# مطالعه آسیب دیدگی الیاف پلی پروپیلن در ریسندگی چرخانه‌ای

علی اکبر قره آغاجی
استادیار
دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

پریسا ثابتی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

## چکیده

مطالعهٔ رفتار الیاف پلی پروپیلن در حین ریسندگی چرخانه‌ای بعنوان متداول‌ترین شیوهٔ تولید نخ پس از سیستم رینگ می‌تواند راه کارهای لازم را در جهت بهبود خواص ریسندگی الیاف بدست دهد. در این تحقیق، آسیب دیدگی مکانیکی و حرارتی الیاف پلی پروپیلن در ریسندگی چرخانه‌ای در حین مراحل مختلف تولید بررسی گردیده است. برای این منظور استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف، درصد بلورینگی، مدول الاستیسیته و توپولوژی الیاف در مراحل کاردینگ، چندلاکنی و تولید نخ در ماشین چرخانه‌ای (در حین زده شدن توسط زننده و تجمع الیاف در داخل شیار چرخانه) مورد مطالعه قرار گرفته و با الیاف در ابتدای خط (قبل از هر گونه عملیات مکانیکی) مقایسه گردیده است. نتایج مطالعات حاکی از آن است که برخی الیاف در اثر تماس با سطوح با حرارت بالاتر از نقطهٔ تبدیل شیشه‌ای (Tg) دچار آسیب دیدگی شده‌اند. نتایج آزمایشات استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف نشانگر افت این خواص در الیاف مورد فرایند قرار گرفته نسبت به الیاف قبل از عملیات مکانیکی است. همچنین مطالعات طیف FTIR و منحنی‌های استحکام ـ درصد ازدیاد طول روی نمونه‌های مختلف الیاف نشانگر تغییرات درون لیفی در برخی نمونه‌ها (بصورت تغییرات بلورینگی و مدول الاستیسیته) می‌باشد. مطالعات توپولوژی سطح الیاف نشان می‌دهد آسیب دیدگی های موضعی در سطح الیاف بصورت تغییر شکلهای فشاری، نقاط ذوب شده، پوسته دادن الیاف، حفره و ترک میباشد. مجموعهٔ مطالعات انجام شده وقوع آسیب دیدگی مکانیکی و حرارتی الیاف پلی پروپیلن در حین ریسندگی چرخانه‌ای را تأیید می‌نماید.

## کلمات کلیدی

آسیب دیدگی حرارتی، آسیب دیدگی مکانیکی، الیاف پلی پروپیلن، ریسندگی چرخانه‌ای، استحکام الیاف، ازدیاد طول تا حد پارگی، مدول الاستیسیته، انتشار ترک

# Study of Polypropylene Fibres Damage in Rotor Spinning

A.A. Gharehaghaji
Assistant Professor

P. Sabeti
Student

Isfahan University of Technology

## Abstract

*Study on the spinning behaviour of polypropylene fibres during rotor spinning is very important and may help us to find the appropriate ways to improve the spinning properties of fibres. In this study, mechanical and thermal damage of PP fibres during the various stages of rotor spinning line is investigated. The breaking strength and surface morphology of processed fibres in carding, drawing and rotor frame were studied and compared with those properties in unprocessed fibres. These studies show that some test fibres are damaged when contact the surfaces with heat due to processing well above the Tg of the fibres. The results of the study on the tenacity and breaking elongation of test fibres indicate that the mechanical properties are also deteriorated. The results of FTIR tests and stress-strain curves show some interstructure changes in some samples, which can be seen as partial changes in the crystalinity and elastic modulus. Investigation on the surface morphology of the damaged fibres shows some localized damaged areas in the form of compressive deformations, melt points, peeling off of the surface, voids and cracks. In general the results of*

*various experiments confirm the occurrence of thermal damage in the rotor spinning process which affects the spinning behaviour inversely.*

**Key words**

*Thermal damage, mechanical damage, polypropylene fibres, rotor spinning, tenacity, breaking elongation, elastic modulus, SEM, FTIR, crack propagation*

## مقدمه

تولید و مصرف رو به رشد الیاف پلی پروپیلن در دنیا و ظرفیت‌های بالای تولید این الیاف در ایران جایگاه ویژه‌ای را برای این الیاف ایجاد کرده است. مطالعهٔ رفتار این الیاف در ریسندگی چرخانه‌ای که بعد از سیستم ریسندگی رینگ، مهمترین شیوه تولید نخ از الیاف استیپل محسوب می‌شود، می‌تواند مشکلات ریسندگی را نمایان و راه کارهای عملی برای استفاده از الیاف پلی پروپیلن را نشان دهد. در این سیستم ریسندگی، نظر به اینکه الیاف بطور مداوم در حال تماس با دو المان مهم یعنی زننده و چرخانه هستند و لذا حرارت قابل توجهی درزننده و چرخانه ایجاد می‌شود. در مواردی این دما حتی به $100\ ^oC$هم می رسد [۱]. برای الیافی که دارای نقطه ذوب کریستالی (Tg) و نقطه ذوب (Tm) پایینی هستند، احتمال آسیب دیدگی حین فرآیندهای مکانیکی که توأم با ایجاد حرارت است، نیز وجود دارد. از آنجائیکه حرارت ایجاد شده می‌تواند خواص مکانیکی الیاف را تغییر دهد لذا این پدیده نقش تعیین کننده‌ای بر خواص نخ تهیه شده داشته و محدودیت‌های استفاده از این نوع الیاف را بدنبال خواهد داشت. پیرامون آسیب دیدگی حرارتی و مکانیکی الیاف نایلون [۲] و پلی استر [۲و۳] تحقیقاتی صورت گرفته است ولی در مورد آسیب دیدگی الیاف پلی پروپیلن در منابع موجود و مطالعات کتابخانه‌ای گزارشی داده نشده است.

پلی پروپیلن از پلیمریزاسیون پروپیلن حاصل از شکسته شدن نفت با کمک تسریع کنندهٔ زیگلر، تولید می‌شود و پلیمری با وزن مولکولی حدود ۸۰۰۰۰ دالتون می‌باشد. فرمول مولکولی پلی پروپیلن به صورت $(-CH_2-CHCH_3-)_n$ می‌باشد. الیاف پلی پروپیلن به صورت استیپل دارای استحکام متوسط $\left(mN/tex\right)$ ۶۰۰-۴۰۰ و ازدیاد طولی معادل ۳۵ ٪ -۲۰ ٪ می‌باشند. میزان جذب رطوبت آن بسیار اندک (کمتر از ۱٪) بوده و ضریب هدایت حرارتی آن نیز بسیار کم ($11/7\times10^{-4}$ $J/cms^0k$) می‌باشد. ضریب هدایت حرارتی الیاف پلی پروپیلن ۶/۲۵ برابر از پنبه کمتر است [۴]. الیاف پلی پروپیلن کمترین هدایت حرارتی را در میان سایر الیاف دارند و در نتیجه بالاترین ظرفیت عایق بودن را دارا می باشند. دمای ذوب و تبدیل شیشه‌ای این لیف به ترتیب $172\ ^oC$ و $-18\ ^oC$ می‌باشد [۵].

