که منجر به افزایش تصاعدی تعداد آزمایش‌ها و هزینه می‌گردد. به منظور غلبه بر این چالش، از طرح آزمایش کسری عاملی می‌توان استفاده کرد. روش کسرعاملی سه سطحی یکی از تکنیک‌های پیشرفته در طراحی آزمایش^۳ است که زمانی استفاده می‌شود که تعداد عوامل زیاد باشد و هر عامل در سه سطح (کم، متوسط، زیاد) تعریف شده باشد. طرح آزمایش کسری عاملی با کاهش عمده تعداد آزمایش‌ها، امکان ارزیابی همزمان چند عامل را فراهم می‌سازد. منطق اصلی این طرح آن است که اثرات تعاملات با مرتبه بالا اغلب ناچیز بوده و می‌توان نادیده گرفت. این روش با نماد 3^k-p شناخته می‌شود. که در این رابطه ۳، تعداد سطوح

۲. مواد و روش‌های مورد استفاده

۲-۱- مواد اولیه و فرایند ریسندگی

در پژوهش حاضر برای تولید نخ ریسیده جت هوای ورتکس از الیاف ویسکوز استفاده شده است. مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف ویسکوز در جدول ۱، ارائه شده است. در فرآیند تولید نخ از الیاف ویسکوز طبق فرآیند ترسیم شده در شکل ۱ استفاده شد. تولید تمامی نخ‌های مورد نظر در شرکت نیکو نساج انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف ویسکوز

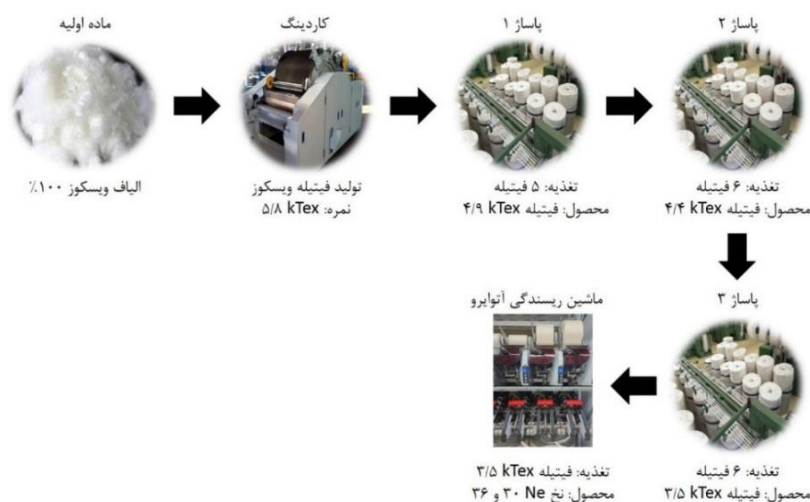
ظرافت لیف (دنیر)	طول لیف (میلیمتر)	استحکام تاحد پارگی (گرم بردنیر)	ازدیاد طول تا حد پارگی (درصد)
1.2	38	2.7	25

در مجموع، فرایند تولید نخ شامل بخش‌های حلاجی، کاردینگ، کشش یک، کشش دو، کشش سه و ماشین ریسندگی جت هوای ورتکس بود. بخش حلاجی شامل یک ماشین UNIFLOC 11، از شرکت ریتز (مدل ۲۰۱۲) و یک ماشین اختلاط Unimix B72، از شرکت ریتز (مدل ۲۰۱۲) و یک زننده CLC1، از شرکت تروچلر (مدل ۲۰۲۲) بوده است. ماشین کاردینگ TC-15، از شرکت تروچلر با سرعت تولید ۲۱۵ متر بر دقیقه استفاده شد. دانسیته خطی فتیله ماشین کاردینگ ۵/۸ کیلو تکس بود. ماشین کشش پاساژ یک SB-D45 از شرکت ریتز با سرعت تولید ۴۳۰ متر بر دقیقه و دانسیته خطی فتیله تولید شده، ۴/۹ کیلو تکس، بود. ماشین کشش پاساژ دوم، SB-D45، از شرکت ریتز با سرعت تولید ۴۳۰ متر بر دقیقه بود و دانسیته خطی فتیله تولید شده، ۴/۴ کیلو تکس بود.

هر عامل، k ، تعداد کل عوامل تحت بررسی و p ، عدد کسری، نشان‌دهنده این است که شما از $1/3p$ ، تمامی حالت‌های ممکن استفاده می‌کنید [۱۸]. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته روی تحقیقات انجام شده، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر پارامترهای فرایند تولید نخ‌های جت هوای ورتکس با استفاده از ماشین اتوایرو ۱ شرکت اشلا فهورث روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نخ ویسکوز، است. یکی از مؤثرترین طرح‌های آزمایشی برای مطالعه تأثیر عوامل متعدد، طرح آزمایشی عاملی می‌باشد. با کمک این طرح می‌توان تمامی ترکیب‌های ممکن سطح‌های عامل را بررسی کرد. به اضافه، از این طرح می‌توان به طور خاص با هدف شناسایی و ارزیابی اثرات اصلی و اثرات متقابل بین عوامل مختلف استفاده کرد. با توجه به تعداد عامل در نظر گرفته شده (سرعت تولید، کشش ریسندگی و کشش اولیه ماشین ریسندگی ورتکس) و همچنین تعداد سطح (۳ سطح)، تعداد نمونه در طرح آزمایشی عاملی کامل ۲۷ مورد می‌شود. به منظور کاهش تعداد نمونه‌ها، از طرح آزمایشی عاملی کسری استفاده می‌شود (3^{3-1}). بنابراین، بر اساس طرح آزمایش عاملی کسری، نه (۹) نمونه در هر کدام از نمره نخ‌های ۳۰ و ۳۶ انگلیسی، تولید شد. در نهایت، آزمون‌های کیفی روی نمونه نخ‌ها انجام و نتایج از نظر آماری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

مشخصات فیزیکی فتیله تغذیه شده به ماشین ریسندگی جت هوا در جدول ۲، ارائه شده است.

