اثر مرسریزه کردن با سود بر خواص نخ اصطکاکی

محمّدرضا بابایی
استادیار

محمّد حقیقت کیش
استاد

مرکز تحقیقات الیاف مصنوعی و صنایع نساجی،
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

تأثیر مرسریزه کردن با سود بر خواص نخ های حاصل از روش ریسندگی اصطکاکی و تغییرات ناشی از آن در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور نخ با نمره ۱۲۵ تکس به دو روش ریسندگی چرخانه واصطکاکی تولید گردید. جهت مرسریزه کردن نخ، یك دستگاه آزمایشگاهی مرسریزه کردن طراحی و ساخته شد. به دنبال آن عملیات مرسریزه کردن در دو حالت آزاد و تحت کشش در حمام محلول سود در درجه حرارت محیط، انجام گرفت. بررسی نتایج نشان می دهد که مرسریزه کردن تحت کشش در اکثر موارد بررسی شده سبب افزایش استحکام نخ اصطکاکی به صورت محدود می گردد.

The Effects of Mercerization by Caustic Soda on the Properties of a Friction Spun Cotton Yarn

M. R. Babaei
Assistant Professor

M. Haghighat Kish
Professor

Synthetic Fibers and Textile Research Center
Amirkabir University of Technology

Abstract

The effects of mercerizing, by aqueous solutions of caustic soda (NaOH), on the mechanical properties of friction-spun cotton yarns were studied. A rotor and a series of friction cotton spun yarns, 125 tex, were produced. A laboratory mercerizing machine was designed and built. The yarns were mercerized with and without tension, at room temperature. The mechanical properties of mercerized and unmercerized yarns were tested and compared. The results indicated that mercerizing under tension in most cases improved the strength of friction-spun yarn samples in a limited extent.

مقدمه

مرسریزه کردن به عنوان یک فرایند تکمیلی نام خود را از جان مرسر John Mercer [۱] (۱۸۶۰ - ۱۷۹۱ میلادی)، که برای اولین بار موفق به انجام این فرایند وثبت و گزارش نتایج آن شد، گرفته است.

مرسریزه کردن عبارت از قرار دادن الیاف، نخ و یا پارچه پنبه ای در یک محلول قلیایی غلیظ در مدت زمان معین و به دنبال آن خارج کردن قلیاء، انجام عملیات شستشوی و خشک کردن است. در اثر مرسریزه کردن ساختار فیزیکی الیاف تغییر می کند وبه موجب آن خواص کالای پنبه ای نیز متحول می شود. چگونگی این تغییرات بستگی به مشخصات حمام (از قبیل نوع قلیاء مصرفی، غلظت و غیره) و نیز نحوه انجام عملیات مرسریزه کردن (آزاد و یا تحت کشش) دارد. فرایند مرسریزه کردن از سال ها پیش به جهت افزایش براقیت، جلا جذب رطوبت و رنگ [۱ تا ۸] و پس از آن، به منظور ابقاء استحکام پس از عملیات ضد چروک در پارچه های پنبه ای مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است [۹ تا ۱۵].

هنگامی که الیاف پنبه در حمام مرسریزه کردن قرار می گیرند، متورم می شوند و چنانچه آزادی لازم را داشته باشند، تاب و پیچ خوردگی طولی الیاف نیز باز می شود. هر گاه در زمانی که پیوندهای بین مولکولی، که در محیط قلیایی، گسسته شده اند به الیاف پنبه تنش وارد شود مرفولوژی الیاف تغییر می کند. بدین صورت که میکروفیبریل ها [۹] یا دسته ای از مولکول ها که به صورت ورقه در کنار هم قرار دارند، آرایش بیشتری پیدا خواهند نمود. چنانچه عواملی بتوانند توزیع تنش روی الیاف را تغییر دهند، خواص نخ حاصل نیز تغییر خواهد کرد [۱۶].

ساختار نخ، یعنی چگونگی قرار گرفتن الیاف، در نخ های چرخانه ای و اصطکاکی متفاوت است [۱۷ و ۱۸]. بنابر این به نظر می رسد که اثر مرسریزه کردن بر این نخ ها نیز به جهت توزیع متفاوت تنش روی الیاف متفاوت باشد.

مرسریزه کردن نخ هایی که به طریق متداول (رینگ) ریسیده شده اند، از دیر باز صورت می گرفته است، لیکن تأثیر آن روی نخ هایی که به طریق ریسندگی چرخانه ای تولید شده اند، در دو دهه گذشته مورد بحث قرار گرفته است [۱۹ تا ۲۲]. مرسریزه کردن نخ هایی که به روش ریسندگی اصطکاکی تولید شده اند، در مراحل ابتدایی شناخت تغییرات قابل طرح است. در این مقاله تغییر در خواص مکانیکی، کششی، نمره نخ و رطوبت بازیافتی نخ های اصطکاکی ویک نمونه نخ چرخانه ای، به عنوان نمونه شاهد، مورد توجه قرار گرفته است.

۱ - مروری بر مقالات

یک کتاب قدیمی با عنوان «مرسریزه کردن» [۱] که در سال ۱۹۴۱ میلادی منتشر شده ، نتیجه تحقیقات وسیعی که تا آن زمان صورت پذیرفته است را گردآوری و مدون نموده است . در این کتاب تأثیر عواملی مانند غلظت سود، دما، میزان کشش و ساختار نخ (تاب و چند لا کردن) تشریح شده و دستگاه های متنوعی که برای مرسریزه کردن تجارتی نخ و پارچه مورد استفاده قرار می گرفته است نیز گزارش شده است.

مارش Marsh [۱] معتقد است که استحکام الیاف و نخ در اثر مرسریزه کردن افزایش می یابد، لیکن تعداد و تنوع عوامل مؤثر ، مقایسه نتایج آزمایش های متفاوت را بی حاصل می نماید. میزان تاب نخ در مقدار افزایش استحکام بسیار مؤثر بوده است، به طوری که بیشترین مقدار افزایش استحکام برای نخ با تاب های کم حاصل شده است.

برای نخ های یک لای رینگ افزایش استحکام ۳۷ تا ۴۶ درصد گزارش شده است. ازدیاد طول گسیختگی بنابر میزان کشش در حین مرسریزه کردن از ۷+ تا ۲۷- درصد تغییر داشته است. چنانچه مرسریزه کردن در حالت آزاد انجام گرفته باشد، افزایش چگالی خطی نخ نیز ملاحظه گردیده است. همچنین گزارش شده است که دمای حمام مرسریزه کردن در دامنه ۲۰ تا ۹۵ درجه سانتیگراد تأثیر قابل ملاحظه ای بر نتایج نداشته است. همچنین زمان مرسریزه کردن بین ۳۰ ثانیه و ۳ دقیقه توصیه شده است.