در ریسندگی چرخانه‌ای علاوه بر عوامل لیفی نظیر طول و ظرافت الیاف و میزان ناخالصی‌های موجود در الیاف، مقاومت حرارتی الیاف، نوع مواد تکمیلی بکار رفته در هنگام آماده‌سازی برای ریسندگی و ضریب اصطکاک آن نیز اهمیت زیادی دارند مواد تکمیلی که در هنگام تولید الیاف مصنوعی بکار می رود، فرآیند ریسندگی را تا حدود زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. در ناحیه غلتک زننده، مواد تکمیل ریسندگی بطور نسبتاً وسیعی از سطح الیاف کنده شده و عمدتاً در ناحیه کانال انتقال الیاف و شیارچرخانه رسوب می‌کنند. رشته الیاف در این شرایط در هنگام عبور از روزنه لوله برداشت نخ، در معرض صدمات بیشتری قرار می‌گیرند، چراکه پوشش نازک مواد تکمیلی آنها تاحدود زیادی از بین رفته است. بدین ترتیب مواد تکمیلی و روغن ریسندگی برای کنترل آسیب دیدگی حرارتی و تجزیه الیاف در اثر حرارت خصوصا در زمانیکه سرعت ماشین بالاست از اهمیت ویژه ای برخوردار است [ ۶ و۷ ]. مواد تکمیلی نه تنها کیفیت تولید بلکه قابلیت تولید را هم تعیین می‌کنند [۱۲ و ۱۳] و از نفوذ حرارت بسیار زیاد ( ناشی از اصطکاک) در یک زمان بسیار کوتاه (حدوداً ۰/۰۱ ثانیه) به داخل الیاف جلوگیری می‌نماید. در واقع این مواد بعنوان یک محافظ یا سپر حرارتی عمل می‌نمایند. سرعت ریسندگی الیاف پلی استر را از طریق استفاده از مواد تکمیلی مناسب تا حدود ۲۰٪ می‌توان افزایش داد [۱]. در مورد الیاف پنبه، واکس طبیعی آن، همان خاصیت مورد اشاره مواد تکمیلی را دارا می‌باشد که در کنار جذب رطوبت بالای لیف در رفتار ریسندگی الیاف تاثیر بسزایی می‌گذارد.

از دیگر عوامل ایجاد آسیب دیدگی مکانیکی و حرارتی، سرعت غلتک زننده و میزان زبری سطح آن است که برای الیاف ترموپلاستیک تا حد امکان، باید کم انتخاب شود تا احتمال وقوع سوختگی موضعی و صدمات مکانیکی را به حداقل خود برساند [۱]. شدت آسیب دیدگی حرارتی الیاف در ریسندگی چرخانه‌ای به مقاومت حرارتی لیف، سرعت نسبی و تماس فشاری

زیاد الیاف و نخ با قطعاتی از ماشین همچون غلتک زننده، چرخانه و روزنه لوله برداشت نخ دارد [۱]. از اینرو مقاومت حرارتی الیاف و نقطه ذوب و نقطه نرم شدن از اهمیت زیادی برخوردار بوده و نقش تعیین کننده‌ای در تعیین حداکثر سرعت مجاز ریسندگی چرخانه‌ای دارد. در اثر وقوع آسیب دیدگی حرارتی بواسطه اصطکاک لیف با غلتک زننده، چرخانه و روزنه لوله برداشت نخ، مقدار حرارت مشخصی در زمان بسیار کوتاهی به لیف وارد می‌شود. از آنجائیکه این حرارت نمی‌تواند سریعاً در کل طول لیف منتشر گردد، لذا درجه حرارت در نقطه تماس به شدت افزایش می‌یابد. به محض آنکه درجه حرارت لیف در نقطه تماس به نقطه نرم شدن برسد، قسمتهایی از لیف توسط سطوح در حال تماس (روزنه لوله برداشت نخ، دندانه‌های زننده) کنده می‌شوند. نشست این مواد در شیار چرخانه و حضور الیافی که سطح مقطع آنها بواسطه این اصطکاک کاهش یافته است از عواقب این آسیب دیدگی می‌باشند که منجر به کاهش استحکام نخ و افزایش میزان نخ پارگی‌ها و غیره می‌شوند.

آسیب دیدگی حرارتی در سرعتهای بالای چرخانه هنگامی ایجاد می‌شود که سطح تماس مؤثر و طولانی بهمراه سرعت بالا، منجر به پیدایش اصطکاک و ایجاد حرارت شود [۳]. در اثر حرارت ایجاد شده، ویسکوزیته مواد تکمیلی ریسندگی کاهش می‌یابد و وقتی نیروی فشار ی وارده به الیاف به مقدار مقتضی برسد، پوشش مواد تکمیلی که روی سطح الیاف روکش شده است، از بین رفته و بر روی پلیمر، در نقطه تماس به علت اصطکاک و دمای بالا یک عمل مانند سوهانکاری انجام می‌شود و بدنه سائیده شده الیاف به صورت ذرات گردوغبار در می‌آید. اگر دما هم به مقدار مقتضی برسد، پلیمر به نقطه ذوب رسیده و سطح ذوب شده تشکیل می‌شود که همان آسیب دیدگی حرارتی می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از بخشهای آسیب دیده نشانگر تغییر شکل در سطح الیاف می‌باشد. در تحقیقی توسط ورسلوایس و همکاران [۲]، آسیب دیدگی حرارتی نخهای پلی آمید و پلی استر بررسی شده و اثر فاکتورهایی چون دما و تنش وارده به نخ مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## تجربیات و آزمایشات

### ـ مواد اولیه و نحوه نمونه گیری

الیاف پلی پروپیلن مصرفی در این تحقیق دارای ظرافت ۱/۵ den و طول استیپل ۴۰ mm می‌باشد که در کارخانه ایران ریسه تولید می‌گردد. در آزمایشات تعیین نقطه ذوب توسط دستگاه Electro Thermal متوسط نقطه ذوب الیاف با ۶ بار اندازه‌گیری ۱۶۳°C بدست آمد. در آماده‌سازی الیاف از روغن ریسندگی Silastol GF 18 استفاده گردید روش کار بدین صورت بود که ابتدا ۶۰ Kg از الیاف توزین و سپس روغن ریسندگی به میزان ۱٪ (نسبت به وزن کالا) که به نسبت ۱:۴ رقیق شده بود، روی الیاف اسپری گردید. به الیاف زمان کافی (۴۸ ساعت) داده شد تا روغن به خوبی در آنها نفوذ نماید. سپس در خط حلاجی از الیاف بالشهایی با وزن خطی ۲۲۰ g/m تولید گردید. آنگاه در ماشین کارد فتیله با وزن خطی ۳/۲ g/m تولید گردید. سرعت سیلندر اصلی کارد به منظور کاهش آسیب دیدگی مکانیکی، بسیار پایین تنظیم شده بود ( ۱۰۰rpm) .

