بررسی تغییر میزان پرزینگی نخهای سایرو، رینگ و سولو توسط نازل هوا

ریحانه میرخانی[i]، مجید صفر جوهری[ii]

چکیده

در این تحقیق، یک تصویر کلی از نحوه کاهش پرزینگی نخ با استفاده از نازل هوا در سیستم ریسندگی سایرو، رینگ و سولو ارائه می‌گردد. در این روش، یک نازل در زیر منطقه تشکیل نخ در ماشین ریسندگی رینگ قرار می‌گیرد. این نازل همانند نازل اول ریسندگی جت هوا عمل می‌کند. چرخش جریان هوا در نازل موجب پیچش سرهای آزاد الیاف به دور بدنه نخ و در نتیجه کاهش پرزینگی آن می‌گردد.

سپس با بکارگیری مخلوط الیاف پشم/ پلی استربا نسبت (۵۵/۴۵)، تأثیر بعضی از پارامترها از قبیل: نمره نخ، سرعت دوک، تاب نخ، نمره شیطانک و نیز فشار و فاصله نازل تا غلتک تولید بر پرزینگی نخ مورد بررسی قرار می‌گیرد وبه منظور بهینه نمودن این پارامترها ، از روش تاگوچی استفاده شده است. نتایج به دست آمده از دستگاه شرلی بیانگر این مطلب می‌باشد که تمام پارامترهای مذکور، بر پرزینگی نخ سایرو با استفاده از نازل هوا، اثر معنی‌داری دارند. در سیستم‌های ریسندگی رینگ و سولو نیز به استثناء فاصله نازل تا غلتک تولید، بقیه فاکتورها دارای اثر معنی‌داری می‌باشند. بررسی مقایسه‌ای میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم‌های ریسندگی سایرو، رینگ و سولو توسط نازل، نشان می‌دهد که کاهش چشمگیر پرزینگی نخ‌ها تابع نوع سیستم ریسندگی می‌باشد. نتایج بدست آمده بیانگر این مطلب نیز می‌باشد که میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم ریسندگی رینگ با استفاده از نازل، نسبت به سیستم‌های ریسندگی سایرو وسولو بیشتر می‌باشد.

کلمات کلیدی:

پرزینگی، رینگ، سولو، سایرو، نازل هوا، روش تاگوچی، بهینه سازی

Study of the Change in the Amount of Hairiness of Ring, Solo and Siro Spun Yarns by Means of Air-Jet

R. mirkhani, M. S. Johari

ABSTRACT

This research introduces the concept of hairiness reduction of the Ring, Siro and Solo spun yarns by means of air jet. In this method, a single jet is used below the yarn forming zone of Ring spinning machine. This jet acts in such a way similar to the first air jet in the air-jet spinning. The swirling air current in the nozzle, winds the protruding fibers around the yarn body, hence reducing the yarn hairiness.

In present work, the fibers were the blend of wool / polyester (45/55) in the form of slubs to investigate the effect of some parameters such as linear density, spindle speed, twist level, traveler number, nozzle pressure and distance between front roller nip and the nozzle on the yarn hairiness. To evaluate the optimum spinning condition, Taguchi method has been used. The results obtained with Shirley hairiness meter for Siro spun yarns, indicate that all of mentioned parameters have significant effect on the yarn hairiness. In Ring

[i] کارشناسی ارشد مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mirkhani80@yahoo.com

[ii] – دانشیار دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mjohari@aut.ac.

and Solo spun yarns except distance between front roller nip and nozzle, all factors have a significant effect too. Comparative investigation hairiness reduction of Ring, Solo and Siro yarns by means of air jet indicate that effectively reducing yarn hairiness and this reduction was system dependant. The obtained results indicate that hairiness reduction of the ring by means of air jet is more than same amount of Solo and Siro spinning system without air-jet.

KEYWORDS:

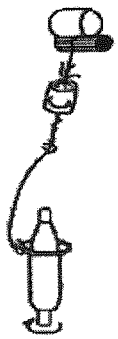
Hairiness, Ring, Solo, Siro, Air-Jet, Taguchi Method, Optimization

۱- مقدمه

اهمیت پرزینگی نخ به عنوان عاملی تأثیرگذار بر ظاهر، زیردست و خصوصیات نخ و پارچه، امری روشن و غیر قابل انکار می باشد. الیافی که به دلیل عدم مهاجرت کافی، به طور موثر در ساختمان نخ قرار نمی‌گیرند را الیاف سطحی یا پرز می‌گویند که شامل انتهای آزاد الیاف، الیاف حلقه ای شکل در سطح نخ و الیاف خارج از کنترل می‌باشد[۱۹-۱۸]. الیاف با توجه به خصوصیات مکانیکی خود (طول، ظرافت، سختی، ...) تمایل دارند تا به سطح بیرونی نخ مهاجرت نمایند. پرزینگی نخ، تابع الیاف مستقر در سطح بیرونی نخ می‌باشند که با الیاف لایه‌های درونی ساختار نخ، ارتباط مستقیمی ندارند. درصد کمی از الیاف سطحی، انتهای آزاد الیاف می‌باشند که در هنگام اعمال تاب و بدلیل مهاجرت یا جابجایی، از مرکز به سطح نخ آمده و در نتیجه بخشی از طول لیف آن از ساختمان نخ خارج شده و بخش انتهای دیگر آن در مرکز نخ با الیاف دیگر درگیر می‌باشد. اصولاً بیشتر الیاف خارج‌شده ازسطح نخ مربوط به لایه‌های بیرونی نخ می‌باشند[۱۹]-[۱۸].

در سالهای اخیر، برای بهبود کیفیت نخ رینگ و افزایش نقشی که الیاف لایه‌های بیرونی آن در کیفیت محصول ایفاء می‌کنند، تغییراتی را در ساختار ماشین ریسندگی رینگ ایجاد نموده و بر حسب نوع این تغییرات، روشهایی با نامهای تجاری مختلفی از جمله سیستم ریسندگی تجمعی، سایرو، سولو وجت رینگ به بازار عرضه شده است. در سیستم ریسندگی جت رینگ به منظور کاهش پرزینگی نخ در ماشین ریسندگی رینگ، یک نازل هوا در ناحیه بین غلتک تولید و دم خوکی دستگاه نصب می‌شود (شکل ۱)، که جهت گردش هوا در آن مانند نازل اول سیستم ریسندگی جت هوا، مخالف جهت تاب نهایی نخ می‌باشد، از اینرو تاب نخ قبل از وارد شدن به نازل به دلیل تاب مجازی کاهش می‌یابد و ساختمان نخ شل می‌شود. با عبور نخ از درون نازل و اعمال تاب نهایی به نخ، ساختمان نخ مجدداً محکم می‌گردد[۱۳]-[۸] -[۷].