ماشین مرحله سوم کشش، TD10، از شرکت تروچلر با سرعت ۳۶۰ متر بر دقیقه و دانسیته خطی فتیله، ۳/۵ کیلو تکس جهت تغذیه به ماشین ریسندگی، بود.



شکل ۱- فرآیند تولید نخ جت هوا

۲-۲- طرح آزمایش

با توجه به مطالعات انجام گرفته، سه متغیر مستقل در نظر گرفته شد: سرعت تولید، کشش اولیه و کشش ریسندگی. عوامل دیگر فرآیند ریسندگی ثابت در نظر گرفته شد. در جدول ۳، مقدار برخی از عوامل مهم در فرآیند ریسندگی جت هوا که ثابت در نظر گرفته شده‌اند، ارائه شده است. سه متغیر مستقل سرعت تولید، کشش اولیه و کشش ریسندگی در سه سطح تعریف گردید و نمونه نخ‌ها در دو نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی، طبق روش طرح عاملی کسری (L9) و بر اساس جدول ۴، تولید شدند. در این روش از دو عامل اولیه (سرعت تولید (A)، کشش اولیه (B)) شروع کرده و عامل

در این پژوهش، تمامی نمونه نخ‌های مورنظر روی یک واحد از دستگاه ریسندگی جت هوا، تولید شدند. دستگاه ریسندگی جت هوای مورد استفاده اتوایرو ۱ ساخت شرکت اشلا فهرست (زاوور) بود (مدل ۲۰۲۳). واحد ریسندگی جت هوا مجهز به سیستم کشش چهار بر چهار با آپرون دابل بود. بنابراین، دارای سه ناحیه کشش تحت عنوان کشش اولیه، کشش میانی و کشش اصلی می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات یکنواختی فتیله ویسکوز مرحله سوم کشش

نمره (kTex)	CV _m %	CV _{1m} %
3.5	2.23	0.49

سوم (کشش ریسندگی (C)) براساس یک رابطه مدولار ایجاد می شود. رابطه مولد برای L9 به صورت رابطه (۱) تعریف می شود. رابطه (۱) به این معنی است که سطح عامل کشش ریسندگی، در هر آزمایش، برابر با مجموع سطوح، سرعت تولید و کشش اولیه، در همان آزمایش به صورت مدولار ۳ است. در این روش هر ستون نسبت به سایر ستون ها متعامد است (یعنی ضرب داخلی آن ها صفر می شود یا به زبان ساده تر، تداخل ندارند) [۱۸]. توزیع مقدار کشش در نواحی سیستم کشش چهار بر چهار برای تولید نمونه ها در جدول ۵، ارائه شده است.

۲-۳- آزمون های آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر آزمون های یکنواختی نخ، پرزینگی نخ و خصوصیات کششی، انجام گرفت. نایکنواختی نخ با استفاده از دستگاه آزمون سنجش یکنواختی نخ (اوستر ۴) سنجیده شد. سرعت دستگاه معادل ۴۰۰ متر بر دقیقه و مدت زمان آزمون ۲/۵ دقیقه، در نظر گرفته شد. به ازای هر نمونه، آزمون اوستر سه مرتبه تکرار گردید. پرزینگی نخ با استفاده از دستگاه آزمون پرزینگی شرلی، اندازه گیری شد. آزمون پرزینگی پنج مرتبه تکرار و تعداد الیاف مویی بلندتر از ۳ میلیمتر در واحد طول، گزارش شد. آزمون کشش با استفاده از دستگاه اندازه گیری خصوصیات کششی ژوئیک انجام گرفت. این دستگاه بر اساس نرخ ثابت ازدیاد طول عمل می کند. آزمون کشش طبق استاندارد ASTM D2256، با فاصله بین دو فک ۲۵ سانتی متر انجام شد. نرخ جابجایی فک به گونه ای در نظر گرفته شد تا مدت زمان آزمون تا پارگی در محدوده ۱۷

$$C \equiv (A+B) \pmod{3} \quad (1)$$

جدول ۳- مقدار عوامل اثرگذار بر محصول در فرآیند ریسندگی جت هوا

فشار هوا (بار)	قطر نازل (میلیمتر)	فاصله میان غلتک تولید و اسپیندل (میلیمتر)
5.6	1.1	20

جدول ۴- مشخصات نمونه های تولید شده مطابق طرح آزمایش عاملی کسری 3^{3-1}

نمونه	1	2	3	4	5	6	7	8	9
سرعت تولید	410	410	440	440	440	470	470	470	410
کشش اولیه	2.4	2.7	2.7	3.1	2.4	3.1	2.4	2.7	3.1
کشش ریسندگی	0.95	0.98	0.95	0.98	1.01	0.95	0.98	1.01	1.01