اولین مرحله‌ای که آسیب دیدگی حرارتی مشاهده گردید هنگامی بود که در قسمتهایی از بالش وزن خطی افزایش زیادی داشت بطوریکه الیاف حول سیلندر اصلی می‌پیچیدند و اصطلاحاً شال بسته می‌شد. در اثر حرکت الیاف بر روی هم و اصطکاک ایجاد شده بین الیاف و سوزنهای سیلندر اصلی و حرارت ایجاد شده، آسیب دیدگی ایجاد شده و الیاف ذوب شده در لابلای سوزنهای سیلندر اصلی قرار گرفته و در اثر حرکت سیلندر به صورت پودر در می‌آمد. این مسأله خیلی مشکل آفرین بود و باعث توقف تولید می‌شد. در این حالت ماشین متوقف، الیاف ذوب شده خارج، سیلندر تمیز شده و کار ادامه می‌یافت. ازاین الیاف آسیب دیده نمونه‌برداری شد تا خواص مکانیکی و تغییرات درمورفولوژی سطح آنها مطالعه شود (کد نمونه‌ها CP). از فتیله کارد پس از دو مرحله چند لا کنی فتیله‌ای باوزن خطی ۳/۲ g/m تولید گردید. در این دستگاه نیز در مواردی الیاف در حین حرکت به دور غلتکهای تولید پیچیده شده و در اثر اصطکاک بین الیافی که روی هم حرکت می‌کنند حرارت تولید می‌شد و در الیاف آسیب دیدگی پیش می‌آمد. در این حالت الیاف فوق را از خط خارج کرده و تولید ادامه می‌یافت. از این الیاف نیز نمونه‌گیری شد تا بر روی آنها مطالعاتی انجام شود (نمونه‌ها باکد DP مشخص گردیده‌اند).

برای تهیه نمونه‌های الیاف از ماشین ریسندگی چرخانه‌ای فتیله به ماشین چرخانه‌ای تغذیه گردید دمای سطح زننده و چرخانه توسط یک ترمومتر مادون قرمز اندازه‌گیری و از هر وضعیت تولید ۱۰ سری نمونه‌برداری شد و دمای گزارش شده برای هر حالت متوسط دما را نشان می‌دهد. برای نمونه‌گیری از زننده، دورچرخانه بر روی ۶۰۰۰۰ تنظیم شد و از چرخانه خنک

استفاده گردید تا اثر آسیب‌رسانی چرخانه و زننده تداخل پیدا نکنند. سه نمونه مختلف با دور های ۶۵۰۰rpm و۷۰۰۰ rpm و ۸۰۰۰rpm زننده تهیه گردید (کد نمونه‌ها به ترتیب RCB65وRCB70 و RCB80 و زننده از نوع یونیورسال بود). با اندازه‌گیری همزمان دما توسط ترمومتر مادون قرمز دمای چرخانه $^{o}C$ ۲۷ و دمای سطح زننده $^{o}C$ ۳۹-۳۵ بدست آمد. نحوه نمونه‌گیری از چرخانه به این صورت بود که پس از تغذیه الیاف به ماشین با ثابت نگهداشتن دور زننده روی rpm ۷۰۰۰ با سه دور مختلف چرخانه یعنیrpm ۶۰۰۰۰ وrpm ۶۵۰۰۰ و rpm ۷۰۰۰۰ الیاف در شیار چرخانه جمع شده و الیاف تجمع یافته از درون چرخانه جمع آوری شد. دمای زننده $^{o}C$ ۴۶-۴۲ و برای چرخانه به ترتیب $^{o}C$ ۷۰ و $^{o}C$ ۷۷ و $^{o}C$ ۸۶ بود (کد نمونه‌ها BCR60 و BCR65 و BCR70 با قطر چرخانهmm ۴۳)

## اندازه‌گیری استحکام و مقدار ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌ها

در این آزمایشات ابتدا استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌های الیاف قبل از عملیات مکانیکی (کد نمونه UP) و سپس در نمونه‌های BCR60 – 65 – 70، RCB65 – 70 – 80، CP و DP مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌گیری الیاف بصورت راندم بود و آزمایشات با استفاده از دستگاه Zwick صورت گرفت و بدین ترتیب استحکام، درصد ازدیاد طول تا حد پارگی و مدول الاستیسیته نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری و دیاگرامهای استحکام ـ درصد ازدیاد طول آنها بدست آمد. در این آزمایشات فاصله دو فک در دستگاه ۲۰mm تنظیم شد و طول نمونه‌های مورد آزمایش ۲۰mm بود. همچنین سرعت حرکت دو فک مطابق با استاندارد ASTM $^{mm}/_{\min}$ ۱۲ در نظر گرفته شد [ ۸]. به کمک نرم افزار Minitab داده‌های پرت از بین نتایج حاصل از اندازه‌گیری استحکام، درصد ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف و مدول الاستیسیته حذف شد و نتایج حاصله در جدول ۱ آمده است.