کتابی دیگر با عنوان «مروری بر مقالات در رابطه با تأثیر سود و متورم کننده های دیگر بر ساختمان ذره ای الیاف پنبه» در سال ۱۹۶۶ [۲] منتشر شده که شامل گردآوری نتایج ۱۴۸۶ کار تحقیقاتی در مورد تغییر ساختاری الیاف پنبه در اثر متورم کننده ها می باشد.

با توجه به تجربیات انجام شده، وارویکر Warwicker و همکاران [۲] معتقدند که در اثر مرسریزه کردن کامل پنبه، شکل سطح مقطع الیاف دایروی شده و کانال وسط لیف مسدود می گردد. الیاف پنبه ای پس از

مرسریزه شدن همچنان ساختار فیبریلی خود را حفظ می کنند.

ابعاد، شکل و فاصله بین فیبریل ها در آزمایش ها مختلف بوده است. شبکه بلوری سلولز I در پنبه خام در اثر مرسریزه شدن به سلولز II با واحد بلوری منوکلینیک تبدیل می گردد. در اثر مرسریزه شدن درجه نظم درون فیبریل ها کاهش و به دنبال آن درجه بی نظمی و تعداد عوامل شیمیایی قابل دسترس افزایش می یابد. این مجموعه [۲] پایه نظریه ای است که وارویکر و همکارانش [۱۶] در رابطه با ورقه ای بودن دسته ای از مولکول های سلولز در سال بعد ارائه دادند.

بعد از این دو مرجع، مقالات قابل توجهی در دسترس قرار گرفته است که برخی مربوط به مرسریزه کردن الیاف پنبه به صورت فتیله [۲۳ تا ۲۷] و برخی در رابطه با مرسریزه کردن نخ و پارچه [۷ و ۱۱ و ۱۲] می باشد. در این بخش به ذکر قسمتی از نتایج برخی از این مقالات که در ارتباط با موضوع می باشد بسنده می شود.

موضوع مرسریزه کردن نخ های چرخانه ای در مقالات جدیدتر مورد توجه قرار گرفته است. هانتر Hunter و اندروزAndrews [۱۹] گزارش کرده اند که هیدروکسید سدیم برای مرسریزه کردن نخ چرخانه بهتر از سایر قلیاها است.

بارلا Barella و مانیچ Manich [۲۰] از هیدروکسید سدیم برای مرسریزه کردن تحت کشش نخ چرخانه استفاده کردند. در نخ ۱۰۰٪ پنبه استحکام (تنش جرمی در زمان گسیختگی) افزایش و ازدیاد طول گسیختگی کاهش یافت.

پیلای Pillay [۲۱] در مرسریزه کردن تحت کشش نخ چرخانه افزایش در استحکام و در مرسریزه کردن بدون کشش این نخ کاهش در استحکام را گزارش نموده است. وی معتقد است مرسریزه کردن برای نخ های چرخانه به مراتب موجه تر از نخ های رینگ است.

هاری Hari و همکارانش [۲۲] هفت نمونه نخ چرخانه نمره ۱۴ انگلیسی با ضرایب تاب مختلف از ۴/۲۵ تا ۵/۵ تولید نموده و با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۲۲٪ (محتوی ۵ گرم در لیتر ماده نفوذ دهنده) نخ های تولیدی را مرسریزه نمودند. مرسریزه کردن با اعمال کشش در تمامی ضرایب تاب، استحکام نخ ها را افزایش داد. این افزایش برای نمونه هایی با تاب کم به ۵۲/۸٪ رسید. استحکام نخ هایی که به صورت آزاد مرسریزه شده بودند تا ۴۶٪ نیز افزایش یافت.

نخ های حاصل از روش های ریسندگی جدید چرخانه ای و اصطکاکی دارای استحکامی کمتر از نخ های تهیه شده در سیستم رینگ می باشند [۱۸]. این موضوعی است که غالباً توجه محققین مختلف [۱۷ و ۱۸] رابه خود جلب نموده است.

گزارش هاری [۲۲] که در فوق به آن اشاره شد به جهت کمک به رفع نقیصه کم بودن استحکام نخ های چرخانه ای ابتدا نوید بخش به نظر می رسید لیکن گزارش های دیگر [۲۱ و ۲۲] نتایج را به یک نوع مشخص پنبه و دامنه تاب محدود نمود. در حقیقت همین گزارشات بود که تحقیق در مورد تأثیر مرسریزه کردن بر خواص نخ های تهیه شده به روش اصطکاکی را مورد تأکید بیشتر قرار داد.

۲ـ تجربیات

۲ـ۱ـ روش انجام آزمایشات

برای تعیین طول الیاف پنبه از دستگاه فایبروگراف مدل ۳۳۰ استفاده شد. ظرافت الیاف توسط دستگاه میکرونر اندازه گیری شد. رطوبت بازیافتی نمونه ها با روش توزین و خشک کردن متوالی محاسبه گردید. درجه رسیدگی الیاف پنبه با استفاده از میکروسکوپ پروژکتینا معین شد. درصد مواد زاید مخلوط با الیاف پنبه با بهره گیری از دستگاه شرلی آنالایزر تعیین گردید. استحکام الیاف پنبه با دستگاه Pressley Fiber Tester اندازه گیری شد [۲۸].

نمره نخ به وسیله توزین طول معینی از آن مشخص گردید. استحکام و ازدیاد طول گسیختگی نخ های تولیدی با استفاده از دستگاه اوستر دینامات Uster Dynamat و اینسترون Instron مدل TM - SM - 0725 بدست آمد. فاصله فک ها در این دستگاه ۵۰ سانتی متر و زمان پاره شدن نمونه ۳±۲۰ ثانیه انتخاب گردید.

۲ـ۲ـ الیاف مصرفی

در انجام این پژوهش از الیاف پنبه با درجه یک پست ـ یک سفید که در صنعت نساجی مورد مصرف است استفاده شد. مشخصات عمومی الیاف مصرفی آزمایش ودر جدول ۱ گردآوری شده است.