در نخ رینگ جهت اغلب پرزها به سمت غلتک تولید می‌باشد، جهت جریان هوا در نازل هوا به سمت بالا و در جهت خلاف حرکت نخ می‌باشد که این امر، منجر به نزدیک تر شدن پرزها به محور نخ می‌گردد. شل و سفت شدن ساختمان نخ و نیز جهت جریان هوا به سمت بالا این امکان را فراهم می‌آورد تا بعضی از الیاف خارج شده از سطح نخ در ساختمان نخ محبوس شوند. بواسطه جریان چرخشی هوا در نازل نیز الیاف به دور بدنه نخ پیچده می‌گردند. بر این اساس پرزینگی نخ به نحو قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین در این روش با ترکیب مزایای دو سیستم رینگ و جت هوا با اندکی تغییر در ماشین رینگ، نخی با پرزینگی کمتر، بدون به مخاطره انداختن سایر خصوصیات نخ تولید می‌شود[۱۳]-[۸]-[۷].



شکل ۱: سیستم کاهش پرزینگی نخ با استفاده از نازل هوا [۱۳]

در تحقیق حاضر، تاثیر و عملکرد نازل هوا در کاهش پرزینگی نخ بررسی شده است . جهت بررسی تأثیر پارامترهای متعدد در کاهش پرزینگی نخ در سه سیستم ریسندگی رینگ، سولو و سایرو از طراحی آزمایش تاگوچی استفاده شده است و مقادیر بهینه پارامترها، در هر سه سیستم ریسندگی مشخص گردید. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد نازل هوا، پرزینگی نخهای رینگ، سولو و سایرو با کمک نازل هوا و بدون آن مورد مقایسه قرار گرفت.

۲- خصوصیات جریان هوا در نازل هوا

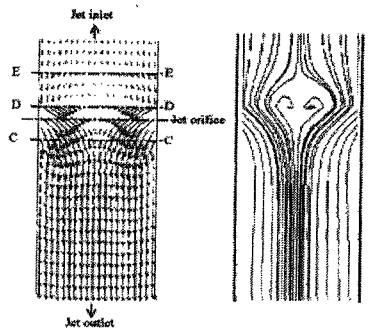
با اتصال نازل هوا به لوله هوای فشرده، بدلیل زاویه روزنه نازل، سرعت جریان هوا به دو بردار موازی و عمود بر محور نازل هوا تجزیه می‌شود. بردار موازی با محور نازل را سرعت محوری و بردار عمود بر آن را سرعت مماسی می‌گویند. مکش الیاف به درون نازل و حرکت آن در طول نازل توسط سرعت محوری و اعمال تاب به وسیله سرعت مماسی انجام می‌شود. Yu و همکارانش [۹] با شبیه‌سازی سه بعدی جریان هوا

مشخص نمودند که طرح خطوط جریان هوا در درون نازل، به صورت مارپیچ می‌باشد. ایشان با بررسی نمودارهای سرعت در سطح مقطعهای مختلف نشان دادند که میزان چرخش هوا با حرکت به سمت پایین کاهش می‌یابد.

در حرکت سیالات، همیشه المانهای سیال همواره تحت تأثیر دو نیرو قرار می‌گیرند. یکی نیروی ویسکوزیته که همیشه با حرکت سیال مخالفت و سرعت المان را کاهش می‌دهد و دیگری نیروی فشاری که بسته به این که گرادیان فشار ($\frac{dp}{dx}$) مثبت یا منفی باشد با حرکت المان مخالفت یا به آن کمک می‌کند. اگر فرض شود گرادیان فشار، منفی است ($\frac{dp}{dx}<0$)، در اینصورت فشار در جهت حرکت سیال کاهش می‌یابدو به آن، گرادیان فشار مطلوب گفته می‌شود. دراین وضعیت که فشار در امتداد حرکت سیال کاهش می‌یابد، نیروی فشار به حرکت سیال کمک می کند و اصولاً همواره در سیالات، قسمت پرفشار به طرف قسمت کم فشار میل به حرکت دارد[۲].

حال اگر($\frac{dp}{dx}>0$) باشد، فشار در جهت حرکت سیال افزایش می‌یابد و در این حالت گرادیان فشار را نامطلوب می‌نامند.دراین وضعیت نیروی فشار با حرکت المان های سیال مخالفت می‌کند. این مخالفت در حرکت سیال منجر به از دست دادن کامل اندازه حرکت المان‌های سیال می‌شود و نهایتاً جهت بردار سرعت، عکس می‌گردد و در جریان سیال، ناحیه گردابی تشکیل می‌شود[۲].

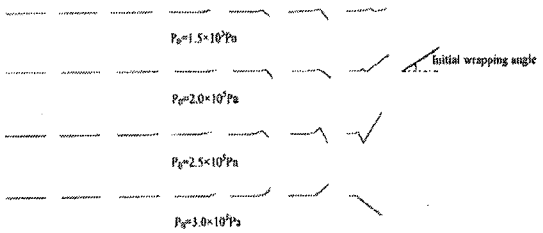
شکل۲، خطوط و بردار میدان جریان درون نازل را براساس شبیه سازی دو بعدی نشان می‌دهد. جریان گردابی در سطح مقطعD-D در بالای روزنه نازل ایجاد و در سطح مقطع-E E ناپدید می‌شود. در مقایسه با کل جریان درون نازل، ناحیه جریان گردابی کوچک و قدرت آن کم می‌باشد[۹].



شکل ۲: خطوط و بردار میدان جریان هوا درون نازل در شبیه سازی دو بعدی[۹]

۳- پیچش الیاف درون نازل

شکل ۳، شبیه سازی حرکت لیف درون نازل در فشارهای مختلف با فرض ثابت بودن همهٔ شرایط اولیه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در ابتدا شکل اولیه لیف موازی با محور نازل و مکان اولیه آن بالای محور نازل در نظر گرفته می‌شود. لیف توسط سرعت محوری جریان هوا در نازل حرکت می‌کند و شکل آن مستقیم و موازی با محور نازل می‌باشد. هنگامیکه انتهای لیف وارد ناحیه جریان گردابی در نزدیکی روزنه نازل می‌شود بخش انتهای لیف به سمت بالا خم می‌گردد. در این شرایط به دلیل قدرت کم ناحیه گردابی، خمیدگی بخش انتهایی لیف کوچک می‌باشد. با عبور بخش انتهایی لیف از جلوی روزنه نازل، لیف در معرض سرعت محوری و مماسی جریان هوا قرار گرفته و در نتیجه بخش انتهایی آن به سرعت به سمت پایین و سپس بالا خم می‌شود. با عبور لیف از جلوی روزنه نازل، اولین خمیدگی سریع بخش انتهایی لیف به سمت پایین و سپس بالا ایجاد می‌گردد. زاویه پیچش اولیهٔ لیف توسط خمیدگی یاد شده تعیین می‌گردد(شکل ۳). این زاویه بر خصوصیاتی از جمله استحکام و پرزینگی نخ تاثیر می‌گذارد. بنابراین پیچش انتهای آزاد الیاف توسط چرخش جریان هوا در نازل منجر به افزایش نقش الیاف لایه‌های دورنی در ساختمان نخ می‌شود. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که این کاهش معنی دار در میزان پرزینگی نخ به احتمال زیاد مربوط به پیچش انتهای آزاد الیاف توسط جریان چرخشی در درون نازل می‌باشد [۱۰].