**جدول (۱) نتایج میانگین استحکام، ازدیاد طول تاحد پارگی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها.**

| کد نمونه | تعداد نمونه | استحکام $\left(^{cN}/_{dtex}\right)$ | CV% | میانگین درصد ازدیاد طول تا حد پارگی | CV% | تعداد نمونه | مدول الاستیسیته $\left(^{cN}/_{dtex}\right)$ | CV% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UP | ۶۸ | ۳/۵ | ۱۰/۷ | ۷۵/۵ | ۴۸ | ۳۰ | ۴ | ۱۰/۸ |
| CP | ۳۶ | ۲/۹ | ۱۴/۷ | ۳۳/۱ | ۴۱/۲ | ۳۰ | ۴/۱ | ۲۲ |
| DP | ۳۱ | ۲/۹ | ۱۴/۲ | ۳۵ | ۳۷/۸ | ۳۰ | ۳/۸ | ۲۰ |
| RCB65 | ۳۱ | ۳/۱ | ۱۴/۳ | ۳۹/۴ | ۳۳/۵ | ۳۰ | ۳/۹ | ۱۶ |
| RCB70 | ۳۳ | ۳ | ۱۴ | ۳۴ | ۳۴/۴ | ۳۰ | ۳/۸ | ۲۰/۸ |
| RCB80 | ۳۲ | ۳ | ۱۷/۵ | ۳۳/۷ | ۳۳/۵ | ۳۰ | ۳/۸ | ۱۷/۳ |
| BCR60 | ۳۱ | ۳/۱ | ۲۰/۲ | ۳۴ | ۳۴/۷ | ۳۰ | ۳/۹ | ۱۹/۴ |
| BCR65 | ۳۰ | ۳/۱ | ۹/۵ | ۳۰/۶ | ۲۰/۸ | ۳۰ | ۴ | ۱۳/۴ |
| BCR70 | ۳۰ | ۳ | ۱۲ | ۳۳/۴ | ۳۱/۹ | ۳۰ | ۳/۶ | ۱۷/۶ |

## محاسبه درصد بلورینگی الیاف با استفاده از FTIR

به منظور بررسی تغییرات بلورینگی در الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته با شرایط مختلف، از طیف FTIR نمونه‌ها استفاده شد. برای تهیه نمونه، الیاف به صورت پودر با KBr به نسبت ۱:۱۰۰ مخلوط و ساییده شد و از آن فیلم نازکی (در محفظه مخصوص خود دستگاه) تهیه شد و طیف FTIR آن گرفته شد. با توجه به طیف FTIR، طیف شامل پیک مضاعف در دو ناحیه ۱۰/۳۲ – ۱۰/۰۴ ( $^{nm}$ ۹۶۹-۹۹۶) است که مربوط به نواحی کریستالی و آمورف می‌باشد. طیفهای حاصله که یک

نمونـه آن در شـکل ۱ آمـده اسـت مـورد بررسی قرار گرفتند و درصد بلورینگی با در نظر گرفتن نقاط ابتدا و انتها از تقسیم دو شـدت بر یکدیگر با ۳ بار اندازه‌گیری برای هر نمونه، محاسبه شد (مطابق مراجع [ ۹ و ۱۰ ]). نتایج مطالعات در جدول ۲ آمده است:

**جدول (۲) درصد بلورینگی در نمونه‌های مختلف الیاف پلی پروپیلن.**

| شماره نمونه | نمونه | میانگین درصد بلورینگی |
|---|---|---|
| ۱ | AN | ۸۰/۶ |
| ۲ | KA | ۷۸ |
| ۳ | BCR70 | ۷۹/۳ |
| ۴ | RCB80 | ۸۲/۳ |
| ۵ | KA (m) | ۷۲/۵ |
| ۶ | RCB80 (m) | ۷۸/۳ |

## مطالعات میکروسکوپ الکترونی

نمونه‌های تصادفی از الیاف قبل از عملیات ریسندگی و بعد از مراحل مختلف ابتدا بر روی پایه نمونه‌گیر با چسب مخصوص چسبانده شد و سپس نمونه‌ها با سیستم Sputter Coater لایه نازکی از طلا با ضخامت حدود ۵ nm در زمان ۷۰ ثانیه پوشش داده شـد. پـس از قـرار دادن نمونـه‌ها در محفظه مخصوص میکروسکوپ از جریان ۵kv برای بمباران الکترونی نمونه‌ها استفاده شـد تـا از آسـیب دیدگـی نمونـه‌هـا ناشی از ولتاژ بالا اجتناب گردد. نها یتا تغییر شکل‌های بوجود آمده در سطح الیاف پس از فرآیندهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌هایی از تصاویر SEM در شکل‌های۵-۲ آمده است.

## بحث پیرامون نتایج

### افت استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی

بررسـی نـتایج جـدول ۱ نشـان مـی‌دهد که استحکام الیاف اولیه در مراحل مختلف تولید، نسبت به الیافی که تحت فرایند ریسـندگی قرار گرفته اند بالاتر است و این در حالی است که ضریب تغییرات استحکام الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته بالاتر از الیاف اولیه است. این پراکندگی بالاتر را می‌توان به این مسأله نسبت داد که الیاف در زمان ریسندگی دچار تغییراتی در سـاختمان فیزیکـی شان شده‌اند که شدت این تغییرات در برخی نمونه‌ها به دلیل آسیب دیدگی مکانیکی و یا در معرض تماس بیشتر قرار گرفتن با حرارت بیشتر بوده است.

افـت ازدیاد طول تا حد پارگی در نمونه‌های مختلف تحت فرآیند قرار گرفته محسوس می‌باشد. ضریب تغییرات برای ازدیاد طـول هـم در الـیاف اولیه و هم در الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته بالاست. پراکندگی بالای ازدیاد طول الیاف اولیه را مـی‌تـوان بـه شـرایط تولید الیاف نسبت داد در حالی که در بقیه نمونه‌ها بعد از تماس با حرارت در زمان ریسندگی چون الیاف بیشـتری دچـار آسـیب دیدگـی و افـت ازدیاد طول تا حد پارگی می‌شوند، پراکندگی اعداد کمتر می‌شود (در عین حالیکه افت ازدیـاد طـول بیشـتر مـی‌شود). جهت بررسی آماری نتایج جدول ۱ آزمون فرض t دو طرفه با فاصله اطمینان ۹۵٪ انجام شد و نـتایج آزمـون فـرض حاکـی از آن اسـت کـه بیـن استحکام و ازدیاد طول نمونه‌های الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته و نمونـه‌هـای الیاف اولیه اختلاف آماری معنی داری وجود دارد. دلایل افت استحکام و ازدیاد طول را می‌توان به عوامل زیر نسبت داد:

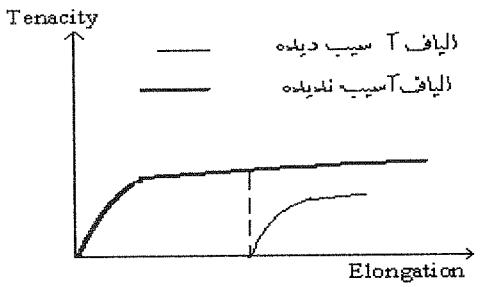
وقتـی لیفـی تحـت کشش قرار می‌گیرد، ابتدا پیوندهای بین ماکرومولکولها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با شکستن بخشی از آنها، مقداری ازدیاد طول وجود خواهد داشت و بعد از نقطه تسلیم، مستقیم‌تر شدن زنجیرها، ازدیاد طول بیشتر و راحت‌تری را بدنـبال خواهد داشت [ ۱۱ ]. حال اگر لیفی در اثر عواملی چون حرارت یا تنشهای مکانیکی آسیب ببیند، امکان دارد بخشی از

پیوندهای بین ماکرومولکولها از بین رود و با نیروی کمتری به ازدیاد طول تا قبل از نقطه تسلیم برسد بنابراین استحکام این لیف کاهش می‌یابد.