۲ـ۳ـ تولید نخ

مراحل تولید نخ ۱۲۵ تکس، ظریفترین نخ ممکن در سیستم ریسندگی اصطکاکی موجود، شامل حلاجی،

کارد، چندلا کردن و ریسندگی انجام پذیرفت. ریسندگی اصطکاکی با استفاده از دستگاه DREF 2/86 FT انجام گرفت. در این دستگاه سرعت درام ریسندگی با ۱۰ حالت و سرعت غلتک زننده با ۳ حالت قابل تنظیم است. ابتدا با توجه به تعداد کل حالات قابل تنظیم ۳۰ نمونه نخ تولید و پس از انجام آزمایش استحکام و با در نظر گرفتن ضریب تغییرات مقادیر حاصله، از میان ۳ سرعت غلتک زننده، سرعت میانی (۳۸۰۰ دور بر دقیقه) در سه حالت حداکثر سرعت درام، حد متوسط سرعت درام و حداقل سرعت درام، و نیز از میان سرعت های درام ریسندگی، سرعت میانی (۲۵۰۰ دور بر دقیقه) در سه سرعت ممکن برای غلتک زننده انتخاب گردید. بدین ترتیب دو گروه سه عضوی به وجود می‌آید که یک عضو در هر دو گروه مشترک است. جدول ۲ مشخصات فنی در تولید نمونه های منتخب را نشان می دهد.

نخ چرخانه ای، به عنوان نمونه شاهد، با استفاده از دستگاه SUESSEN-hs/10 تولید شد. پارامترهای فنی تولید با در نظر گرفتن نمونه نخ مورد نظر، استحکام نخ، حداقل پارگی در حین تولید، یکنواختی و دیگر ملاحظات فنی مربوطه انتخاب گردید.

۲ـ۴ـ دستگاه آزمایشگاهی مرسریزه کردن نخ

به منظور مرسریزه کردن کلاف های نخ یک دستگاه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. شکل های ۱ و ۲ شمای دستگاه را نشان می دهند. در این دستگاه کلاف نخ بین فک های متحرک و ثابت قرار می گیرد تا بتوان در هنگامیکه کلاف نخ در محلول قلیاء غوطه ور است با حرکت افقی فک متحرک کلاف ها را به اندازه دلخواه کشید. هر دو فک نیز قادرند حول محور افقی بچرخند، در این صورت نیاز به همزدن محلول نخواهد بود.

شکل (۱) محل قرارگیری اجزای مختلف در دستگاه را نشان می دهد. جزئیات بیشتر دستگاه و آزمایش های انجام شده قبلاً ارائه شده است [۳۰].

۲ـ۵ـ مرسریزه کردن

برای تهیه محلول قلیایی از سود خالص مرک Merk به صورت گرانول استفاده شد. . غلظت سود در محلول مرسریزه کننده به وسیله تیتراسیون و نیز غلظت سنج (بومه سنج) تعیین و کنترل گردید.

حجم محلول به وزن کالا برای مرسریزه کردن به حالت آزاد ۵۰ به ۱ و برای مرسریزه کردن به حالت تحت کشش ۴۰۰ به ۱ بود. همچنین از یک نفوذ دهنده تجاری ساخت کارخانجات سیبا Ciba به نام Invadine MET استفاده شد. دمای حمام ۲۰°C و مدت زمان قرار گرفتن نمونه ها در حمام ۵ دقیقه تعیین گردید.

نخ های تولیدی به طول ۸۰ متر به صورت کلاف در حمام مرسریزه کردن قرار گرفت و در صورت لزوم با اعمال کشش کلاف ها پس از تقلیل طول به طول اولیه کشیده شدند.

پس از خارج نمودن قلیاء مراحل شستشوی با آب و خنثی سازی با محلول اسید استیک ۱۰ درصد انجام پذیرفت. کلاف ها پس ازشستشو و خارج کردن آب با روش سانتریفوژ در دمای محیط خشک شدند.

۲ـ۶ـ مرسریزه کردن مقدماتی

به منظور تعیین حدود غلظت بهینه در مرسریزه کردن نهایی، ۶ حمام سود با غلظت های ۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد تهیه شد. سپس از یک نمونه نخ اصطکاکی ۶ کلاف هر یک به وزن ۱۰ گرم و ۶ کلاف مشابه از نخ چرخانه تهیه و مرسریزه کردن به حالت آزاد صورت پذیرفت.

رطوبت بازیافتی نمونه های نخ در رطوبت نسبی ۴۵٪ و درجه حرارت ۲°C ± ۲۰ که در محیط آزمایشگاه وجود داشت، اندازه گیری شد. به نظر می رسد که ایجاد و کنترل رطوبت نسبی ۴۵٪ در محیط آزمایشگاهی با توجه به شرایط رطوبتی شهر تهران از خطای کمتری برخوردار است. از طرف دیگر هدف اصلی از اندازه گیری رطوبت بازیافتی نمونه های نخ، تعیین میزان تغییرات رطوبت بر اثر مرسریزه کردن، برآورد میزان تأثیر رطوبت در نتایج آزمایشات نمره نخ و استحکام، حذف این تأثیر و مقایسه نتایج بوده است.

جدول ۳ در بردارنده نتایج حاصل از تأثیر غلظت سود بر رطوبت بازیافتی نخ های اصطکاکی و چرخانه ای است. این نتایج نشان می دهد که با افزایش غلظت سود تا ۲۰ درصد، رطوبت بازیافتی افزایش یافته و پس از آن تغییرات ناچیز است. افزایش رطوبت بازیافتی در نخ های مرسریزه نمایانگر مؤثر بودن این فرایند است.

همچنین آزمایشات تعیین نمره نخ، استحکام و ازدیاد طول نسبی صورت پذیرفت. با استفاده از میزان رطوبت بازیافتی، استحکام نمونه ها در حالت خشک برآورد گردید. با مقایسه نتایج حاصله غلظت بهینه برای انجام عملیات نهایی مرسریزه کردن ۲۲ درصد تعیین شد.

۲-۷- مرسریزه کردن نهایی

۵ نمونه نخ اصطکاکی و یک نمونه نخ چرخانه (به عنوان نمونه شاهد) در دو حالت آزاد و تحت کشش مرسریزه شدند.

به منظور بررسی و تفکیک اثر آب و ماده نفوذ دهنده، از اثر قلیاء درفرایند مرسریزه کردن، آزمایشات فوق مجدداً در حالت آزاد و در حالت تحت کشش، با شرایط کاملاً مشابه، در حمام محتوی آب و ماده نفوذ دهنده تکرار شد.

برای ایجاد سهولت در تنظیم جداول، کلیه آزمایشات مرسریزه کردن با علائم اختصاری نامگذاری شدند. در این روش M بیانگر عملیات مرسریزه کردن و W معرف عملیات با حمام محتوی آب و ماده نفوذ دهنده است. T نمایانگر انجام عملیات تحت کشش و S مبین انجام عملیات بدون اعمال کشش و در حالت کاملاً آزاد می‌باشد. G نیز برای معرفی نمونه خام، یعنی نمونه‌ای که هیچگونه عملیاتی روی آن صورت نگرفته است به کار می‌رود.

رطوبت بازیافتی، نمره نخ، نیرو و ازدیاد طول گسیختگی نمونه های خام و مرسریزه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین میزان کاهش طول نخ در اثر انجام عملیات مرسریزه کردن، نمونه های یک متری از نخ های چرخانه و اصطکاکی تهیه و فرایند مرسریزه کردن صورت پذیرفت.