جدول ۵: توزیع مقدار کشش در نواحی سیستم کشش چهار بر چهار

36Ne			30Ne		
ناحیه اول	ناحیه دوم	ناحیه سوم	ناحیه اول	ناحیه دوم	ناحیه سوم
2.4	2.3	31.5	2.4	2.8	31.5
2.7	2.3	28	2.7	2.8	28
3.1	2.3	25	3.1	2.8	25

تا ۲۳ ثانیه قرار بگیرد. در نهایت، به منظور بررسی دقیق تر با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر از روی سطح نخ گرفته شد. نتایج سطح نخ های تولید شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی حاصل از آزمون های آزمایشگاهی در جدول ۶، ارائه شده روبشی Ev015 ساخت شرکت ZEISS، استفاد و تصاویر است.

جدول ۶: نتایج حاصل از آزمون های آزمایشگاهی برای نمره نخ های ۳۰ و ۳۶ انگلیسی

36Ne					30Ne				
از دیاد طول تحد پارگی (%)	استحکام تحد پارگی (cN/Tex)	پرزینگی	CV _m (%)	کد نمونه	از دیاد طول تحد پارگی (%)	استحکام تحد پارگی (cN/Tex)	پرزینگی	CV _m (%)	کد نمونه
11.60 (6.18)	14.20 (11.56)	0.52 (0.16)	14.40 (0.41)	361	11.45 (9.37)	12.90 (5.20)	0.42 (0.13)	13.73 (1.91)	301
12.00 (8.78)	15.30 (7.12)	0.26 (0.11)	14.1 (1.35)	362	12.61 (11.34)	14.60 (9.07)	0.40 (0.12)	13.20 (0.20)	302
12.30 (10.26)	15.10 (6.24)	0.68 (0.08)	14.00 (0.64)	363	12.00 (12.65)	13.10 (8.24)	0.60 (0.12)	13.50 (0.36)	303
11.30 (13.86)	14.70 (6.95)	0.74 (0.05)	13.90 (0.21)	364	12.60 (13.24)	14.40 (8.86)	0.56 (0.11)	13.20 (0.93)	304
10.60 (17.00)	14.00 (11.05)	0.72 (0.23)	14.10 (0.76)	365	13.10 (15.52)	13.50 (12.16)	0.60 (0.07)	13.50 (0.76)	305
13.10 (10.84)	13.70 (8.53)	1.36 (0.25)	13.9 (0.20)	366	13.70 (16.52)	13.80 (14.00)	1.02 (0.19)	13.6 (0.80)	306
11.70 (9.64)	15.50 (8.69)	1.24 (0.32)	13.70 (0.17)	367	14.10 (8.15)	15.10 (5.08)	0.84 (0.17)	13.20 (0.47)	307
10.80 (6.58)	14.00 (7.23)	1.10 (0.28)	14.10 (0.85)	368	11.80 (16.69)	14.10 (12.36)	0.74 (0.19)	13.20 (0.49)	308
10.80 (8.26)	13.50 (10.03)	0.98 (0.37)	14.30 (12.86)	369	10.80 (12.21)	13.50 (10.57)	0.52 (0.15)	13.30 (0.65)	309

*اعداد داخل پرانتز نشان دهنده ضریب تغییرات، است.

۳- بحث و بررسی نتایج

۳-۱- پرزینگی نخ

پرزینگی نخ با تغییر مقدار متغیرهای مستقل در نمرات ۳۰ و ۳۶ انگلیسی مشابه یکدیگر است. با افزایش سرعت تولید، پرزینگی در هر دو دسته، افزایش پیدا می کند. مقدار پرزینگی با افزایش کشش اولیه از ۲/۴ تا ۲/۷ در هر دو نمره نخ تغییر محسوس نشان نداده است، اما با افزایش کشش اولیه از ۲/۷ تا ۳/۱، مقدار پرزینگی، افزایش

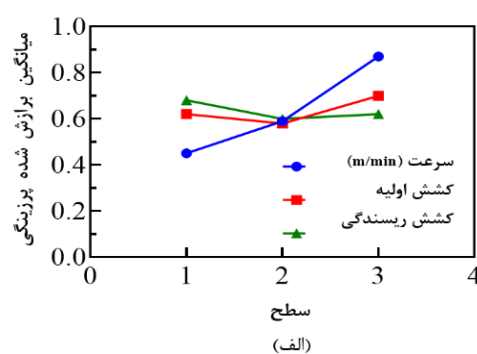
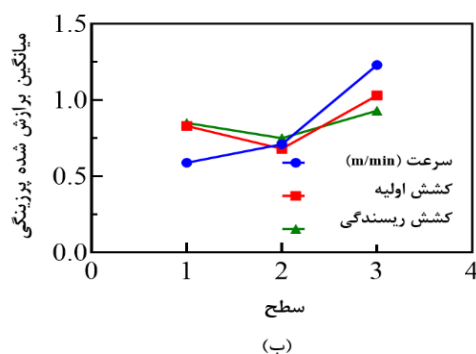
تأثیر سه متغیر اصلی روی پرزینگی نمونه های نخ با نمرات ۳۰ و ۳۶ انگلیسی در شکل ۲، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود روند تغییرات میزان