شکل۳: شبیه سازی حرکت لیف درون نازل درفشارهای مختلف[۱۰]

٤- تجربیات

در تحقیق حاضر، جهت بررسی تأثیر پارامترهای سرعت دوک، تاب نخ، نمره نخ، فشار نازل، فاصله بین نازل و غلتک تولید و نمره شیطانک، بر پرزینگی نخ با استفاده از نازل هوا در سه سیستم ریسندگی رینگ، سولو و سایرو از طراحی آزمایش تاگوچی استفاده شده است. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد نازل، پرزینگی نخ در هر سه سیستم ریسندگی با استفاده از نازل و بدون آن در شرایط بهینه مقایسه گردید.

٤-۱- مواد اولیه و دستگاه مورد استفاده

جهت انجام آزمایشات، یک نازل هوا بر روی ماشین رینگ مدل SACM فرانسه در کارگاه ریسندگی دانشکده مهندسی

نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر نصب گردید. مشخصات مواد اولیه مصرفی در جدول ۱ ارائه شده است. از طریق تنظیم بهینه فشار و همچنین تنظیم صحیح فاصله بین نازل و غلتک تولید، شرایط مناسب تولید فراهم شد. ویژگی نازل مورد استفاده در جدول ۲ ارائه گردیده است. برای اندازه گیری پرزینگی از دستگاه شرلیShirley Yarn Friction/ Hairiness Tester استفاده شده است. جهت تولید نخ سولو غلتک سولو بر روی ماشین رینگ نصب گردید که مشخصات آن در جدول ۳ ارائه شده است. براساس استاندارد ASTM 05647 ، ۳۰ نمونه ۱۰ متری با سرعت آزمایش ۶۰ m/min برای سنجش پرزینگی آزمایش شد. شرایط محیطی برای تولید نخها و همچنین سنجش پرزینگی نخ، براساس شرایط استاندارد تنظیم شده است.

جدول ۱: مشخصات نیمچه نخها

خصوصیات نیمچه نخ	پلی استر	پشم
طول الیاف(mm)	۸۴/۵	۸۷
قطر الیاف(μm)	۲۰	۲۲
درصد مخلوط(٪)	۵۵	۴۵
نمره نیمچه نخ(Nm)	۱/۷و۱/۸	

جدول ۲: مشخصات نازل

زاویه دهانه ورودی نازل	۴۵°
زاویه نازل	۴۵°
قطر محفظه تاب(mm)	۲
تعداد سوراخهای محیطی	۴
طول نازل(mm)	۲۶
زاویه دهانه خروجی نازل	۱۰°

جدول ۳: مشخصات غلتک سولو

قطر	۲/۵ cm
عرض	۳/۵ cm
قطر داخلی	۰/۵ cm
عمق شیار	۰/۲cm
تراکم شیار	۱۰ عدد در سانتی متر
نوع شیار	ساده با انعطاف پذیری بالا و نرم

٤-۲- طراحی آزمایشات

برای انجام آزمایشات، ارائه طرحهای مختلف امکان پذیر بوده و روشهای تجزیه وتحلیل مختلفی موجود می‌باشد. به همین منظور می‌بایست مناسب ترین روش را جستجو نمود. طرح آزمایش باید طوری باشد که اطلاعات نسبتاً کافی درباره زمینه تحت بررسی فراهم گردد. این امر به داده‌های بیشتری نیاز دارد. یک طرح آزمایش بهینه، طرحی است که با کمترین تعداد آزمایش، داده و اطلاعات مورد نیاز برای انجام تجزیه وتحلیل و دستیابی به شرایط بهینه را فراهم کند[۱].

طراحی آزمایشها، شامل یک یا چند آزمایش می‌باشد که به طور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرآیند، تغییراتی را ایجاد می‌نماید تا از این طریق، میزان تغییرات حاصل در پاسخ خروجی فرآیند، مشاهده و شناسایی شود. بنابراین، روش طراحی آزمایش کمک می‌کند تا همزمان عوامل متعددی را به صورت اقتصادی مورد بررسی قرار داد و با مطالعه اثر عوامل بر روی نتایج، بهترین ترکیب عوامل را مشخص نمود. بنابراین روش طراحی آزمایشها یکی از روشهای مفیدی است که به وسیله آن می توان متغیرهای کلیدی راکه بر مشخصه کیفی مورد نظر فرایند، تاثیرگذار می‌باشند را شناسایی نمود. یکی از روشهای طراحی آزمایش، روش طراحی تاگوچی می‌باشد[۱].

تاگوچی سه مرحله در طراحی فرایند درنظرمیگیرد[۱]:

۱- طراحی سیستم(System Design)

۲- طراحی پارامتر(Parameter Design)

۳- طراحی تلرانس(Tolerance Design)

در مرحله طراحی سیستم، عوامل موثر بر مشخصه کیفی مشخص می‌گردند. در این تحقیق، سرعت دوک، تاب نخ، نمره نخ، فشار نازل، فاصله نازل تا غلتک تولید و نمره شیطانک به عنوان فاکتورهای موثر بر مشخصه کیفی پرزینگی نخ در نظر گرفته شده‌اند.

تاگوچی عوامل موثر بر مشخصه کیفی را نیز به دو دسته تقسیم بندی می‌کند:

۱- پارامترهای قابل کنترل(Controlable Factors)

۲- پارامترهای اغتشاش (Noise Factors)

به عنوان مثال اگر لازم باشد فاکتور رطوبت بین محدوده ۲ ± ۶۵٪ تنظیم گردد یا فقط خود عدد۶۵٪ هدف (Target) باشد، در حالت اول، رطوبت یک فاکتور قابل کنترل در طول فرایند می‌باشد ولی در حالت دوم، یک فاکتور اغتشاش خواهد بود. در این تحقیق، تمامی فاکتورهای موثر بر پرزینگی نخ، قابل کنترل می‌باشند.

در مرحله طراحی پارامتر، مقادیر خاصی برای پارامترهای سیستم تعیین می‌گردد. در این تحقیق، شش فاکتور سرعت دوک، تاب نخ، نمره نخ، فشار نازل، فاصله نازل تا غلتک تولید و نمره شیطانک، در سه سطح بررسی شده است. به طور کلی کارکرد هر سیستم دارای محدودیتهایی می‌باشد که حرکت در این محدوده اجتناب ناپذیر است. در این تحقیق نیز تولید نخ در فشارهای بیشتر از Bar ۱/۵ در کمترین مقادیر تاب نخ و سرعت دوک به دلیل پارگی مکرر نخ میسر نگردید. از اینرو بررسی فاکتورها در سه سطح صورت گرفته است. در جدول ۴، مقادیر این فاکتورها ارائه گردیده است.

جدول ۴: مقادیر فاکتورها

سطح / فاکتور	I	II	III
تاب نخ(T.P.M)	۳۹۱	۴۵۰	۵۰۷
سرعت دوک (R.P.M)	۵۰۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰
فشارنازل(Bar)	۰/۵	۱	۱/۵
نمره نخ(Nm)	۲۸	۳۴	۴۰
نمره شیطانک	۲۱	۲۳	۲۵
فاصله بین غلتک تولیدو نازل (cm)	۸	۱۰	۱۲

مقادیر تاب با توجه به رابطه (۱) محاسبه گردیده است[۱۶]:

$$T.P.M = \frac{5600K}{(tex)^{0.73}} \qquad (۱)$$

که در آن K=۰/۹۵، همچنین مقدار نمره شیطانکها براساس نمودار کاتالوگ دستگاه رینگ مشخص شده است.