۳- نتایج وبحث

۳-۱- رطوبت بازیافتی

نتایج اندازه‌گیری رطوبت بازیافتی در رطوبت نسبی ۴۵٪ و درجه حرارت ۲°C±۲۰ در جدول ۴ و درصد تغییر در رطوبت بازیافتی در جدول ۵ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تغییر در رطوبت بازیافتی در سطح اطمینان ۹۵٪ واقعی است. همانگونه که مشاهده می‌شود بر اثر فرایند مرسریزه کردن رطوبت بازیافتی نخ چرخانه حداکثر ۳۱/۲۴ درصد و رطوبت بازیافتی نخ اصطکاکی حداکثر ۳۶/۶۰ درصد افزایش یافته است. افزایش میل به جذب رطوبت بر اثر فرایند مرسریزه کردن پدیده‌ای شناخته شده است که به موجب تغییر در ساختمان بلوری الیاف پنبه رخ می‌دهد [۱]. بدین ترتیب که بر اثر مرسریزه کردن سلولز I به سلولز II تبدیل می‌شود [۲، ۹، ۱۶]، در سلولز II عوامل O - H که قادر به ایجاد پیوند هیدروژنی با آب هستند، بیشتر در دسترس قرار می گیرند. این امر سبب افزایش رطوبت بازیافتی کالای پنبه ای در یک رطوبت نسبی مشخص می شود.

۳-۲- کاهش طول

هنگامی که نخ در حمام حاوی قلیای مناسب تحت عمل مرسریزه کردن قرار می‌گیرد، پیوندهای بین مولکولی درون لیف گسسته و مولکول ها آزادی بیشتری برای تغییر شکل بدست می‌آورند و تورم حاصل می‌شود. همراه با تورم قطری الیاف طول مجموعه درهم رفته آنها، نخ، کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش طول نخ ناشی از افزایش قطر و کاهش طول لیف است.

به طوری که از نتایج حاصل از آزمایش بررسی میزان تقلیل طول بر می‌آید (جدول ۶) کاهش طول نخ چرخانه ای ۱۷/۲٪ و نخ اصطکاکی ۶/۷٪ است. اختلاف در مقادیر کاهش طول را فقط می توان حاصل اختلاف در ساختار نخ دانست. در مطالعات اولیه برای تک لیف چنین تغییراتی گزارش شده است [۳ و ۴]. میانگین تغییر طول الیاف در مرسریزه کردن آزاد برابر با ۲۸٪ گزارش شده است. مشخصاً این اختلاف در نخ و الیاف به جهت لغزش الیاف روی یکدیگر و عدم انتقال کامل افزایش قطر و کاهش طول لیف به نخ است.

۳-۳- نیرو و ازدیاد طول گسیختگی

۳-۳-۱- نخ چرخانه‌ای

نیرو، ازدیاد طول گسیختگی و نمره نخ نمونه چرخانه‌ای در جدول ۷ داده شده است.

با استفاده از آزمون آماری t در حدود اطمینان ۹۵٪ ارزشمند بودن اختلاف بین نخ خام و نخ عمل شده محاسبه و بررسی شد. چنانچه اختلاف از نظر آماری با اهمیت بوده است با علامت * مشخص شده است.

باتوجه به نتایج حاصل، مرسریزه کردن به حالت آزاد (MS) در سود با غلظت ۲۲ درصد سبب افزایش نیروی گسیختگی می‌شود، اما تغییر در درصد طول گسیختگی از نظر آماری قابل توجه نیست. میزان افزایش نیروی گسیختگی برابر ۶/۹۵ درصد است. همچنین مرسریزه کردن تحت کشش (MT) سبب افزایش کلیه خواص مورد آزمایش شده است. در این حالت افزایش نیروی گسیختگی ۱۸/۹۸٪ و افزایش ازدیاد طول گسیختگی به ۱۱۴٪ می‌رسد. طبق جدول ۷ اختلافی بین استحکام و درصد ازدیاد طول گسیختگی نمونه خام و

نمونه های عمل شده با عملیات آب و ماده نفوذ دهنده در حالت آزاد (WS) و در حالت تحت کشش (MT) وجود ندارد، بنابر این عامل اصلی در ایجاد هرگونه تغییر در خواص نخ، فرایند مرسریزه کردن بوده است.

هانتر و اندروز [۱۹] برای نخ هایی که از چند نوع مختلف پنبه تهیه شده بود، میانگین افزایش استحکامی برابر ۲/۹٪ را گزارش نموده اند که در قسمتی از انواع نخ یک لا و دولای آزمایش شده کاهش و گاه افزایش داشته است. در نتیجه ملاحظه می گردد که ساختار نخ (تاب ، دولا تابی و غیره) می تواند تأثیر قابل ملاحظه ای بر اثر مرسریزه کردن نخ داشته باشد.

۳-۳-۲- نخ های اصطکاکی

جدول ۸ خواص نخ های اصطکاکی را قبل از مرسریزه کردن (G) نمایش می دهد. جدول های ۹ الی ۱۲ به ترتیب خواص نمونه های عمل شده در شرایط مرسریزه کردن در حالت آزاد (MS)، مرسریزه کردن تحت کشش (MT)، قرارگیری در محلول آب و ماده نفوذ دهنده به حالت آزاد (WS) و به حالت تحت کشش (WT) را نمایان می سازد. با استفاده از آزمون آماری t هر یک از مقادیر مندرج در جداول ۹ الی ۱۲ با مقدار متناظر آن در جدول ۸ مقایسه شده و با اهمیت بودن اختلاف از نظر آماری با علامت * مشخص شده است.

باتوجه به نتایج حاصل، فرایند مرسریزه کردن در حالت آزاد (MS)، تنها در یک مورد (نمونه E) اثر کاهنده بر نیروی گسیختگی و در سایر موارد بی اثر بوده است. این فرایند تنها در مورد نمونه های B و D سبب افزایش درصد ازدیاد طول گسیختگی شده و در سایر موارد بی تأثیر بوده است. همچنین مشاهده می گردد که انجام این فرایند سبب افزایش نمره تکس نخ می شود. این افزایش حاصل کاهش طول نخ و افزایش رطوبت بازیافتی است.

عملیات مرسریزه کردن تحت کشش (MT)، تنها در مورد نمونه D سبب افزایش نیروی گسیختگی شده و درسایر نمونه ها بی تأثیر بوده است. همچنین این فرایند درصد ازدیاد طول گسیختگی تمام نمونه ها به غیر از دو نمونه B و C را افزایش داده است. در مورد نمره نخ، نمره تکس تمام نمونه ها به غیر از دو نمونه A و D افزایش یافته است.