وقتی لیف مورد آزمایش در دستگاه Zwick تحت تنش‌های کششی قرار می‌گیرد درمحلهای ضعیف پاره می‌گردد. در مورد الیاف اولیه پارگی در نقطه ای اتفاق می‌افتد که لیف دارای نواقص ساختاری (microdefects) باشد. این نقاط ضعیف در الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته به صورت ترک، حفره و تغییرات پلاستیک دیگر می‌باشد که مطالعات میکروسکوپ الکترونی این موضوع را تایید می‌کند. در حین کشش در محل ترک و حفره‌ها تمرکز تنش پیش می‌آید و با ادامه وارد آمدن نیرو، تمرکز تنش شدیدتر شده و باعث پیشرفت ترک می‌شود و تا مرحله پارگی پیش می‌رود. بنابراین وجود نقاط ضعیف باعث می شود که لیف تحت ازدیاد طول و استحکام کمتری پاره شود.

عامل دیگری که می‌تواند در این افت استحکام مؤثر باشد دو جزئی شدن لیف در بخشهایی است که در تماس با حرارت بوده است. تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که عملیات حرارتی مورفولوژی الیاف کریستالی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [ ۷ ]. در اثر حرارت ابتدا مناطق آمورف (در Tg) و سپس بخشی از مناطق کریستالی (در Tm) تخریب می‌شوند و پس از سرد شدن مجدد بسته به سرعت سرد شدن، فرم کریستالها تغییر کرده و ساختمان جدید ایجاد می‌شود. به نظر می‌رسد بخشهایی از لیف که بیشتر در معرض حرارت هستند، حالت شکننده به خود بگیرد و لیف در این بخشها به صورت دو جزئی در آید لذا، این قسمت از لیف خواص مکانیکی متفاوتی نسبت به لیف اولیه خواهد داشت و بخش شکننده نمی‌تواند به اندازه بخش انعطاف‌پذیر افزایش طول داشته باشد لذا استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی چنین لیفی کاهش می‌یابد (رفتار الیاف دو جزئی در اثر نیرو از الگوی خاصی پیروی می‌کند که در مطالعات مکانیک پارگی الیاف دوجزئی آمده است[ ۱۲] .

با توجه به جدول مشاهده می‌شود که افت استحکام در نمونه‌های الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته نسبت به الیاف اولیه حدود ۱۵-۱۰٪ می‌باشد که با نتایج تحقیقی که قبلا صورت گرفته است[ ۱۳ ] مطابقت می‌کند و این رقم برای میزان افت ازدیاد طول تا حد پارگی حدود ۳۶-۴۵٪ می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در نمونه‌های الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته افت ازدیاد طول بیشتر از افت استحکام می‌باشد. در تحقیقات دیگری [ ۱۴ ] به افت استحکام و ازدیاد طول در اثر حرارت دیدن الیاف اشاره شده و همچنین افت بالاتر ازدیاد طول نسبت به استحکام نشان داده شده است. به نظر می‌رسد که الیاف روی زننده در اثر برخوردهای مکانیکی و کشش زیاد دچار تغییرات پلاستیک می‌شوند. وقتی الیاف تحت کشش‌های ریسندگی قرار می‌گیرند مقداری ازدیاد طول یافته در این حالت در اثر افزایش آرایش یافتگی زنجیرها، استحکامشان بالاتر می‌رود و افت استحکام در اثر آسیب دیدگی تا حدودی جبران می‌شود. زمانی که این الیاف در دستگاه Zwick کشیده می‌شوند، شروع ازدیاد طول در الیاف تحت عملیات ریسندگی قرار گرفته نسبت به الیاف اولیه متفاوت خواهد بود و ازدیاد طول این الیاف کاهش خواهد یافت. این پدیده در شکل۶ به صورت شماتیک نشان داده شده است.




**شکل (٦) نمودار شماتیک استحکام ـ درصد ازدیاد طول الیاف آسیب دیده و ندیده.**

در خط تولید در روی سیلندر اصلی ماشین کاردینگ و در قسمت انتهایی ماشین چند لاکنی (غلتکهای تولید)، در اثر اصطکاک و مالش الیاف با یکدیگر و با سطوح فلزی و ایجاد حرارت (دمای بالای Tg) الیاف PP، دچار آسیب دیدگی شدند که باعث کاهش استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف شده است. باید در نظر داشت که آسیب دیدگی در یک خط تولید می‌تواند بصورت تجمعی باشد یعنی در یک مرحله خاص ایجاد شده و مرحله به مرحله اضاف گردد. بدین جهت آسیب دیدگی

در ماشین کاردینگ و چندلاکنی که در حالتهای خاصی اتفاق می‌افتد با بیشتر و خارج کردن الیاف آسیب دیده از خط تولید سعی شد از تداخل اثر آسیب دیدگی حرارتی این ماشینها با آسیبب دیدگی‌های مربوط به چرخانه و زننده جلوگیری شود. تماس الیاف با بدنه داغ چرخانه در کنار نیروی گریز از مرکز در شیار چرخانه و برخورد الیاف با سطح زننده از جمله عواملی است که سبب آسیب دیدگی الیاف می‌شود. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که الیاف در سرعتهای بالای چرخانه آسیب می‌بینند [ ۳] و میزان آسیب دیدگی به خواص حرارتی مثل نقطه ذوب و گرمای نهان ویژه مربوط است و اثر این آسیب دیدگی در کاهش استحکام مشاهده شده است[ ۲]. در اثر نیروی گریز از مرکز موجود در شیار چرخانه، الیاف بر سطح چرخانه فشرده شده و در حین افزایش دما تحت فشار قرار می‌گیرند که باعث صاف شدن لیف می‌شود این مسأله در تصویر ۲ دیده می‌شود. در روی غلتک زننده در اثر برخوردهای مکانیکی، الیاف دچار آسیب دیدگی می‌شوند که بواسطهٔ سرعت نسبی بالا و تماس فشاری زیاد آنها، این برخوردها با تولید حرارت همراه می‌شود. به همین دلیل مقاومت حرارتی الیاف و نقاط نرم شدن و ذوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نقش تعیین کننده‌ای در تعیین حداکثر سرعت مجاز ریسندگی چرخانه‌ای دارد. با توجه به هدایت حرارتی پایین لیف پلی پروپیلن بخشی از حرارت که به لیف نفوذ می‌کند، نمی‌تواند سریعا در طول لیف منتشر شود لذا به صورت موضعی عمل می‌نماید و باعث تشدید آسیب دیدگی در لیف پلی پروپیلن نسبت به سایر الیاف می‌شود. در این میان نقش روغن تکمیلی در کاهش آسیب دیدگی بسیار مهم است. و لذا کیفیت این ماده در کنترل آسیب دیدگی بسیار مؤثر است