پیدا می‌کند. در مقابل، کشش ریسندگی اثر چشمگیری روی پرزینگی نخ با نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی، نداشته است. طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۰۱ تا ۳۰۹ (جدول ۷)، تنها عامل سرعت تولید روی پرزینگی نخ با نمره ۳۰ انگلیسی اثر معناداری از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، دارد. از سوی دیگر، طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۶۱ تا ۳۶۹، دو متغیر مستقل سرعت تولید و کشش اولیه روی پرزینگی نخ با نمره ۳۶ انگلیسی اثر معنادار، نشان دادند. در ساختار نخ جت هوای ورتکس، درصد الیاف دورپیچ نسبت به الیاف مغزی با افزایش سرعت ریسندگی، کاهش پیدا می‌کند [۸]. بنابراین، آزادی حرکتی الیاف مغزی بیشتر می‌شود که منجر به افزایش پرزینگی در هر دو نمره نخ ۳۰ و ۳۶ انگلیسی

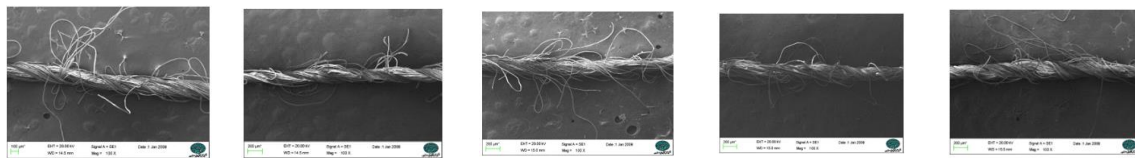
خواهد شد. در نمره نخ ۳۰ انگلیسی، تنها عامل اثرگذار روی پرزینگی، سرعت تولید بدست آمده است؛ در حالی که، برای نمره نخ ۳۶ انگلیسی، هم سرعت تولید و هم کشش اولیه روی پرزینگی نخ اثر معناداری دارند. شایان ذکر است که طبق جدول ۷ و مقایسه مقادیر P-value، تأثیر سرعت تولید نسبت به کشش اولیه در اثرگذاری روی پرزینگی نخ ۳۶ انگلیسی بیشتر است. در شکل ۳، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سه نمونه نخ ورتکس ۳۰۱، ۳۶۱ و ۳۰۹ در مقایسه با دو نمونه ۳۰۷ و ۳۶۷، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزایش سرعت تولید منجر به کاهش درصد الیاف دورپیچ و تعداد الیاف دورپیچ و در نتیجه افزایش پرزینگی و بیرون آمدن الیاف از سطح نخ، شده است.

جدول ۷- تحلیل واریانس پرزینگی نمونه‌های با نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی

36Ne		30Ne		نمره نخ
P-Value	F-Value	P-Value	F-Value	متغیر
0.00	29.41	0.00	30.9	سرعت
0.13	2.20	0.32	1.17	کشش ریسندگی
0.002	7.58	0.09	2.52	کشش اولیه



شکل ۲- تأثیر سه متغیر اصلی روی پرزینگی نمونه‌های نخ با نمره (الف) ۳۰ انگلیسی و (ب) ۳۶ انگلیسی (سطح سرعت تولید: ۴۱۰-۴۴۰-۴۷۰، سطح کشش اولیه: ۲/۴-۲/۷-۳/۱ و سطح کشش ریسندگی: ۰/۹۵-۰/۹۸-۱/۰۱)



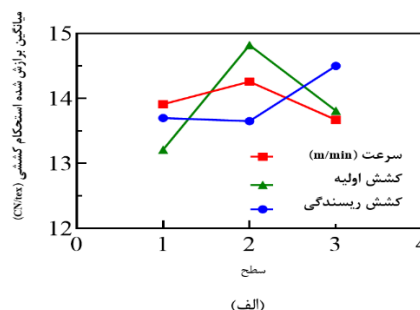
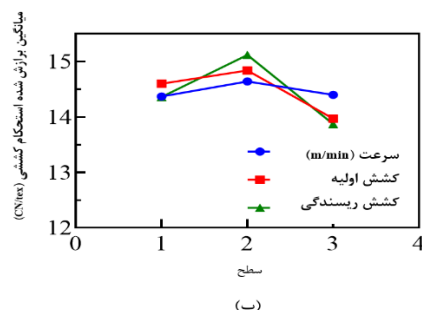
شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه نخ‌های نمره ۳۰ انگلیسی (الف) کد ۳۰۱ - سرعت تولید ۴۱۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۰/۹۵ و کشش اولیه ۲/۴، (ب) کد ۳۰۹ - سرعت تولید ۴۱۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۱/۰۱ و کشش اولیه ۳/۱، (ج) کد ۳۰۷ - سرعت تولید ۴۷۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۰/۹۸ و کشش اولیه ۲/۴، و نمونه نخ‌های نمره ۳۶ انگلیسی (د) کد ۳۶۱ - سرعت تولید ۴۱۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۰/۹۵ و کشش اولیه ۲/۴، (ه) کد ۳۶۷ - سرعت تولید ۴۷۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۰/۹۸ و کشش اولیه ۲/۴

به ۳/۱ کاهش پیدا می‌کند. برای هر دو نمره ۳۰ و ۳۶

۳-۲- استحکام تاحدپارگی

انگلیسی، با افزایش کشش ریسندگی، استحکام نخ ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند. طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۰۱ تا ۳۰۹ (جدول ۸)، تنها عامل کشش ریسندگی روی استحکام نخ با نمره ۳۰ انگلیسی اثر معناداری دارد. از طرفی، تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۶۱ تا ۳۶۹، دو متغیر مستقل کشش ریسندگی و کشش اولیه روی استحکام نخ با نمره ۳۶ انگلیسی اثر معناداری دارند.