به طوری که در جدول های ۱۳ و ۱۴ ملاحظه می شود، عملیات با آب و ماده نفوذ دهنده به حالت آزاد (WS) در مورد نمونه های A و B و در حالت تحت کشش (WT) تنها در مورد نمونه B سبب کاهش نیروی گسیختگی شده است. افزایش ازدیاد طول گسیختگی در نخ هایی که فقط با آب و ماده نفوذ دهنده عمل شده اند در اثر تقلیل طول نخ ها ناشی از عملیات با آب می باشد.

۳-٤- استحکام (تنش مخصوص)

جدول ۱۳ استحکام نمونه ها به همراه درصد تغییر ناشی از انجام فرایند مرسریزه کردن در دو حالت آزاد (MS) و تحت کشش (MT) را نسبت به نمونه خام (G) نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد مرسریزه کردن به حالت آزاد سبب اندکی (۱/۳ درصد) افزایش در استحکام نمونه نخ چرخانه شده است. حال آنکه مرسریزه کردن به حالت تحت کشش افزایش قابل توجهی (۱۷/۱ درصد) را نشان می دهد. این امر می تواند به دلیل افزایش استحکام الیاف باشد. همچنین افزایش packing و نیز آرایش یافتگی الیاف در نخ، بر اثر اعمال کشش، از جمله دیگر عوامل مؤثر هستند.

مرسریزه کردن به حالت آزاد سبب کاهش (به طور متوسط ۵/۶ درصد) و مرسریزه کردن به حالت تحت کشش در اکثر موارد (حداکثر به میزان ۱۰/۷ درصد) سبب افزایش استحکام نمونه های نخ اصطکاکی شده است. بدین ترتیب در مجموع مشاهده می گردد که نخ حاصل از مرسریزه کردن تحت کشش محکم تر از نخ خام است. میزان افزایش استحکام به ساختمان نخ بستگی دارد. به طور کلی نحوه تغذیه الیاف به ناحیه ریسندگی در ماشین اصطکاکی Dref 2 به گونه ای است که خواص الیاف، به دلیل نحوه قرارگیری الیاف در نخ، کمتر در خدمت خواص مورد نظر در راستای محور طولی نخ، قرار می گیرد و این امر سبب استحکام نسبتاً پایین نخ های تولیدی در این سیستم در مقایسه با نخ های مشابه تولید شده در دو سیستم دیگر است. لذا به نظر می رسد مرسریزه کردن تحت کشش با بهبود آرایش (orientation) و متراکم شدن (packing) الیاف در نخ و نیز افزایش استحکام الیاف قادر است استحکام پایین این نوع نخ را تا حدودی بهبود بخشد.

همچنین استحکام نمونه ها با حذف تأثیر رطوبت مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از رابطه (۱) استحکام در حالت خشک محاسبه گردید:

$$T_d = T_r (1 + r) \qquad (۱)$$

که در آن Td و Tr به ترتیب استحکام در حالت خشک و در رطوبت بازیافتی r درصد و r میزان رطوبت بازیافتی واحد جرم نمونه است. جدول ۱۴ استحکام نمونه ها در حالت خشک و نیز درصد تغییر ناشی از انجام فرایند مرسریزه کردن در دو حالت آزاد (MS) و تحت کشش (MT) را نسبت به نمونه خام (G) نشان می دهد.

همانگونه که مشاهده می گردد اثر مرسریزه کردن با اعمال کشش در افزایش استحکام پس از حذف اثر رطوبت بازیافتی قابل توجه است.

٤ ـ نتیجه گیری

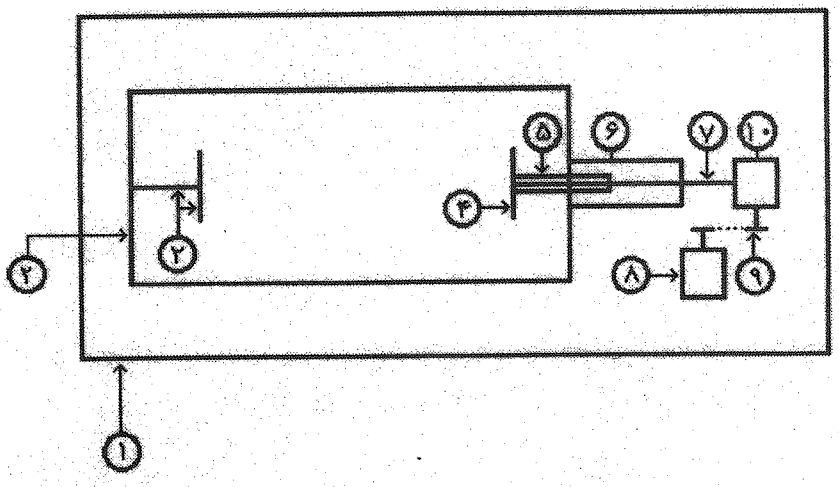
در این تحقیق با استفاده از الیاف پنبه متداول در صنعت نساجی ایران، یک نمونه نخ چرخانه و در نهایت پنج نمونه نخ اصطکاکی تولید گردید.

دستگاه آزمایشگاهی مرسریزه کردن طراحی و ساخته شد. نخ های تولیدی در دو حالت آزاد و تحت کشش مرسریزه شدند. رطوبت بازیافتی، تقلیل طول، نیرو و ازدیاد طول گسیختگی نخ ها قبل و بعد از مرسریزه کردن اندازه گیری و با مراجع مختلف مقایسه گردید.

نخ هایی که در سیستم ریسندگی اصطکاکی توسط ماشین Dref 2 تولید می شوند، در مقایسه با نخ های تولید شده در سیستم های ریسندگی رینگ و چرخانه، از استحکام کمتری بهره مند هستند. علت کم بودن استحکام نخ های اصطکاکی هنوز به صورت کاملاً رضایت بخش روشن نشده است. نحوه تغذیه الیاف به ناحیه ریسندگی و نهایتاً چگونگی استقرار الیاف در ساختمان نخ از جمله مهمترین علل پایین بودن ذاتی استحکام در این گونه نخ هاست [۱۸]. نتایج حاصل از مرسریزه کردن نشان می دهد که انجام مرسریزه کردن تحت کشش به صورت محدود می تواند سبب افزایش استحکام نخ های اصطکاکی گردد. این امر می تواند ناشی از افزایش استحکام الیاف و نیز بهبود آرایش و متراکم شدن الیاف در نخ باشد.