در سیستم ریسندگی سایرو با استفاده از نازل هوا در فاصله بیشتر از ۹mm به دلیل پایین تر آمدن نقطه الحاق و منحرف شدن یکی از رشته‌ها توسط جریان هوای خارج شده از نازل امکان ریسندگی و تولید نخ فراهم نگردید، از این رو فاصله دو رشته برابر ۹mm تنظیم گردید.

در روش تاگوچی جهت طراحی آزمایشات از آرایه‌های متعامد استفاده می‌شود. آرایه‌های متعامد مجموعه جداولی از اعداد بوده که برای طرح ریزی آزمایشات با توجه به سطوح و فاکتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند و تعداد آزمایشات را به حد قابل توجهی کاهش می‌دهند. تاگوچی برای فاکتورهای قابل کنترل، آرایه درونی و برای فاکتورهای اغتشاش، آرایه بیرونی را ارایه می‌کند[۱]. در این تحقیق با توجه به تعداد فاکتورهای قابل کنترل و سطوح آن، از آرایه درونی متعامد L۲۷ استفاده شده است. ساختار این آرایه با توجه به مقادیر فاکتورها در جدول ۵ اارائه گردیده است.

مرحله طراحی تلرانس به منظور تعیین بهترین تلرانس برای پارامترهای اغتشاش استفاده می‌شود. حدود تلرانس به عنوان حدودی که نسبت خاصی (مثلاً α-۱) از توزیع را در خود جای می‌دهد، در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که تفاوت اساسی بین حدود اطمینان و حدود تلرانس وجود دارد که حدود اطمینان یک تخمین فاصله برای پارامتر توزیع فراهم می‌سازد در حالی که حدود تلرانس، فاصله ای را نشان می‌دهد که می‌توان انتظار داشت که در آن فاصله نسبت خاصی از جامعه قرار می‌گیرد.در این مرحله برای عوامل اغتشاش حدود تلرانس تعیین می‌گردد.در این تحقیق، به دلیل قابل کنترل بودن همه فاکتورهای آزمایش، نیازی به تعیین حدود تلرانس نبود[۱].

۵-تجزیه وتحلیل داده ها

تاگوچی، تجزیه وتحلیل میانگین پاسخ را برای هر یک از آزمایشات آرایه درونی پیشنهاد می‌کند[۱]. بدین منظور با استفاده از نرم افزار Minitab ، مقادیر فاکتورها در هرسطح، مطابق جداول ۸،۷،۶ محاسبه می‌شود و برای محاسبه فاکتور i در سطح mام، نتایج به دست آمده از آزمایشهایی را که فاکتور i در آنها در سطح m قرار دارد را با یکدیگر جمع کرده و حاصل، بر تعداد آزمایشات مربوطه تقسیم شده است. باتوجه به اینکه دراین تحقیق، هدف دستیابی به کمترین پرزینگی می‌باشد، مطابق روش تاگوچی، تجزیه و تحلیل براساس «هرچه کمتر، بهتر» در نظر گرفته می‌شود. مقادیر دلتا اختلاف بین کمترین و بیشترین سطح هرفاکتور را نشان می‌دهد. مقدار بیشتر دلتا، نشان دهنده تاثیر بیشتر فاکتور می‌باشد. شرایط بهینه برای هر فاکتورتوسط سطوح که کمترین مقدار را داشته باشند مشخص می‌گردد.انتخاب سطوح بهینه بدین معنی است که تحت چنین شرایطی میانگین پرزینگی حداقل می‌گردد[۵]. مطابق جداول ۸،۷،۶ در دو سیستم ریسندگی رینگ و سولو، با کمک نازل هوا، تاب نخ، سرعت دوک و فشار نازل و در سیستم ریسندگی سایرو به کمک نازل هوا، تاب نخ، سرعت دوک و نمره شیطانک به ترتیب دارای بیشترین تاثیر در پرزینگی نخ می‌باشند. در سیستم ریسندگی سایرو با کمک نازل هوا اختلاف بین مقادیر دلتا در فاکتورهای فشار هوا و نمره شیطانک بسیار اندک می‌باشد.

جدول۵: ساختار آرایه L ۲۷

فاصله بین غلتک تولید ونازل (cm)	فشار نازل (bar)	سرعت دوک (rpm)	تاب نخ (tpm)	نمره شیطانک	نمره نخ Nm
۸	۰/۵	۵۰۰۰	۳۹۱	۲۱	۲۸
۱۰	۱	۵۰۰۰	۳۹۱	۲۱	۲۸
۱۲	۱/۵	۵۰۰۰	۳۹۱	۲۱	۲۸
۸	۰/۵	۶۰۰۰	۴۵۰	۲۳	۲۸
۱۰	۱	۶۰۰۰	۴۵۰	۲۳	۲۸
۱۲	۱/۵	۶۰۰۰	۴۵۰	۲۳	۲۸
۸	۰/۵	۷۰۰۰	۵۰۷	۲۵	۲۸
۱۰	۱	۷۰۰۰	۵۰۷	۲۵	۲۸
۱۲	۱/۵	۷۰۰۰	۵۰۷	۲۵	۲۸
۱۰	۰/۵	۷۰۰۰	۴۵۰	۲۱	۳۴
۱۲	۱	۷۰۰۰	۴۵۰	۲۱	۳۴
۸	۱/۵	۷۰۰۰	۴۵۰	۲۱	۳۴
۱۰	۰/۵	۵۰۰۰	۵۰۷	۲۳	۳۴
۱۲	۱	۵۰۰۰	۵۰۷	۲۳	۳۴
۸	۱/۵	۵۰۰۰	۵۰۷	۲۳	۳۴
۱۰	۰/۵	۶۰۰۰	۳۹۱	۲۵	۳۴
۱۲	۱	۶۰۰۰	۳۹۱	۲۵	۳۴
۸	۱/۵	۶۰۰۰	۳۹۱	۲۵	۳۴
۱۲	۰/۵	۶۰۰۰	۵۰۷	۲۱	۴۰
۸	۱	۶۰۰۰	۵۰۷	۲۱	۴۰
۱۰	۱/۵	۶۰۰۰	۵۰۷	۲۱	۴۰
۱۲	۰/۵	۷۰۰۰	۳۹۱	۲۳	۴۰
۸	۱	۷۰۰۰	۳۹۱	۲۳	۴۰
۱۰	۱/۵	۷۰۰۰	۳۹۱	۲۳	۴۰
۱۲	۰/۵	۵۰۰۰	۴۵۰	۲۵	۴۰
۸	۱	۵۰۰۰	۴۵۰	۲۵	۴۰
۱۰	۱/۵	۵۰۰۰	۴۵۰	۲۵	۴۰

جدول ۶: مقادیر پارامترهای تاثیرگذار بر پرزینگی نخ در ریسندگی رینگ با استفاده ازنازل هوا