اثر سه متغیر اصلی روی استحکام تاحدپارگی نمونه‌های نخ با نمرات ۳۰ و ۳۶ انگلیسی در شکل ۴، نشان داده شده است. روند تغییرات استحکام تاحدپارگی نخ با تغییر مقدار متغیرهای مستقل در نمرات ۳۰ و ۳۶ انگلیسی تقریباً مشابه یکدیگر است و با افزایش سرعت تولید، روند نزولی داشته است، هرچند که تا سرعت ۴۴۰ متر بر دقیقه، تغییرات استحکام تا حدپارگی محسوس نیست. استحکام نخ در هر دو نمره با افزایش کشش اولیه از ۲/۴ به ۲/۷ تغییر چندانی نداشته است، سپس با افزایش کشش اولیه



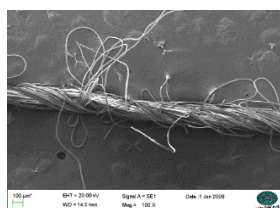
شکل ۴- تأثیر سه متغیر اصلی روی استحکام تاحدپارگی نمونه‌های نخ با نمره (الف) ۳۰ انگلیسی و (ب) ۳۶ انگلیسی (سطح سرعت تولید: ۴۱۰-۴۴۰-۴۷۰، سطح کشش اولیه: ۲/۴-۲/۷-۳/۱ و سطح کشش ریسندگی: ۰/۹۵-۰/۹۸-۱/۰۱)

جدول ۸- تحلیل واریانس استحکام تاحدپارگی نمونه‌های با نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی

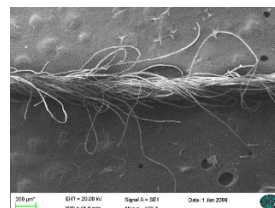
36Ne		30Ne		نمره نخ
P-Value	F-Value	P-Value	F-Value	منبع
0.69	0.37	0.18	1.78	سرعت
0.001	7.47	0.001	7.36	کشش ریسندگی
0.03	3.48	0.98	0.02	کشش اولیه

در مجموع به نظر می‌رسد که افزایش سرعت تولید و در نتیجه کاهش زاویه الیاف دورپیچ، تأثیر آماری معنی‌داری بر روی کاهش استحکام تاحدپارگی نخ‌های تولیدشده نشان نداده‌است. بررسی نتایج حاصل نشان داد که افزایش کشش ریسندگی تا یک حد مشخص، منجر به افزایش استحکام می‌گردد که به دلیل افزایش درصد الیاف مغزی در ساختار نخ جت هوای ورتکس است. اما با افزایش کشش ریسندگی از مقدار ۰/۹۸ به ۱/۰۱، درصد الیاف دورپیچ که نقش نگهدارنده الیاف مغزی را دارد، کاهش یافته و عملاً اصطکاک و درگیری الیاف مغزی که تحمل‌کننده نیروی کششی در ساختمان نخ است، کاهش می‌یابد. لذا در این ویژگی تأثیر متقابل هر دو عامل مشخص شده است. در نخ نمره ۳۰ انگلیسی، متغیر کشش اولیه اثر معناداری بر استحکام نخ ندارد. ولی با افزایش کشش اولیه در نخ نمره ۳۶ انگلیسی، استحکام نخ ورتکس کاهش معناداری پیدا می‌کند. کاهش استحکام تا حد پارگی به

دلیل افزایش کشش اولیه را به عدم کنترل الیاف در این ناحیه، می‌توان نسبت داد. ازسوی دیگر افزایش کشش اولیه منجر به کاهش کشش در ناحیه اصلی می‌شود که همین روند می‌تواند دلیلی برای کنترل بهتر الیاف در ناحیه اصلی کشش؛ علی‌رغم سرعت بالای تولید؛ و افزایش استحکام تاحدپارگی نخ در کشش اولیه ۲/۷، باشد. در شکل ۵، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی دو نمونه نخ ۳۰۵ و ۳۶۵ نشان داده شده‌است. این دو نمونه نخ با کشش ریسندگی ۱/۰۱ تولید شده است، همانطور که در تصویر مشخص است، درصد الیاف دورپیچ و همچنین فشردگی ساختمان نخ، در مقایسه با تصاویر نشان داده شده در شکل ۳ کاملاً کاهش یافته است و انتظار می‌رود که چنین ویژگی در ساختمان نخ می‌تواند منجر به کاهش استحکام تاحدپارگی نخ گردد.