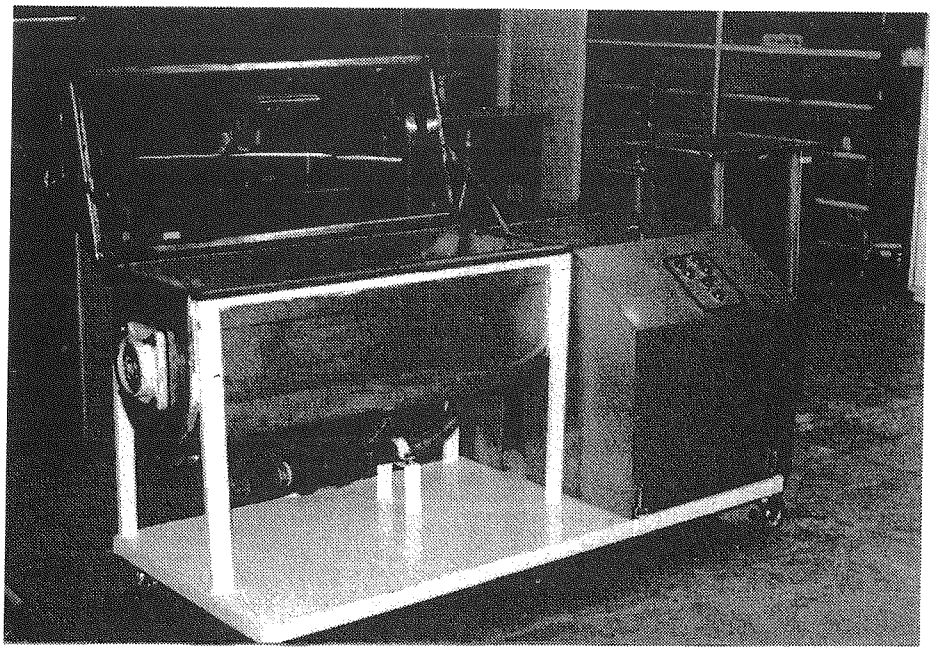
۵ ـ تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی و سپاس خود را از راهنمایی های ارزشمند جناب آقای دکتر هوشمند بهزادان در هدایت قسمتی از پروژه کارشناسی ارشد که این مقاله از آن استخراج شده است، ابراز میدارند. همچنین از کلیه افرادی که به نحوی در انجام این پژوهش بذل مساعدت و همکاری نموده اند، تشکر وقدردانی می شود.



۱- صفحه فلزی متحرک که دربردارنده، تمام قسمتها است
۲- مخزن
۳- محور و فک ثابت
۴- فک متحرک
۵- لوله داخلی فک متحرک
۶- لوله خارجی برای حرکت افقی فک متحرک
۷- محور اصلی
۸- الکتروموتور
۹- پولی
۱۰- جعبه دنده

شکل (۱) نمای شماتیک دستگاه آزمایشگاهی مرسریزه کردن.



شکل (۲) دستگاه آزمایشگاهی مرسریزه کردن.

جدول (۱) مشخصات عمومی الیاف مصرفی.

طول متوسط	۲۷ میلیمتر
ظرافت (عدد میکرونر)	۳/۷
رطوبت بازیافتی در شرایط°c ۲۲ و ۴۵٪ رطوبت نسبی	۵/۴ درصد
درجه رسیدگی	۰/۸۶۵
درصد وزنی الیاف تمیز شده	۹۴/۹۵
درصد وزنی مواد زائد	۴/۵۷
استحکام (گرم بر تکس)	۲۴/۵

جدول (۲) مشخصات فنی در تولید نمونه های نخ اصطکاکی.

نمونه	سرعت زننده r.p.m	سرعت درام r.p.m
A	۳۸۰۰	۳۲۵۰
B	۳۸۰۰	۲۵۰۰
C	۳۸۰۰	۱۷۵۰
D	۳۴۰۰	۲۵۰۰
E	۴۲۰۰	۲۵۰۰

جدول شماره (۳) رطوبت بازیافتی نمونه ها در حمام سود با غلظت های مختلف.

غلظت حمام سود (٪)	رطوبت بازیافتی نخ اصطکاکی(٪)	رطوبت بازیافتی نخ چرخانه (٪)
G	۵/۴۰	۵/۴۱
۰	۵/۴۵	۵/۴۸
۱۰	۶/۴۲	۶/۴۸
۱۵	۶/۷۷	۶/۸۴
۲۰	۷/۰۰	۶/۹۶
۲۵	۶/۸۰	۷/۲۰
۳۰	۶/۷۱	۶/۹۰

جدول (۴) درصد رطوبت بازیافتی (رطوبت نسبی ۴۵٪ و درجه حرارت C° ۲±۲۰).

نمونه	G	cv%	MS	cv%	MT	cv%
A	۵/۲۲	۰/۲۷	۷/۰۳	۱/۷۲	۶/۹۰	۲/۳۸
B	۵/۳۵	۰/۱۳	۷/۲۸	۱/۷۹	۷/۱۰	۲/۰۶
C	۵/۴۰	۰/۲۳	۷/۳۶	۱/۱۲	۷/۱۷	۲/۱
D	۵/۳۸	۰/۲۳	۷/۳۲	۱/۷	۷/۱۵	۰/۶۹
E	۵/۴۱	۰/۲۲	۷/۳۹	۱/۱	۷/۲۰	۰/۶۶
چرخانه	۵/۴۱	۰/۲۳	۷/۱۰	۳/۱۸	۶/۹۳	۱/۰۸

جدول (۵) درصد تغییر در رطوبت بازیافتی نمونه ها بر اثر مرسریزه کردن.

نمونه	MS	MT
A	۳۲/۱۴	۲۹/۷
B	۳۶/۰۷	۳۲/۷۱
C	۳۶/۳۰	۳۲/۷۸
D	۳۶/۰۶	۳۲/۹۰
E	۳۶/۶۰	۳۳/۰۹
چرخانه	۳۱/۲۴	۲۸/۱۰

جدول (۶) میانگین طول نمونه های مرسریزه بر حسب سانتیمتر.

نوع نخ	میانگین طول	cv%
چرخانه	۸۲/۸	۰/۸۵
اصطکاکی	۹۳/۳	۱/۸۴

جدول (۷) خواص نخ چرخانه حاصل از فرآیندهای مختلف.

فرایند	نیروی گسیختگی (g)			درصد ازدیاد طول نسبی			نمره نخ (tex)		
	میانگین		انحراف معیار	میانگین		انحراف معیار	میانگین		انحراف معیار
MS	۱۳۳۷/۹۰	*	۱۰۱/۲۸	۸/۳۸		۰/۶۷	۱۳۱/۷	*	۱/۲۹
MT	۱۴۸۸/۳۹	*	۱۶۳/۷۲	۱۸/۶۲	*	۲/۳۹	۱۲۶/۷۸	*	۰/۵۸
WS	۱۲۱۴/۸۵		۸۹/۵۳	۱۲/۰۸		۰/۹۸	۱۲۴/۹		۳/۵
WT	۱۲۳۰/۶۰		۱۲۴/۱۷	۸/۹۵		۱/۰۱	۱۲۴/۵		۰/۵۹
G	۱۲۵۱		۱۱۴/۸	۸/۷		۰/۸۵	۱۲۴/۷		۱/۹۷

* وجود اختلاف آماری در حدود اطمینان ۹۵٪

جدول (۸) خواص نمونه های اصطکاکی خام (عمل نشده G).