فاکتور	سطحI	سطحII	سطحIII	دلتا	سطح بهینه
نمره نخ (Nm)	۸۹/۴۴	۸۶/۲۶	۸۳/۸	۵/۶۴	III
نمره شیطانک	۸۴	۸۵/۶۶	۸۹/۸۶	۵/۸۶	I
تاب نخ (T.P.M)	۹۴/۴	۸۷/۱	۷۸	۱۶/۴	III
سرعت دوک (R.P.M)	۹۰/۲۶	۸۸/۰۹	۸۱/۱۴	۹/۱۲	III
فشار نازل (Bar)	۹۱/۰۴	۸۶/۰۴	۸۲/۴۴	۸/۶	III
فاصله غلتک تولید و بین نازل (cm)	۸۶/۳۱	۸۵/۹۴	۸۷/۲۶	۱/۳۲	II

جدول۷: مقادیر پارامترها ی تاثیر گذار بر پرزینگی نخ در ریسندگی سولو بااستفاده از نازل هوا

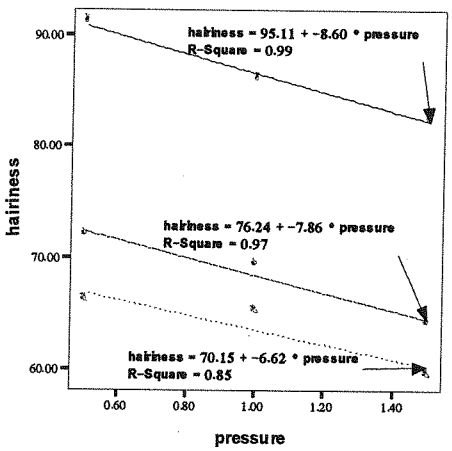
فاکتور	سطحI	سطحΠ	سطحIII	دلتا	سطح بهینه
نمره نخ (Nm)	۷۰	۶۹	۶۶/۳۴	۳/۶۶	III
نمره شیطانک	۶۶/۳۶	۶۸/۹	۶۹/۹	۳/۵۴	I
تاب نخ (T.P.M)	۷۳/۶۶	۶۷/۸۹	۶۳/۶۷	۹/۹۹	III
سرعت دوک (R.P.M)	۷۲/۹۶	۶۷/۳۳	۶۴/۹۲	۸/۰۴	III
فشار نازل (Bar)	۷۱/۹	۶۹/۲۱	۶۴/۰۴	۷/۶۶	III
فاصله غلتک تولید و بین نازل (cm)	۶۷/۹۵	۶۸/۹۸	۶۸/۲۹	۱/۰۳	I

جدول۸: مقادیر پارامترهای تاثیر گذار بر پرزینگی نخ در ریسندگی سایرو با استفاده از نازل هوا

فاکتور	سطحI	سطحΠ	سطحIII	دلتا	سطح بهینه
نمره نخ (Nm)	۶۶/۸۵	۶۲/۴۷	۶۱/۲۶	۵/۵۹	III
نمره شیطانک	۶۰/۴۱	۶۲/۹۶	۶۷/۲۱	۶/۸	I
تاب نخ (T.P.M)	۶۹/۱	۶۳/۹	۵۷/۴	۱۱/۷	III
سرعت دوک (R.P.M)	۶۶/۸۱	۶۴/۸۳	۵۸/۹۳	۷/۸۸	III
فشار نازل (Bar)	۶۶/۰۴	۶۵/۱۲	۵۹/۴۲	۶/۶۲	III
فاصله غلتک تولید و بین نازل (cm)	۶۳/۳۳	۶۲/۰۹	۶۵/۱۶	۳/۰۷	Π

۱-۵-تاثیر فشار نازل برپرزینگی نخ

براساس تجزیه و تحلیل ارائه شده در بخش قبلی، فشار نازل دارای اثر معنی دار بر پرزینگی نخ می‌باشد. به منظور درک بهتر ارتباط پرزینگی نخ و فشار نازل، از آنالیز رگرسیون خط برای بررسی تاثیر فشار بر پرزینگی استفاده شده است. مطابق شکل۴، با افزایش فشار، پرزینگی نخ کاهش می‌یابد. ZENG و همکارانش اظهار می‌دارند که افزایش فشار درون نازل، باعث پیچش بیشتر انتهای الیاف خارج شده به دور بدنه نخ به دلیل افزایش سرعت مماسی می‌شود. این امر منجر به افزایش زاویه پیچش اولیه لیف می‌گردد[۹]. کاهش قابل توجه پرزینگی نخ مربوط به پیچش الیاف بیرون زده از سطح نخ توسط چرخش جریان هوا درون نازل می‌باشد[۸]. با استفاده از آنالیز ضریب همبستگی، ضرایب همبستگی بین پرزینگی و فشار نازل بدست آمده مطابق شکل۴، در سیستم ریسندگی سایرو، رینگ و سولو در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد.



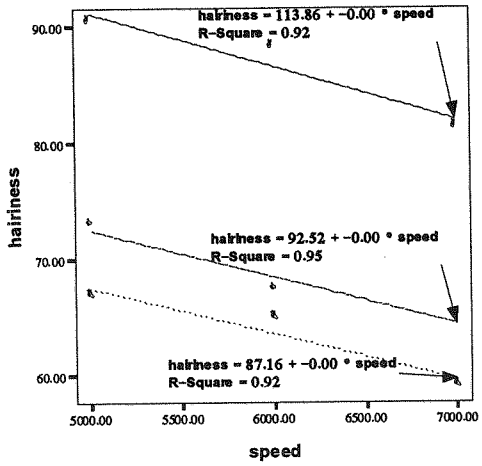
○ریسندگی رینگ با استفاده از نازل
▼ریسندگی سولو با استفاده از نازل
▲ریسندگی سایرو با استفاده از نازل

شکل۴: تأثیر فشار نازل بر پرزینگی نخ رینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل

۲-۵- تاثیر سرعت دوک بر کاهش پرزینگی نخ

ملاحظه می‌گردد که سرعت دوک دارای اثر معکوس برروی پرزینگی نخ می‌باشد(شکل۵). این نتیجه با نتایج Pillay [۷] که با افزایش سرعت دوک، پرزینگی نخ افزایش می‌یابد، مطابقت ندارد. او مشخص نمود که با افزایش سرعت دوک پرزینگی نخ به دلیل نیروی گریز از مرکز افزایش می‌یابد و همچنین فاکتور دیگری که با افزایش سرعت دوک پرزینگی نخ را تحت تاثیر قرار می‌دهد، اصطکاک نخ و شیطانک در راهنمای نخ می‌باشد. علت کاهش پرزینگی نخ با افزایش سرعت دوک در سه سیستم ریسندگی رینگ سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا، مربوط

به جهت جریان هوا در نازل نخ می‌باشد. جهت جریان هوا در نازل و خلاف حرکت نخ، موجب اعمال نیرو به پرزها در سطح نخ و نزدیک شدن آنها به سمت محور نخ می‌گردد. کاهش پرزینگی در این نتایج نشان می‌دهد که اعمال نیرو به پرزها جهت نزدیک تر شدن آنها به سمت محور نخ توسط جریان هوا، بیشتر از نیروی گریز از مرکز و اصطکاک بین نخ و شیطانک و راهنمای نخ می‌باشد. با استفاده ازآنالیز ضریب همبستگی، ضرایب همبستگی بین پرزینگی و سرعت دوک بدست آمده در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو و سایرو در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد.