بررسیهای انجام شده بر روی منحنی‌های استحکام ـ درصد ازدیاد طول بر روی نمونه‌های الیاف اولیه، نشان می‌دهد که منحنی الیاف مشابه منحنی لیفی است که از مکانیزم پارگی ductile پیروی می‌کند یعنی منحنی دارای نقطه تسلیم است و همچنین ازدیاد طول بالایی در اکثر نمونه‌ها، بعد از نقطه تسلیم وجود دارد [ ۱۵]. ولی منحنی های استحکام ـ درصد ازدیاد طول الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته در بخش دوم (بعد از نقطه تسلیم) دارای ازدیاد طول چندانی نیستند (شکل های ۷و ۸). به نظر می‌رسد در الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته مکانیزم پارگی تغییر کرده است و مکانیزم پارگی ductile دیگر مکانیزم غالب نباشد. مقایسه منحنی‌های استحکام ـ درصد ازدیاد طول الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته و الیاف اولیه هم حاکی از این است که الیاف در اثر حرارت به صورت شکننده در آمده‌اند و الیاف اولیه از مکانیزم پارگی ductile و الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته اغلب از مکانیزم پارگی brittle پیروی می‌کنند. همچنین قبلاً اشاره شد که قسمتی از بدنه در بعضی از نمونه‌های الیاف مورد مطالعه حالت شکننده به خود گرفته است (الیافی که بیشتر در معرض حرارت قرار گرفته‌اند) بنابراین با توجه به انتخاب تصادفی نمونه‌ها، رفتار مکانیک پارگی الیاف بصورت ductile یا brittle بستگی به شدت آسیب دیدگی الیاف دارد و در الیافی که تنش حرارتی بیشتری را تحمل کرده‌اند پارگی از نوع brittle می‌باشد.

## مطالعات میکروسکوپ الکترونی

بررسی سطح الیاف پلی پروپیلن توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) دلائل و شواهد قوی برای اثبات وقوع آسیب دیدگی را نشان می‌دهد. این مطالعات نشان می‌دهد که آسیب دیدگی‌های موضعی در سطح الیاف بصورت تغییر شکلهای فشاری، نقاط ذوب شده، پوسته دادن الیاف ، حفره و ترک بوجود آمده است. این مناطق می‌توانند منجر به تمرکز تنش و پارگی الیاف گردد. شکل‌های ۲ و ۳ تغییر شکل پلاستیک الیاف را بصورت صاف شدن نشان می‌دهند. شکل ۴ یک تغییر شکل در اثر آسیب دیدگی مکانیکی را نشان می‌دهد که احتمالا در اثر برخورد با سطح زننده بوجود آمده است. در شکل ۵ سطح الیاف آسیب دیده که پوسته داده است دیده می‌شود.

## تغییرات درصد بلورینگی

به منظور بررسی دقیق‌تر پدیده آسیب دیدگی و تأثیر آن بر ساختمان الیاف، درصد بلورینگی الیاف به کمک FTIR اندازه‌گیری شد.نتایج این جدول تغییر فاحشی را در درصد بلورینگی نشان نمی‌دهد ولی در جدول۲ برخی نمونه‌های الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته اختلاف زیادی نسبت به نمونهٔ الیاف اولیه نشان می‌دهد. نتایج تحقیقات قبلی حاکی از این است که عملیات حرارتی الیاف در دمای بالاتر از Tg سبب تغییر بلورینگی، آرایش یافتگی زنجیرها، خواص فیزیکی و قابلیت

رنگ‌پذیری پلیمرها می‌شود [۱۶]. ولی نتایج بدست آمده از این تحقیق اجازه نمی‌دهد که پیرامون این موضوع با قطعیت صحبت نمود.

## مدول الاستیسیته

جدول ۱ در برخی گروه‌ها مدول الاستیسیته دارای ضریب تغییرات بیشتری نسبت به گروه الیاف اولیه است و این حاکی از تغییرات در ساختمان فیزیکی می‌باشد. با توجه به اینکه قسمتی از الیاف در تماس بیشتر با حرارت است و در این بخشها به صورت دو جزئی در می‌آید پس منطقی به نظر می‌رسد که تغییرات مدول در گروه‌های الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته نسبت به الیاف اولیه هم بیشتر باشد. نتایج آزمون فرض t دو طرفه با فاصله اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهدکه جز در مورد نمونه BCR70 نسبت به الیاف اولیه و نمونه BCR70 نسبت به نمونه BCR65 در بقیه موارد تغییرات معنی داری در مدول دیده نمی‌شود.

## نتیجه گیری

در این پروژه به مطالعهٔ آسیب دیدگی الیاف پلی پروپیلن به عنوان یک لیف ترمو پلاستیک، در حین تماس با سطوح با حرارت بالا در ماشین آلات خط ریسندگی و مخصوصاً دو المان مهم زننده و چرخانه در ماشین ریسندگی چرخانه‌ای پرداخته شد و با توجه به نتایج حاصله و شواهد موجود، پدیده آسیب دیدگی مکانیکی و حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه می توان به نتایج زیر اشاره نمود:

۱ـ افت استحکام الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته نسبت به الیاف اولیه

۲ـ افت ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته نسبت به الیاف اولیه

۳ـ افت بالاتر درصد ازیاد طول تا حد پارگی نسبت به افت استحکام

۴ـ نمودارهای استحکام ـ درصد ازدیاد طول در الیاف اولیه دارای ازدیاد طول بعد از نقطه تسلیم‌اند در حالیکه در نمونه‌های الیاف تحت فرایند ریسندگی قرار گرفته این مسأله دیده نشده و نمودارها نشانگر تغییر حالت پارگی ductile به پارگی brittle می‌باشند.