(ب)



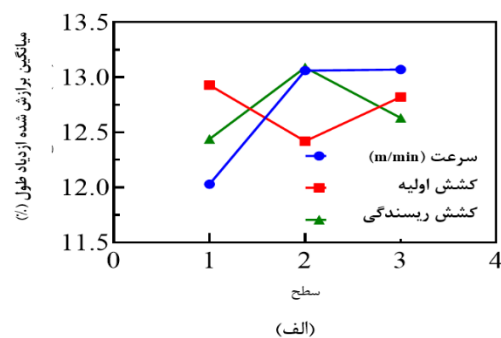
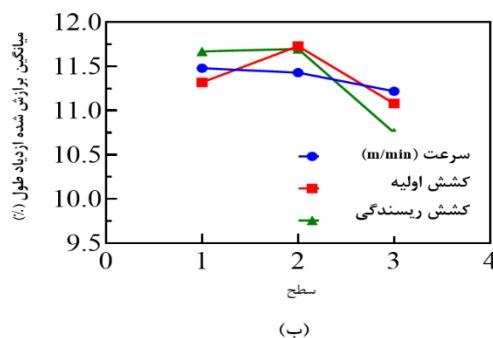
(الف)

شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه نخ (الف) کد ۳۰۵ - سرعت تولید ۴۴۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۱/۰۱ و کشش اولیه ۲/۴، (ب) کد ۳۶۵ - سرعت تولید ۴۴۰ متر بر دقیقه، کشش ریسندگی ۱/۰۱ و کشش اولیه ۲/۴

۳-۳- ازدیادطول تا حد پارگی

اما ازدیادطول نخ نمره ۳۶ انگلیسی تغییر محسوسی نمی- کند. با افزایش کشش ریسندگی از ۰/۹۸ به ۱/۰۱، مقدار ازدیادطول نخ در هر دو نمره کاهش پیدا می- کند. تغییر کشش اولیه روند مشخصی بر روی این ویژگی نشان نداد. طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۰۱ تا ۳۰۹ (جدول ۹)، تنها عامل سرعت تولید روی ازدیادطول تا حد پارگی نخ با نمره ۳۰ انگلیسی اثر معناداری دارد. از طرفی، طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۶۱ تا ۳۶۹، تنها متغیر اثرگذار بر روی ازدیادطول تا حد پارگی نخ با نمره ۳۶ انگلیسی در سطح اطمینان ۹۵ درصد، کشش ریسندگی بود.

در شکل ۶، تأثیر سه متغیر اصلی روی ازدیادطول تا حد پارگی نمونه‌های نخ مختلف نشان داده شده است. بر خلاف استحکام تا حد پارگی نخ، روند تغییرات ازدیادطول تا حد پارگی نخ با تغییر مقدار متغیرهای مستقل در نمرات ۳۰ و ۳۶ انگلیسی مشابه یکدیگر نیست. ازدیادطول تا حد پارگی نخ ۳۰ انگلیسی با افزایش سرعت تولید روند افزایشی دارد، در حالی که در نمره ۳۶ انگلیسی، ازدیادطول نخ با افزایش سرعت تولید روند کاهشی تدریجی دارد. با افزایش کشش ریسندگی از ۰/۹۵ به ۰/۹۸، ازدیادطول نخ با نمره ۳۰ انگلیسی افزایش می‌یابد،



شکل ۶- تأثیر سه متغیر اصلی روی ازدیادطول تا حد پارگی نمونه‌های نخ با نمره (الف) ۳۰ انگلیسی و (ب) ۳۶ انگلیسی (سطح سرعت تولید: ۴۱۰-۴۴۰-۴۷۰، سطح کشش اولیه: ۲/۴-۲/۷-۳/۱ و سطح کشش ریسندگی: ۰/۹۵-۰/۹۸-۱/۰۱)

جدول ۹- تحلیل واریانس ازدیادطول تا حد پارگی نمونه‌های با نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی

36Ne		30Ne		نمره نخ
P-Value	F-Value	P-Value	F-Value	متغیر
0.78	0.25	0.01	5.15	سرعت
0.03	3.70	0.06	2.87	کشش ریسندگی
0.25	1.41	0.33	1.11	کشش اولیه

در ساختمان نخ می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که نقش الیاف دورپیچ در کنترل ساختمان نخ افزایش یافته و از

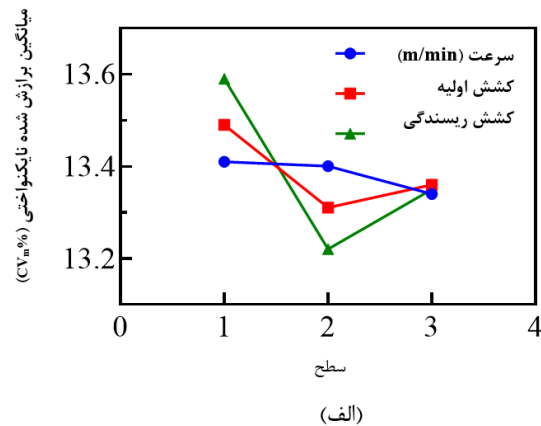
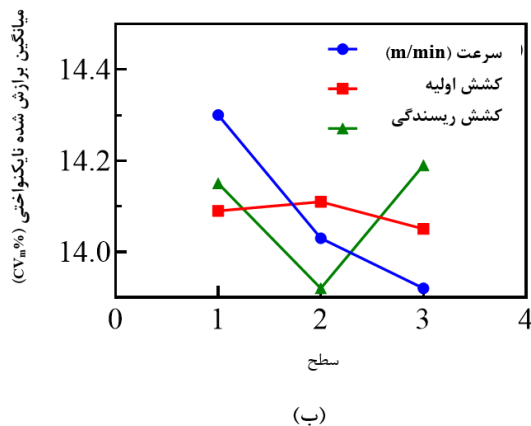
در نمونه‌های تولید شده با نمره ۳۰ انگلیسی، افزایش سرعت تولید، منجر به یکنواختی تشکیل الیاف دورپیچ