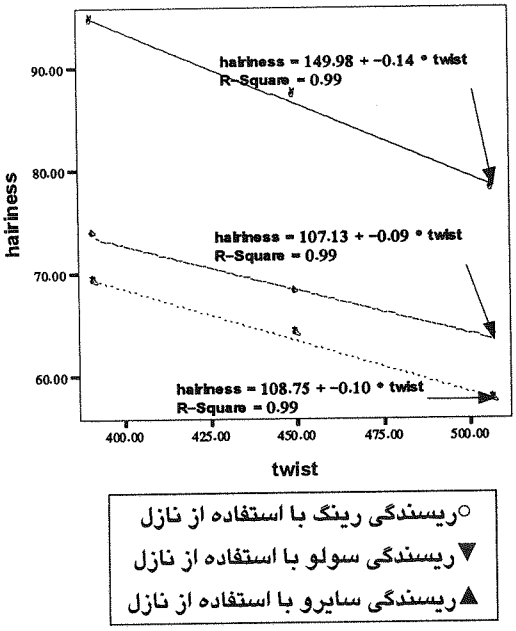


شکل۵: تأثیر سرعت دوک بر پرزینگی نخ ر ینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا

۵-۳-تاثیر تاب برکاهش پرزینگی نخ

با افزایش تاب نخ، پرزینگی نخ در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا کاهش می‌یابد(شکل۶). مطابق نتایج Rajamanicka و همکارانش[۶]، افزایش تاب منجر به کاهش ارتعاش بالون در فاصله بین غلتک جلو و نازل می‌گردد، این کاهش در سرعت تشکیل بالون منجر به کاهش گریز الیاف حاشیه‌ای از رشته در حال تاب می‌گردد.

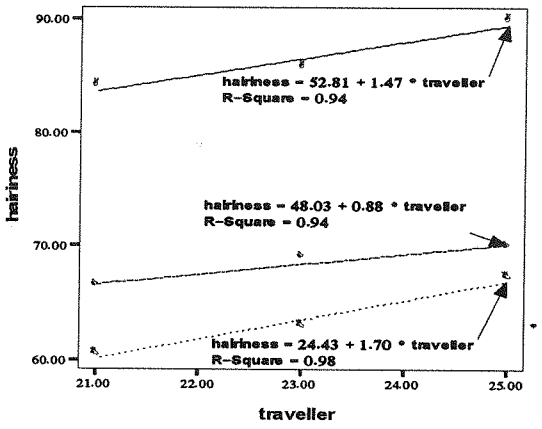
از سوی دیگر با اعمال تاب بیشتر، نقطه اتصال بین رشته در حال تاب و الیاف (راس مثلث ریسندگی) با سرعت بیشتری به سمت بالا حرکت می‌نماید که این عامل سبب کوچک تر گردیدن مثلث ریسندگی و ممانعت از شکل گیری الیاف حاشیه‌ای و کنترل بهتر الیاف خارج شده از غلتک تولید می‌گردد[۱۵]. در حقیقت با افزایش تاب نخ احتمال گریز الیاف حاشیه‌ای از رشته در حال تاب کاهش می‌یابد و این امر منجر به کاهش انتهای آزاد الیاف می‌گردد[۱۹-۱۸]. با استفاده از آنالیز ضریب همبستگی، ضرایب همبستگی بین پرزینگی و تاب نخ در سیستم‌های ریسندگی سایرو، رینگ و سولو در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد(شکل۶).



شکل۶: تأثیر تاب بر پرزینگی نخ رینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا

۵-٤- تاثیر نمره شیطانک برکاهش پرزینگی نخ

با افزایش نمره شیطانک، پرزینگی نخ در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو و سایرو کاهش می‌یابد(شکل۷). نتایج تحقیقات SRIATAVA [۱۲] نشان می‌دهد که افزایش نمره شیطانک موجب افزایش کشش نخ و نفوذ بیشتر تاب به مثلث ریسندگی می‌گردد. با افزایش کشش نخ، سرعت و ابعاد بالون کوچکتر می‌شود. از سوی دیگر باافزایش کشش نخ، ارتعاش بالون در فاصله بین غلتک جلو و نازل کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش تشکیل الیاف حاشیه‌ای در ناحیه بین غلتک تولید و نازل می‌گردد[۶]. آنالیز ضریب همبستگی نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی بدست آمده بین پرزینگی نمره شیطانک در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولوو سایرو در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد.



○ریسندگی رینگ با استفاده از نازل

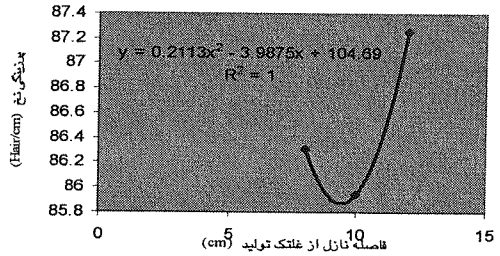
▼ریسندگی سولو با استفاده از نازل

▲ریسندگی سایرو با استفاده از نازل

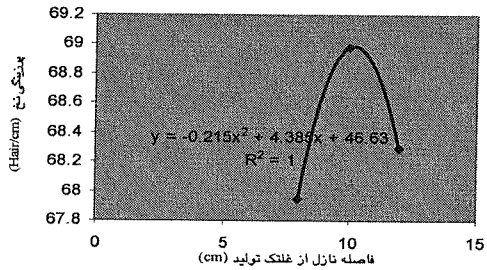
شکل۷: تأثیر نمره شیطانک بر پرزینگی نخ رینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا

۵-۵-تاثیر فاصله بین غلتک تولید و نازل برپرزینگی نخ

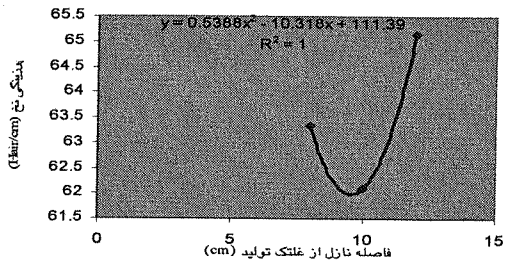
نتایج Wang و همکارانش[۱۷] نشان می‌دهد که فاصله بین غلتک جلو و نازل اول ضمن تأثیر بر طول و قطر بالون بر مقدار الیاف حاشیه‌ای نیز تأثیر می‌گذارد. مطابق نتایج Miao [۱۵] بیشترین کشیدگی بین نازل و نقطه گیر غلتک جلو وجود دارد، که با افزایش فاصله، طول بالون تشکیل شده دراین قسمت افزایش می‌یابد و با بزرگتر شدن بالن، کشیدگی بیشتر شده و در نتیجه پارامترهای مهاجرت نیز افزایش یافته‌اند. نتایج Rajamanickam و همکارانش [۶] نشان می‌دهد که با بیشتر شدن این فاصله الیاف جدا شده از غلتک تولید به خوبی توسط نازل گرفته و تاب داده نمی‌شوند. مطابق شکلهای ۸ و ۱۰، با افزایش فاصله بین غلتک تولید و نازل در سیستم‌های رینگ و سایرو پرزینگی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد ولی مطابق شکل ۹، در سیستم ریسندگی سولو نتایج حاصل عکس می‌باشد. این مغایرت، احتمالا به دلیل کنترل بهتر مهاجرت الیاف توسط شیارهای غلتک سولو می‌باشد[۱۱]. در سطح اطمینان۹۵٪ تاثیر فاصله نازل از غلتک تولید بر پرزینگی درسیستم‌های رینگ و سولو معنی دار نمی‌باشد ولی در سیستم‌های ریسندگی سایرو این فاکتور معنی دار است. ضریب همبستگی دراین نمودارها یک می‌باشد و علت آن، انتخاب سه سطح به دلیل محدودیت عنوان شده می‌تواند باشد.