نمونه	نیروی گسیختگی (g)		درصد ازدیاد طول نسبی		نمره نخ (tex)	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
A	۵۹۴/۸۰	۴۱/۵۲	۱۱/۰۶	۱/۱۵	۱۲۰/۵۸	۳/۳۶
B	۶۶۵/۷۳	۵۵/۳۲	۱۰/۲۴	۲/۵۹	۱۲۰/۶۵	۰/۹۰
C	۶۴۸/۰۰	۸۱/۱۹	۱۰/۸۵	۴/۶۵	۱۱۹/۱۹	۲/۳۵
D	۶۲۴/۹۰	۷۱/۳۰	۹/۲۸	۱/۴۴	۱۱۹/۴۸	۲/۱۰
E	۶۶۸/۲	۴۰/۷۶	۱۰/۷۷	۱/۱۸	۱۲۱/۹۸	۱/۸۱

جدول (۹) خواص نمونه های اصطکاکی مرسریزه شده به حالت آزاد (MS).

نمونه	نیروی گسیختگی (g)			درصد ازدیاد طول نسبی			نمره نخ (tex)		
	میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار	
A	۶۰۴/۳	۵۰/۷۶		۱۱/۳۴	۲/۷۵		۱۲۷/۳۴	۵/۶۹	*
B	۶۵۹/۳	۷۸/۳۲		۱۳/۲۷	۴/۳۵	*	۱۲۷/۷۳	۶/۷۷	*
C	۶۵۵/۳	۷۷/۱۳		۱۱/۹۶	۳/۴۰		۱۲۷/۱۸	۵/۶۱	*
D	۶۵۸/۷	۵۴/۷۴		۱۱/۰۶	۲/۶۱	*	۱۲۷/۴۲	۲/۴۰	*
E	۶۲۲/۵	۵۱/۱۷	*	۱۰/۸۵	۲/۸۲		۱۲۸/۱۵	۴/۸۲	*

* اختلاف آماری با اهمیت در حدود اطمینان ۹۵٪

جدول (۱۰) خواص نمونه های اصطکاکی مرسریزه شده به حالت تحت کشش (MT).

نمونه	نیروی گسیختگی(g)			درصد ازدیاد طول نسبی			نمره نخ (tex)		
	میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار	
A	۶۱۱/۱	۴۷/۹۱		۱۲/۷۷	۱/۴۷	*	۱۲۱/۰۷	۲/۶۸	*
B	۶۶۳/۵	۵۱/۸۲		۱۱/۱۰	۲/۶۴		۱۲۲/۸۵	۱/۴۷	
C	۶۷۴/۲	۵۵/۸۹		۱۱/۲۵	۳/۱۶		۱۲۱/۱۵	۲/۸۷	*
D	۶۹۴/۸	۷۰/۳۸	*	۱۳/۵۶	۴/۱۱	*	۱۱۹/۹۷	۳/۳۴	*
E	۶۸۳/۶	۴۲/۳۸		۱۲/۹۳	۳/۰۹	*	۱۲۴/۲۴	۴/۳۵	*

جدول (۱۱) خواص نمونه های اصطکاکی عمل شده در محلول آب و ماده نفوذ دهنده به حالت آزاد (WS).

نمونه	نیروی گسیختگی(g)			درصد ازدیاد طول نسبی			نمره نخ (tex)		
	میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار	
A	۵۴۱/۴	۴۳/۳۱	*	۱۲/۶۴	۱/۹۹	*	۱۱۹/۶۳	۲/۷۲	
B	۶۱۷/۳	۳۷/۳۵	*	۱۱/۹۳	۳/۲۸		۱۱۹/۲۵	۱/۷۹	
C	۶۳۳/۵	۷۷/۵۴		۱۴/۵۵	۴/۲۷	*	۱۱۸/۸۹	۲/۵۸	
D	۶۴۵/۱	۴۲/۴۵		۱۴/۴۳	۳/۸۵	*	۱۲۰/۰۴	۱/۰۶	
E	۶۳۸/۹	۵۷/۳۱		۱۲/۹۶	۴/۲۳	*	۱۲۲/۳۱	۱/۰۹	

جدول (۱۲) خواص نمونه های اصطکاکی عمل شده در محلول آب و ماده نفوذ دهنده در حالت تحت کشش (WT).

نمونه	نیروی گسیختگی (g)			درصد ازدیاد طول نسبی			نمره نخ (tex)		
	میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار	
A	۵۸۰/۲	۳۷/۷۱		۱۰/۸۳	۲/۵۶		۱۱۸/۷۱	۱/۰۱	*
B	۶۲۶/۳	۵۱/۳۶	*	۱۲/۸۳	۳/۴۷	*	۱۱۷/۹۶	۰/۵۸	*
C	۶۶۶/۸	۶۷/۸۸		۱۴/۱۹	۴/۱۸	*	۱۱۷/۴۷	۰/۵۱	*
D	۶۵۰/۳	۷۸/۴۳		۱۳/۶۸	۳/۷۸	*	۱۱۷/۰۵	۰/۶۰	*
E	۶۴۰/۴	۴۲/۷۱		۱۲/۵۲	۳/۱۷	*	۱۱۹/۹۶	۱/۰۴	*

جدول (۱۳) اثر مرسریزه کردن بر استحکام (g/tex).

نمونه	G	MS	درصد تغییرات	MT	درصد تغییرات
O.E.	۱۰/۳۰	۱۰/۱۶	۱/۳	۱۱/۷۴	۱۷/۱
A	۴/۹۳	۴/۷۵	-۳/۸	۵/۰۵	۲/۳
B	۵/۵۲	۵/۱۶	-۶/۵	۵/۴۰	-۲/۱
C	۵/۴۴	۵/۱۵	-۵/۲	۵/۵۷	۲/۴
D	۵/۲۳	۵/۱۷	-۱/۲	۵/۷۹	۱۰/۷
E	۵/۴۸	۴/۸۶	-۱۱/۳	۵,۵	۴/۰

جدول (۱۴) اثر مرسریزه کردن بر استحکام در حالت خشک نمونه ها (g / tex).