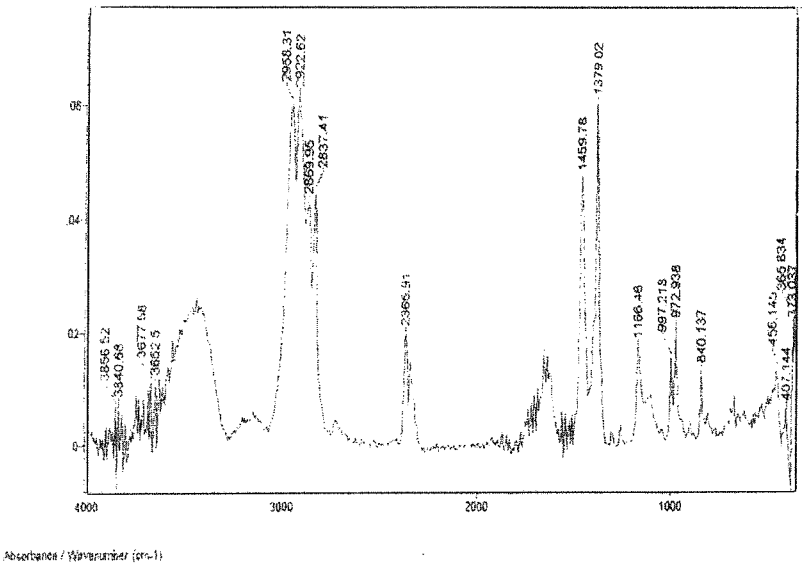
۵ـ تغییرات داخل لیفی به صورت افت درصد بلورینگی و مدول الاستیسیته در اثر آسیب دیدگی در برخی از الیاف در گروههای مورد مطالعه

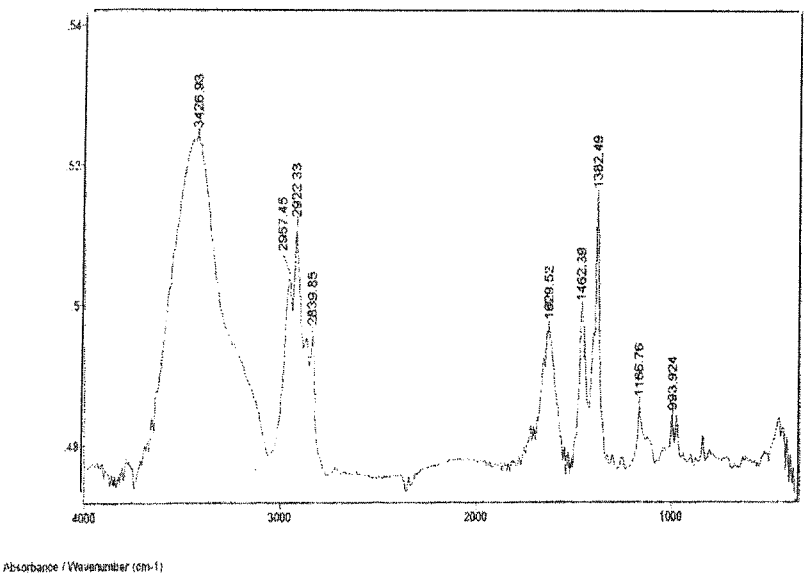
۶ـ نقاط ذوب شده، ترک وحفره، نواحی کنده شده از سطح و نواحی صاف شده در تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشانگر تغییر شکل پلاستیک در الیاف می‌باشد.

وقوع آسیب دیدگی طبق مطالعات انجام شده امری مسلم است و مشکلات ناشی از این امر هم متعدد می‌باشند که افت استحکام و ازدیاد طول تا حدپارگی و تغییر درصد بلورینگی برخی از این موارد می‌باشد. مخلوط کردن الیاف پلی پروپیلن با الیاف پنبه، یافتن سرعت مناسب در کلیه مراحل خط تولید و استفاده از مواد تکمیلی با کیفیت مرغوب تأثیر بسزایی در کنترل و کاهش آسیب دیدگی دارد.

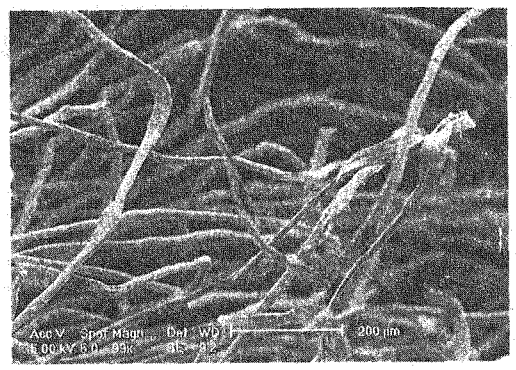
## تشکرو قدر دانی

این مقاله بخشی از یک طرح تحقیقاتی است که بودجه آن توسط معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان تامین گردیده است که بدینوسیله قدر دانی می‌گردد. همچنین از همفکری جناب آقای دکتر زادهوش و از همکاری آقایان مهندس شاکرمی و مهندس ابرقوئی نژاد تشکر و قدردانی می‌گردد.

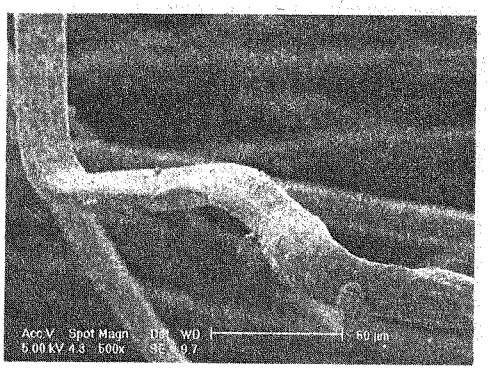


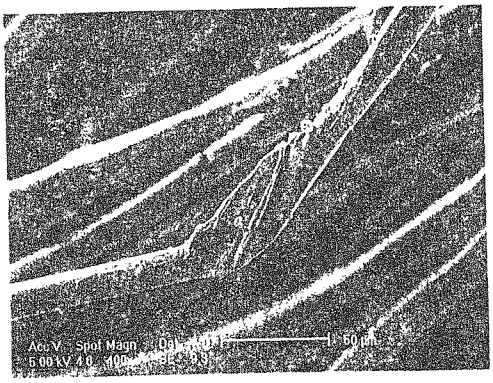

**شکل (۱) طیف های FTIR از ا لیاف جمع آوری شده از شیار چرخانه BCR70.**



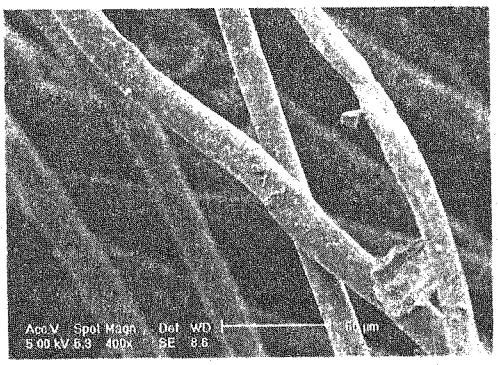

**شکل (۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی از ا لیاف پلی پروپیلن که دچار تغییر شکل پلاستیک بصورت صاف شدن الیاف شده‌اند.**