شکل۸: تأثیر فاصله نازل از غلتک تولید نازل بر پرزینگی نخ رینگ بااستفاده از نازل



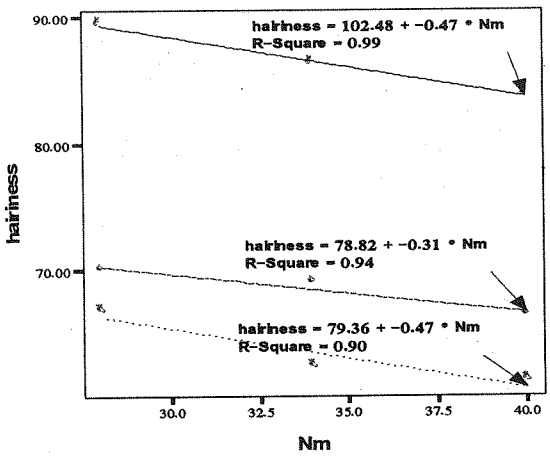
شکل۹: تأثیر فاصله نازل از غلتک تولید نازل بر پرزینگی نخ سولو با استفاده از نازل



شکل۱۰: تأثیر فاصله نازل از غلتک تولید نازل بر پرزینگی نخ سایرو با استفاده از نازل

۶-۵-تاثیر نمره نخ بر پرزینگی نخ

با افزایش نمره نخ، پرزینگی نخ در سیستمهای ریسندگی سایرو، رینگ و سولو با استفاده از نازل هوا افزایش می‌یابد(شکل۱۱). مطابق نتایج Miao [۱۵]، نمره نخ بر مقدار الیاف حاشیه‌ای تأثیر می‌گذارد. با ظریف تر شدن نخ تعداد الیاف در سطح مقطع کاهش می‌یابد و منجر به کاهش تشکیل الیاف حاشیه‌ای در ناحیه بین غلتک تولید و نازل می‌گردد. از سوی دیگر، فشار اعمال شده به سمت مرکز نخ با افزایش قطر نخ کاهش می‌یابد و این امر منجر به کاهش اصطکاک بین الیاف می‌گردد[۱۴]. علت افزایش پرزینگی نخ با افزایش نمره نخ، احتمالاً به دلیل کاهش تاثیر عملکرد نازل هوا جهت محبوس نمودن الیاف درون ساختمان نخ می‌باشد. آنالیز ضریب همبستگی نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی بدست آمده بین پرزینگی نمره نخ در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو و سایرو در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد.



○ریسندگی رینگ با استفاده از نازل

▼ریسندگی سولو با استفاده از نازل

▲ریسندگی سایرو با استفاده از نازل

شکل ۱۱: تأثیر نمره شیطانک بر پرزینگی نخ رینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا

۷-۵- میزان کاهش پرزینگی نخ در سه سیستم ریسندگی سایرو، رینگ و سولو، با استفاده از نازل هوا

میانگین پرزینگی نخها در شرایط بهینه و میزان کاهش پرزینگی نخهای رینگ، سولو وسایرو با استفاده از نازل هوا در جدول ۹ ارائه گردیده است. همانطوریکه ملاحظه می‌گردد میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو و سایرو با استفاده از نازل هوا نسبت به حالت معمول آنها به ترتیب ۳۲/۸۱٪ ، ۳۵/۲۹ ٪ و۳۹/۵۶ ٪ می‌باشد. با استفاده از آزمون معنی دار بودن اختلاف دو میانگین برای نمونه‌های جفتی، این اختلاف در سطح ۹۹٪ معنی دار می‌باشد.

میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم ریسندگی سا یرو با استفاده از نازل نسبت به سیستم ریسندگی سولو و رینگ بیشتر می‌باشد. در سیستم ریسندگی سایرو، تاب هر یک از رشته‌ها در اثر جابجایی نقطه الحاق، یعنی جای پیوند دو رشته، ایجاد می‌شود. مکان نقطه الحاق از طریق ایجاد تعادل بین نیروها و گشتاور پیچشی تعیین می‌گردد. تغییر در کشش ریسندگی و ضخامت متفاوت رشته‌ها منجر به برهم خوردن تعادل و جابجایی نقطه الحاق می‌گردد. بنابراین همواره در رشته‌ها، قبل از نقطه الحاق تاب ایجاد می‌شود[۳]. رشته‌ها هنگام خروج از غلتک تولید، با حرکت به سمت نقطه الحاق، اعمال تاب، در حال چرخش به دور محور خود می‌باشند. انتهای الیاف خارج شده از سطح نخ با نزدیکتر شدن به نقطه الحاق در اثر برخورد با رشته دیگر وارد ساختمان نخ شده و با زاویه‌ای معین در ساختار نخ قرار می‌گیرند و باعث محبوس شدن در بین دو رشته می‌گردد. همچنین در اثر بر هم خوردن تعادل، تاب به هر یک از رشته‌ها در بالای نقطه الحاق نفوذ می‌کند و منجر به مهاجرت الیاف در رشته‌ها می‌گردد [۴]. بنابراین کاهش بیشتر میزان پرزینگی نخ در سیستم ریسندگی سا یرو با استفاده از نازل نسبت به سیستم ریسندگی سولو و رینگ، احتمالاً به دلیل محبوس شدن الیاف سطحی دربین دو رشته و دراثر پدیده مهاجرت در رشته‌ها در بالای نقطه الحاق می‌باشد. همچنین پرزینگی نخهای سایرو به دلیل مکانیزیم ریسندگی سایرو کمتر از نخهای سولو می‌باشد.

میزان کاهش پرزینگی نخ با استفاده از نازل هوا در سیستم ریسندگی سولو نسبت به ریسندگی رینگ بیشتر می‌باشد. مطابق نتایج محققین [۱۱]، مهاجرت الیاف در نخ خصوصیات آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد و با کنترل فرایند مهاجرت الیاف در خلال ریسندگی، امکان کنترل خصوصیات نخ فراهم می‌گردد. نصب غلتک سولو بر روی ماشین رینگ، باعث بر هم زدن مسیر الیاف در منطقهٔ بعد از قسمت کشش می‌شود و در نتیجه مانع از نفوذ تاب به شکلی همچون مثلث ریسندگی رینگ می‌گردد. با تفکیک رشته حاصل از قسمت کشش رینگ به چندین رشته توسط شیارهای موجود بر روی غلتک سولو و همچنین تفکیک مثلث ریسندگی به مثلثهای کوچک تر، کنترل بر روی حرکت الیاف بیشتر شده و در نتیجه آرایش الیاف در ساختمان نخ بهبود می‌یابد[۱۱]. در واقع جابجایی الیاف درون هر رشته و در بین رشته‌های دیگر به واسطهٔ افزایش مهاجرت و در گیری بیشتر الیاف در ساختمان نخ می‌باشد که منجر به کاهش پرزینگی نخ می‌گردد. در نتیجه میزان کاهش پرزینگی نخ با استفاده از نازل در سیستم ریسندگی سولو نسبت به رینگ بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد ، که میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم ریسندگی رینگ با استفاده از نازل هوا نسبت به دو سیستم ریسندگی سایرو و سولو بیشتر می‌باشد، که احتمالاً به دلیل مؤثرتر بودن نازل هوا نسبت به مکانیزیم ریسندگی سولو وسایرو در کاهش پرزینگی نخ می‌باشد(جدول ۱۰). در سیستم ریسندگی رینگ با استفاده از نازل هوا، شل و محکم شدن ساختمان نخ به دلیل اعمال تاب مجازی و همچنین به دلیل جهت سمت بالای جریان هوا، این امکان را فراهم می‌آورد که بعضی از الیاف خارج شده از سطح نخ در ساختمان نخ محبوس شوند. همچنین جریان چرخشی هوا درون نازل، موجب پیچش الیاف به دور بدنه نخ می‌گردد. از این رو پرزینگی نخ به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد[۱۳]-[۸]-[۷].