است. نایکنواختی جرمی نخ ۳۰ و ۳۶ انگلیسی با افزایش سرعت تولید روند کاهشی دارد؛ گرچه این روند کاهشی برای نخ ۳۶ انگلیسی قوی‌تر است. با افزایش کشش ریسندگی از ۰/۹۵ به ۱/۰۱، نایکنواختی جرمی نخ در هر دو نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی ابتدا کاهش و سپس افزایش پیدا کرده‌است. همچنین تغییر کشش اولیه منجر به تغییر نه چندان چشمگیر نایکنواختی جرمی نخ شده‌است. طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۰۱ تا ۳۰۹ (جدول ۱۰)، متغیر کشش ریسندگی روی نایکنواختی نخ با نمره ۳۰ انگلیسی اثر معناداری دارند. از طرفی، طبق تحلیل واریانس برای نمونه‌های ۳۶۱ تا ۳۶۹، متغیرهای کشش ریسندگی و سرعت تولید روی نایکنواختی نخ با نمره ۳۶ انگلیسی اثر معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، دارند.

سرش الیاف در زمان اعمال نیروی کششی جلوگیری کند. همچنین در نخ با نمره ۳۶ انگلیسی، با افزایش سرعت تولید و کاهش تعداد الیاف دورپیچ در واحد طول، انتظاری‌رود که سرش الیاف مغزی افزایش یافته و ازدیاد طول تاحدپارگی نخ روند نزولی نشان دهد. از سوی دیگر انتظار می‌رود که افزایش کشش ریسندگی منجر به کاهش نسبت الیاف دورپیچ به مغزی شود. این روند باعث افزایش احتمال سرش الیاف و در نتیجه کاهش ازدیاد طول تاحدپارگی نخ خواهد شد.

۳-۴- نایکنواختی جرمی نخ (CVm)

تأثیر سه متغیر اصلی روی نایکنواختی نمونه‌های نخ با نمرات ۳۰ و ۳۶ انگلیسی در شکل ۷، نشان داده شده



شکل ۷- تأثیر سه متغیر اصلی روی نایکنواختی نمونه‌های نخ با نمره الف) ۳۰ انگلیسی و ب) ۳۶ انگلیسی (سطح سرعت تولید: ۴۷۰-۴۴۰-۴۱۰، سطح کشش اولیه: ۲/۴-۲/۷-۳/۱ و سطح کشش ریسندگی: ۰/۹۵-۱/۰۱-۱/۰۹)

جدول ۱۰- تحلیل واریانس نایکنواختی جرمی نمونه‌های با نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی

36Ne		30Ne		نمره نخ
P-Value	F-Value	P-Value	F-Value	متغیر
0.00	13.90	0.57	0.58	سرعت
0.00	8.11	0.00	16.33	کشش ریسندگی
0.73	0.32	0.05	3.74	کشش اولیه

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر تنظیمات ماشین ریسندگی جت هوای ورتکس آتوایرو ۱، بر کیفیت نخهای ویسکوز مورد بررسی قرار گرفت. با تکیه بر تحقیقات پیشین، سه متغیر اصلی سرعت تولید، کشش اولیه و کشش ریسندگی (هر یک در سه سطح) در نظر گرفته شد. به منظور بررسی اثر هر متغیر اصلی بر خواص کیفی محصول نهایی و معناداری آن از طرح آزمایش عاملی کسری استفاده گردید. بنابراین، با استفاده از ماشین ریسندگی ورتکس آتوایرو ۱، ۱۸ نمونه نخ در دو نمره ۳۰ و ۳۶ انگلیسی تولید شد و آزمون‌های آزمایشگاهی مرتبط با کیفیت نخ انجام گرفت. با توجه به یافته‌های بدست آمده، پریزینگ نخ با افزایش سرعت تولید و کشش اولیه افزایش یافت. بعلاوه، یک سطح بهینه از کشش ریسندگی وجود دارد که در آن استحکام و ازدیاد طول تاحد پارگی نخ در بالاترین مقدار خود قرار دارد. برخلاف یافته‌های مطالعات دیگر، افزایش سرعت تولید منجر به افزایش نایکنواختی نخ ورتکس نشد؛ گرچه، افزایش کشش ریسندگی تا میزان ۱/۰۱ منجر به افزایش میزان نایکنواختی جرمی نخ ورتکس شد.

به طور کلی در ریسندگی جت هوای ورتکس، انتظار می‌رود که با افزایش سرعت تولید، نایکنواختی نخ افزایش یابد ولی از سوی دیگر گزارش شده است که با افزایش سرعت تولید، میزان نپ نخ کاهش می‌یابد. علت آن است که با کاهش سرعت تولید انتظار می‌رود که الیاف دورپیچ به صورت نایکنواخت بر روی سطح نخ پیچیده شده و به صورت نپ بر روی سطح نخ بوجود آید [16]. بنابراین انتظار می‌رود که در سرعت‌های پایین، تاحدی نایکنواختی نخ افزایش یابد. لذا عملاً مشاهده شد که در نمونه‌های تولیدشده، روند تغییرات نایکنواختی جرمی نخ نزولی است؛ لیکن در نخ نمره ۳۰ انگلیسی، تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبوده ولی در نخ ۳۶ انگلیسی، معنی‌دار است. همچنین کشش اولیه بر روی نایکنواختی نخ تأثیر معناداری نشان نداد و حداکثر اختلاف ۴/۰۲ درصد بین نمونه‌های مختلف در نخ با نمره ۳۰ انگلیسی، اندازه‌گیری شد. در نهایت افزایش کشش ریسندگی تاحد مشخصی باعث کاهش عیوب نخ شده‌است؛ ولی با افزایش آن به ۱/۰۱، به دلیل کاهش درصد الیاف دورپیچ و عدم کنترل الیاف مغزی، به نظر می‌رسد که نایکنواختی ساختاری نخ تشکیل شده (مطابق شکل ۵)، افزایش پیدا کرده‌است. نتایج حاصل، حد بهینه ۰/۹۸ را در رابطه با هر دونخ تولیدشده، تأیید می‌کند.