نمونه	G	MS	درصد تغییر	MT	درصد تغییر
O.E.	۱۰/۵۷	۱۰/۸۸	۲/۹	۱۲/۵۵	۱۸/۷
A	۵/۲۰	۵/۰۸	-۲/۲	۵/۴۰	۳/۹
B	۵/۸۱	۵/۵۴	-۴/۷	۵/۷۸	-۰/۵
C	۵/۷۳	۵/۵۳	-۳/۵	۵/۹۶	۴/۱
D	۵/۵۱	۵/۵۵	۰/۷	۶/۲۱	۱۲/۶
E	۵/۷۷	۵/۲۲	-۹/۷	۵/۹۰	۲/۱

مراجع

[1] J. T. March, "Mercerising", Chapman & Hall Ltd. London, 143-157, (1941).

[2] J. O. Warwicker, R. Jeffries and R. L. Colbran, "A Review of the Literature on the Effect of Caustic Soda and other Swelling Agents on Fine Structure of Cotton", Shirley Institute Pamphlet, No. 93, Shirley Institute, Manchester, (1966).

[3] R. S. Willows, T. Barratt and F. H. Parker, Mercerization of Single Cotton Hair, J. T. I. (Trans.), 229-239, (1922).

[4] R. S. Willows, A. C. Alexandere, Change in Section of Cotton Hair on Mercerization, J. T. I. (Trans.), Vol. 13, T237-T247, (1922).

[5] M. A. Rousselle et. al., Liquid Ammonia and Caustic Mercerization of Cotton Fibers: Change in Fine Structure and Mechanical Properties, J.T.R., Vol. 46, 304-310, (1976).

[6] C. F. Goldthwait, A.L. Murphy, I. W. Lohmann and H. O. Smith, Mercerization of Yarn-Experimental Apparatus and Techniques, T. R.J., Vol. 22, 540-548, (1952).

[7] A. W. McDonald et. al., Physical Properties of Chemically Modified Cottons, part III, Effects of Mercerization, T.R.J., Vol. 27, 642-646, (1957).

[8] A. Niaz & K. Tahir, Effect of Temperature of Alkali Solution on Mercerization, T.R.J., Vol. 59, 772-774, (1989).

[9] S. P. Rowland , The Mechanisms of Durable Press, American Association of Textile Chemists and Colorists, Vol. 4, No.8, 204-211, (1972).

[10] J. J. De Boer and H. Borsten, The Effect of Homogeneous Fiber Treatments on the Properties of Mercerized and Crosslinked Cotton Fabrics, T. R. J., Vol. 45 317-320, (1975).

[11] J. J. De Boar, Pijnacker and H. Borsten, Preparing Cotton Material with Improved Tensile Strength Retention Properties, United State Patent 38. 22994, (1974).

[12] A. L. Murphy, M.F. Margavio and C.M. Welch, DP Cotton Knit made from Mercerized Yarn Retain Strength, Shape. Abrasion Resistance, American Association of Textile Chemists and Colorists, Vol. 4, 129-132, (1972).

[13] R. H. Wade and T. L. Vigo, Structural Changes

in Cotton: Effect of Premercerization Conditions on Subsequent Cross-Linking, T. R. J., Vol. 42. 148-154, (1969).

[14] R. Lawson, H. H. Ramey, P.W. Elliot, Stress-Strain Properties of Mercerized, Stretched and Durable-Press Treated Cotton Fibers. T. R. J. , Vol. 45, 510-514, (1975).

[15] S. N. Pandey and P. Nair, Mercerized and Crosslinked Cotton Yarns, Part II, Effect of Stretching During Mercerization and Physical Properties and Degradation of Crosslinked Yarns, T. R. J., Vol. 57, 522-538, (1987).

[16] J. W. Warwicker and A.C. Wright. Function of Sheet of Cellulose Chain in Swelling Reaction on Cellulose, J. of Applied Polymer Sc., 659-771, (1967).

[17] R. Y. Zhu, G. A. V. Leaf, and W. Oxenham. Fiber Behaviour in the Twisting Zone of a Friction-Spinning Process, J.T.I. Vol. 84, 237-247, (1993).

[18] W. Oxenham, Technology of Yarn Quality Improvements for High Class Fabrics. Paper Presented to Academic Seminar of Garment & Textile Asia, (1990).

[19] L. Hunter, G. A. Andrews, A Comparison of Open-End and Ring Spinning of Cotton, part II -The Effects of Caustic Soda and Liquid Ammonia Mercerization on Yarn Tensile Properties, SAWTRI Tech. Rep.,No. 367, (1977).

[20] A. Barella & A. Manich, Mercerization of Cotton and Cotton /Polyester Rotor Yarns. Its Effect on Mechanical Characteristics of Yarns as a Function of Total Draft and Twist Applied in Spinning, Textile Association India, 250-259, (1981).

[21] K. P. G. Pillay & E S. Nayaraja, A Comparative Study of Response to Mercerization of Open-End and Ring Spun Yarns, Resume of Papers 22nd Joint Technological Conference, 21-22, (1981).

[22] P. K. Hari, P. Balasubramanian, A. K. Sengupta & R. B. Chavan, Effect of Mercerization on the Tensile Properties of Rotor Spun Yarn, T. R. J., Vol. 55, (1985).

[23] H. A. Rutherford, J. F. Bogdon, H.K.C. Woo, H. Ghosn, "Mercerization of Cotton Fibers Without Tension", American Dyestuff Reporter, Nov. 27, 910-919, (1961).

[24] D.K. Gupta. M.H. Kish. A. El-Shiekh. "The Effect of Cotton Mercerization on Cotton/ Polyester Blends", T.R.J., Vol. 47, 428-436, (1977).

[25] M. H. Kish and M. R. Babaei, Effect of Mercerization of Cotton Fibers on the Properties of Open End Spun Cotton/Polyester Yarn. Melliand Textilebrichte, Vol. 6, 476-479, (1992).

[26] Y. K. Kim, T. J. Kang, A. M. Seyam & A. EL-Shiekh, Stretch Mercerization of Cotton Fibers, part 1, Fiber and Yarn Properties, T.R.J., Vol. 54, 325-330, (1984).

[27] Y. K. Kim, T. J. Kang, A. M. Seyam and A. EL-Shiekh, Stretch Mercerization of Cotton Fibers, part2: Fabric Properties, T.R.J., Vol. 54, 370-376, (1984).

[28] J. E. Booth, Principle of Textile Testing, 3rd Edition, Butterworth, London, (1968).

[29] K. L. Hertel, Fiber Length Analysis by Fibergraph, T.R.J., Vol. 10, 210-215, (1940).

[۳۰] محمدرضا بابایی، اثرات مرسریزه کردن بر روی خواص فیزیکی نخ اصطکاکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۱.