جدول ۹: میانگین پرزینگی نخها در شرایط بهینه و میزان کاهش پرزینگی نخهای رینگ، سولو وسایرو با استفاده از نازل هوا

میزان کاهش پرزینگی نخ	پرزینگی نخ	نوع نخ
٪۳۲/ ۸	۶۴/۷	رینگ با استفاده از نازل هوا
	۹۶/۳	رینگ
٪۳۵/۲۹	۵۰/۲۸	سولو با استفاده از نازل هوا
	۷۷/۷	سولو
٪۳۹/۵۶	۴۲/۷۳	سایرو با استفاده از نازل هوا
	۷۰/۷	سایرو

جدول ۱۰: میزان کاهش پرزینگی نخ رینگ نسبت به نخ سولو ، سایرو و استفاده از نازل

٪۳۲/۸	میزان کاهش پرزینگی نخ رینگ با استفاده از نازل هوا نسبت به نخ رینگ
٪۱۹/ ۳	میزان کاهش پرزینگی نخ رینگ نسبت به نخ سولو
٪۲۶/۵	میزان کاهش پرزینگی نخ رینگ با نسبت به نخ سایرو

۶-نتیجه گیری

از آنجا که هدف از تحقیق حاضر، "بررسی عوامل موثر بر پرزینگی نخ با استفاده از نازل" می‌باشد، بر اساس نتایج بدست امده از تحلیلهای آماری و نموداری حاصل می‌توان گفت تمام فاکتورهای ذکر شده بر روی پرزینگی نخ در سیستم ریسندگی سایرو با استفاده از نازل هوا، اثر معنی‌دار دارند. در سیستم‌های ریسندگی رینگ و سولو با استفاده از نازل هوا نیز به استثناء فاصله نازل تا غلتک تولید، بقیه فاکتورها هم دارای اثر معنی دار می‌باشند. همچنین نتایج بدست آمده از تجزیه وتحلیل روش تاگوچی بیانگر این مطلب می‌باشد که سرعت، تاب وفشار دارای بیشترین تاثیر در روش کاهش پرزینگی نخ در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو وسایرو با استفاده از نازل هوا می باشد. آنالیز ضریب همبستگی نشان می دهد که ضریب همبستگی بین پرزینگی نخ و تمامی پارامترها به استثناء فاصله نازل از غلتک تولید، در سطح اطمینان ۹۵ ٪ معنی دار می‌باشد. بررسی میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم‌های ریسندگی رینگ، سولو وسایرو با استفاده از نازل و بدون آن نشان می‌دهد که پرزینگی نخ ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است و این کاهش، تابع نوع سیستم ریسندگی می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده بیانگر این مطلب می‌باشد که میزان کاهش پرزینگی نخ در سیستم ریسندگی رینگ با استفاده از نازل نسبت به سیستم‌های ریسندگی سایرو وسولو بیشتر می‌باشد.

۷-مراجع

[۱] نورالسناء، رسول، کنترل کیفیت آماری،دانشگاه علم وصنعت، ۱۳۷۶.

[۲] ملکی، محمد، مکانیک سیالات، دانشگاه صنعتی اصفهان،۱۳۶۹.

[۳] D.E.A PLATE, J. LAPPAGE, An Alternative Approach to Two-Fold Weaving Yarn Part Π: The Theoretical Model, J.Text.Inst , 73(3) , 107-114(1982).

[۴] D.E.A Plate, J. Lappage, An Alternative Approach to Two-Fold Weaving Yarn Part V: The Properties of Two-Strand Yarn, J.Tex.Inst, 74(6), 320-329(1983).

[۵] ROY, Ranjitk, A Primer on the Taguchi Method, 1990

[۶] R. Rajamanickman, M. Patel, S. Haseen, S. Jayaraman, Interaction of Process and Material Parameters in Air-jet Spinning, Textile.RES.J, 68(10), 708-714 (1998).

[۷] K.P.S Cheng, C.H.L Li, JetRing Spinning and Its Influence on Yarn Hairiness, Textile.RES.J, 72(12), 1079-1087 (2002).

[۸] Y.C Zeng, C.W. Yu, Numerical and Experimental Study on Reducing Yarn Hairiness with the JetRing and JetWind Textile.RES.J, 74(3), 222-226 (2004) .

[۹] Y.C Zeng, C.W. Yu, Numerical Simulation of Air Flow in the Nozzle of an Air-Jet Spinning Machine, Textile.RES.J ,73(4), 350-356 (2003)

[۱۰] Y.C Zeng, C.W. Yu, Numerical Simulation of Fiber Motion in the Nozzle of an Air-Jet Spinning Machine, Textile.RES.J , 74(2),117-122 (2004).

[۱۱] Longdi Cheng, Peihua Fu, Xiuye Yu , Relationship Between Hairiness and the Twisting Principles of SoloSpun and Ring Spun Yarns, Textile.RES.J, 74(9),763-766(2004).

[۱۲] T.V.K. Sriatava, W.J. Onions, P.P. Townend, Some Factor Affecting the Hairiness of Worsted-Spun Yarns, J.Text.Inst, 12 447-455 (1976).

[۱۳] Xungai Wang, Studies of JetRing Spinning Part I: Reducing Yarn Hairiness with the JetRing, Textile.RES.J,67(4),253-258(1997).

[۱۴] R. Rajamanickman, S.M Hansen, Sundaresan Jayarman, Studies on Fiber-Process-Structure-Property Relationship in Air-jet Spinning, Part Π: Model Development, J.Tex.Inst, 1998, 89Part 1, No.2.

[۱۵] M. Miao, The structure of Polyester/ cotton Blended Air-jet spun yarn, Textile.RES.J, 69(2), 84-89(1999).

[۱۶] REA, ALEX, ED The Wira Textile Data Book, 1982.

[۱۷] U.S Patent3, 079,746.

[۱۸] A. Barella, A.M. Manich, Yarn Hairiness, Text.Prog. 13(1), 2002.

[۱۹] A. Barella, C. Ing Yarn Hairiness, Text.Prog. 1(1), 1983.