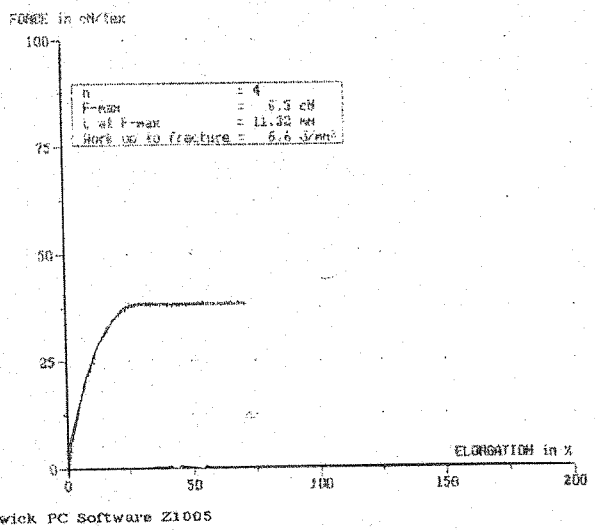

**شکل (۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی از ا لیاف پلی پروپیلن صاف شده با بزرگنمایی بالا.**



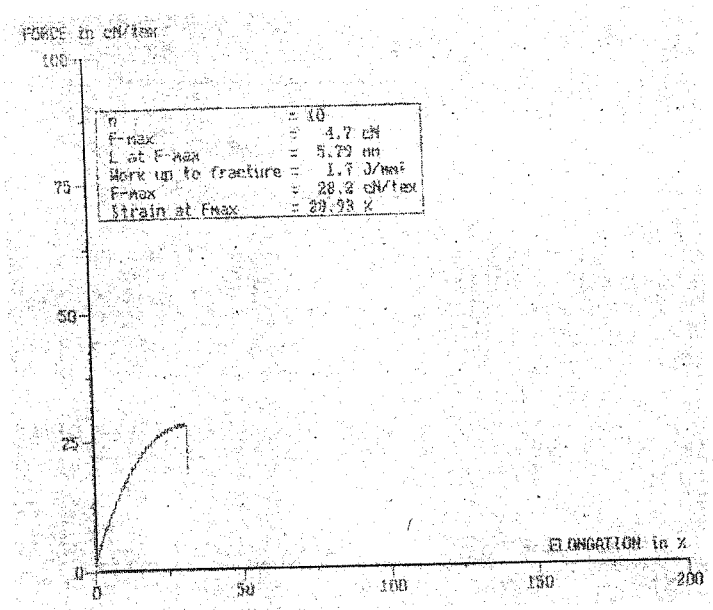
شکل (٤) تصویر میکروسکوپ الکترونی از ا لیاف پلی پروپیلن که دچار آسیب دیدگی مکانیکی شده‌اند. تغییر شکل پلاستیک در اثر برخورد با سطح دندانه اره‌ای زننده.



شکل (٥) تصویر میکروسکوپ الکترونی از کنده شدن مواد لیفی از سطح الیاف پلی پروپیلن آسیب دیده.




شکل (٧) منحنی استحکام ـ ازدیاد طول تاحد پارگی در نمونه‌های الیاف قبل از فرآیند ریسندگی.




شکل (٨) منحنی استحکام ـ ازدیاد طول تاحد پارگی در نمونه‌های ا لیاف بعد از فرآیند ریسندگی (نمونه ا لیاف جمع آوری شده از شیار چرخانه BCR7)

## مراجع


[۱] مجید جوهری و علی اکبر قره آغاجی ، *تکنولوژی ریسندگی چرخانه ای* ، چاپ اول ، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، تهران ، ۱۳۷۹ .

[2] C. Versluis, G. Krooshof and F.V. Gulick, "Thermal-Impact damage of polyamide and polyester yarns", *Textile Res.J.*, Vol.67, No.3, pp:211-216, 1997.

[3] S. M. Ishtiaque, "Fibre damage at higher rotor speeds", *Textile Res.J.*, Vol.58, No.3, pp:179-180, 1988.

[4] O. Pajgrt, B. Reichstadter and F. Sevik, *Production and application of polypropylene*, Elsevier, Amsterdam, 1983.

[5] D. W. Van Krevelen, *Properties of polymers*, Elsevier Scientific, Amsterdam, 1976.

[6] H. Ring , "Importance of spin finishes/avivage for manufacture and processing of man-made fibres", *Chemical fibre international*, Vol.49, pp:514-516, Dec 1999.

[7] W. Klein, Short staple spining series, Vol. 6, Man-Made fibre and their processing, *The Textile Institute*, pp:36-37, 1994.

[8] "Standard test method for tensile properties of single textile fibres", *ASTM*, 07.02., pp:144-153.

[9] R. P. Brown, *Handbook of plastices test method's*, Second edition, Longman scientific &Technical, Burnt Mill, Harlow, 1981.

[۱۰] پرویز نور پناه ، *فیزیک نساجی (ساختمان و خواص فیزیکی الیاف)* ، فائد ، تهران ،چاپ اول، ۱۳۶۴

[۱۱] حسین توانایی ، *فیزیک الیاف* ، ارکان اصفهان ، اصفهان ،چاپ اول، ۱۳۷۶ .

[12] S. Backer and S. Batra, "On the mechanics of bicomponent fibres", *Textile Res.J.* , Vol.41, No.12, pp: 1008-1012, 1971.

[13] K. R. Salhotra and R.Chattopadhyay, "Loss in fibre tenacity during separation in rotor spining", *Textile Res.J.*, Vol.54, No.3, pp:194-197,1984.

[14] K. R. Dharmadhikary, H. Davis, T.F. Gilmore and S.K. Batra, "Influence of fibre structure on properties of thermally point bonded polypropylene nonwovens", *Textile Res.J.*, Vol. 69, No.10, pp:725-734, 1999.

[15] J. W. S. Hearle, B. Lomas, W.D. Cooke and I.J. Duerden, *Fibre failure and wear of materials*, First published, Ellis Horwood, Chichester, England, 1989.

[16] M. Vanneste, V. Everaert and L. Ruys "Evaluation of PP fibre heatsetting of MDSC", *Chemical fibre international*, Vol. 50, Dec 2000.