۵- منابع

[1] N. Erdumlu, B. Ozipek, and W. Oxenham, "Vortex spinning technology", Textile Progress,

Vol. 44, No. 3-4, pp. 141-174, 2012, DOI: [10.1080/00405167.2012.739345](https://doi.org/10.1080/00405167.2012.739345).

[2] A. Basu, "Progress in air-jet spinning", Textile Progress, Vol. 29, No. 3, pp. 1-38, 1999, DOI: [10.1080/00405169908688877](https://doi.org/10.1080/00405169908688877).

- [3] G. Basal, "The structure and properties of vortex and compact spun yarns", Ph.D thesis, North Carolina State University, 2003.
- [4] G. Basal and W. Oxenham, "Effects of some process parameters on the structure and properties of vortex spun yarn", *Textile Research Journal*, Vol. 76, No. 6, pp.492-499, 2006, DOI:10.1177/0040517506064253.
- [5] G. K. Tyagi, D. Sharma, and K. R. Salhotra, "Process-structure-property relationship of polyester-cotton MVS yarns: Part I-Influence of processing variables on yarn structural parameters", *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 419-428, 2004.
- [6] G. K. Tyagi, D. Sharma, and K. R. Salhotra, "Process-structure-property relationship of polyester-cotton MVS yarns: Part II-Influence of process variables on yarn characteristics", *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 429-435, 2004.
- [7] Z. Zou, S. Liu, S. Zheng, and L. Cheng, "Numerical computation of a flow field affected by the process parameters of Murata vortex spinning", *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 18, No. 2, pp.35-39, 2010, DOI: 10.1177/15589250140090041.
- [8] I. Mertová and E. Moučková, "Effect of the selected machine variables on the structural characteristics of air-jet spun yarn", *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 111, No. 11, pp. 1556-1566, Nov. 2020, DOI: 10.1080/00405000.2020.1715607.
- [9] L. Tripathi, M. Jain, and S. M. Ishtiaque, "Properties of air-vortex blended yarn influenced by spinning process parameters", *Indian Journal of Fiber and Textile Research*, Vol. 46, No. 3, pp. 225-240, 2021, DOI: 10.56042/ijftr.v46i3.40430.
- [10] G. Basal and W. Oxenham, "Vortex Spun Yarn VS. Air-Jet Spun Yarn", *AUTEX Research Journal*, Vol. 3, No. 3, pp. 96-101, 2003, DOI: 10.1515/aut-2003-030301.
- [11] M. Kilic and A. Okur, "The properties of cotton-Tencel and cotton-Promodal blended yarns spun in different spinning systems", *Textile Research Journal*, Vol. 81, No. 2, pp. 156-172, Jan. 2011, DOI: 10.1177/0040517510377828.
- [12] H. G. Ortlek and S. Ulku, "Effect of some variables on properties of 100% cotton vortex spun yarn", *Textile Research Journal*, Vol. 75, No. 6, pp.458-461, 2005, DOI:10.1177/0040517505053835.
- [13] H. G. Ortlek, F. Nair, R. Kilik, and K. Guven, "Effect of spindle diameter and spindle working period on the properties of 100% viscose MVS yarns", *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 16, No. 3, pp.17-20, 2008.
- [14] C. Han, W. Gao, and L. Cheng, "Correlation between nozzle structural parameters and breaking strength of jet vortex spun yarn," *Textile Research Journal*, Vol. 89, No. 13, pp. 2648-2658, Jul. 2019, DOI: 10.1177/0040517518798655.
- [15] Md. R. Islam, R. Mia, Md. A. Bin Habib, and Md. A. Lotif, "A comparative analysis for the cleaner production of vortex spun yarn based on the nozzle position," *Heliyon*, Vol. 8, No. 10, pp.1-11, 2022, DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10963.
- [16] B. Ghalebi, F. Irannejad, E. Fathi, M. Shanbeh, "Statistical Analysis of the Effect of Viscose Air-jet Spun Yarn Process variables on the Tensile properties of Plied yarns based on Taguchi Method", *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol. 9, pp.1-12, 2024, DOI:10.1177/15589250241302444.
- [17] F. Irannejad, E. Fathi, B. Ghalebi, M. Shanbeh, "Effect of process parameters of viscose air-jet yarns on physical and mechanical properties of weft knitted fabrics", *Research Journal of Textile and Apparel*, Vol. 29, No. 4, pp.1071-1076, 2025, DOI:10.1108/RJTA-07-2024-0117..
- [18] D. C. Montgomery, G. C. Runger, and N. F. Hubele, *Engineering Statistics*, 5th edition. Hoboken, NJ: John Wiley, 2011.