



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی نساجی

بررسی امکان تولید نخ هایبالک پلی استر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی

احمد مقدم

اساتید راهنما  
دکتر محمد مرشد

۱۳۹۰

## چکیده

الیاف پلی استر به خاطر خواص مکانیکی مطلوب و قیمت مناسب، یکی از بهترین انتخاب‌ها برای پوشاک، رومبلی، فرش ماشینی، کفپوش، پارچه و منسوجات نبافته می باشد البته این الیاف ضعف هایی نیز دارد که باید با روشهای فیزیکی یا شیمیایی اصلاح شود. پیش از این مهمترین الیاف برای تولید نخ هایبالک، الیاف آکرلیک بود. اما این الیاف قیمت بالایی در مقایسه با الیاف پلی استر دارد، به گرما بسیار حساس است، ریسندهی آن مشکل است و به دلیل استفاده از DMF در فرایند ریسندهی آن، دارای مسایل زیست محیطی است. نخ های هایبالک موجود (اکرلیک و پلی استر) به صورت استیپل می باشند، در این تحقیق سعی شده تا با انجام اصلاحات فیزیکی روی نخ فیلامنتی نیمه آرایش یافته پلی استر، نخ هایبالک پلی استر فیلامنتی تولید شود، این نخ نسبت به نخهای استیپل هایبالک اکرلیک دارای مزیتهایی چون سرعت تولید بالا با حذف مراحل طولانی تولید نخ استیپل، مواد اولیه ارزانتر، هزینه تولید و استهلاک کمتر و فرایند راحت تر می باشد. ویژگیهای مهم نخ هایبالک فیلامنتی پلی استر تولید شده از قبیل خصوصیات فیزیکی، حجم، مقاومت حرارتی و تخلخل اندازه گیری شده است و با برخی نخ های دیگر مانند نخ هایبالک استیپل اکرلیک و نخ فانتزی بوکله مقایسه شده اند. برای تهیه نخ هایبالک فیلامنتی، نخ نیمه آرایش یافته پلی استر (POY) با نسبت کشش های ۱/۲ تا ۲/۲ با گامهای ۰/۲ و در دو دمای ۲۵ °C (دمای محیط) و دمای ۸۰ °C (محدوده دمای انتقال شیشه ای پلی استر) کشیده شده و به عنوان جزء جمع شونده استفاده شدند. از نخ FDY پلی استر که تحت عملیات تثبیت حرارتی قرار گرفته بود، به عنوان جزء غیر جمع شونده استفاده گردید سپس توسط یک جت تکسچره هوا جزء جمع شونده و غیر جمع شونده ترکیب شده و پس از طی مرحله جمع شدگی در هوای خشک و داغ، نخ های هایبالک فیلامنتی تشکیل شد. ترکیب بهینه دو جزء برای دستیابی به بیشترین حجم، ۵۰ درصد جزء جمع شونده و ۵۰ درصد جزء غیر جمع شونده می باشد. از مقایسه مشخصات فیزیکی به دست آمده برای نخ های کشیده شده در دو حالت سرد و گرم و با میزان کشش یکسان دیده می شود که در حالت کشش گرم، ازدیاد طول و کار تا حد پارگی کمتر و مدول بالاتر را به همراه داشته و برای کشش سرد جمع شدگی و حجم بیشتر به دست آمد. گرمای خشک بیشتری و آب جوش کمترین جمع شدگی را برای نخ فیلامنتی پلی استر به همراه دارد. دیده شد که با کاهش میزان کشش در دو حالت سرد و گرم، جمع شدگی افزایش می یابد. نخ هایبالک متشکل از جزء جمع شونده با میزان کشش سرد ۱/۲، دارای حجمی معادل ۱۱ برابر حجم نخ مصرفی و مقاومت حرارتی بیشتر نسبت به نخ هایبالک استیپل اکرلیک می باشد. شکل ظاهری نخ هایبالک تولید شده شباهت زیادی به نخ فانتزی بوکله دارد البته ماشین آلات مورد استفاده ساده تر و با استهلاک کمتر خواهند بود همچنین شرایط تولید آن آسانتر و هزینه تولید آن کمتر خواهد بود و می تواند جایگزین مناسبی برای نخ فانتزی بوکله باشد.

واژه های کلیدی: پلی استر، پلی اتیلن ترفتالات، اصلاحات فیزیکی، نخ هایبالک، جمع شدگی

## فصل اول

### مطالعات و تحقیقات

#### ۱-۱ مقدمه

الیاف مصنوعی، الیافی هستند که از طریق سنتز مواد پلیمری و با اجرای فرآیند های شیمیایی، ساختمان لیفی به آنها داده می شود و از آنجا که طبیعت در ساختن آنها نقشی ندارد، فرآیند تولید پلیمر و تولید لیف، در کنترل بشر است و می-توان الیافی با ظرافت، رنگ و خواص دلخواه تهیه کرد. پلی استر یکی از بزرگترین اختراعات بشر است که از سال ۱۹۴۷ به صورت صنعتی تولید می شود. پلی استر نام عمومی خانواده ای از مواد پلیمری است که وجه اشتراک تمام آنها حضور پیوندهای استری در ساختار شیمیایی مولکولهای تشکیل دهنده پلیمر است. پلی اتیلن ترفتالات (PET) یکی از معروفترین اعضای این خانواده می باشد. پلی استر بیشترین میزان تولید را در میان الیاف مصنوعی به خود اختصاص داده است. خواص مکانیکی مطلوب و قیمت مناسب منجر به پیشرفت موفقیت آمیز در تولید و به کارگیری پلی استر شده است. [۱]

اولین بار کاروترز در شرکت دوپونت و در اوایل دهه ۱۹۳۰ تحقیق بر روی پلی استرها را آغاز نمود و در آن زمان وی بر روی پلیمرهای تراکمی مطالعه می نمود و تقریباً تمام مواد مورد بررسی، ساختار آلیفاتیک داشتند. اگرچه وی موفق شد که به مواد بلوری و با وزن مولکولی بالا دست پیدا کند، ولی تمام آنها نقطه ذوب پایینی در حدود ۸۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد داشتند و به آسانی در حلالهای خشک شویی کلرینه شده حل می شدند. پلی استر که برای اولین بار توسط تیم کاروترز تولید شد یک رزین چسبناک و بدون قابلیت ریسندگی بود و این حالت به دلیل گلیکول اضافی بعد از واکنش اولیه بود که باعث می شد پلیمریزاسیون ناتمام باقی بماند. از اینرو این مواد برای استفاده در الیاف از همه لحاظ نامناسب بودند. به این دلیل کاروترز مطالعات خود را بر روی پلی آمیدهای آلیفاتیک مشابه متمرکز نمود و در نهایت این تحقیقات منجر به

کشف و عرضه تجاری نایلون شد.

دی‌اسیدهای آروماتیک مانند اسید ترفتالیک توسط کاروترز و همکارانش هرگز مورد آزمایش قرار نگرفتند. شاید علت این بود که در آن دوران اسید ترفتالیک یک ترکیب شیمیایی پیچیده و ناشناخته بود و تولید و خالص‌سازی آن نیز مساله‌ای کوچک و بی‌اهمیت بشمار نمی‌رفت. یکی از راه‌حلهای ممکن برای کاروترز، اکسیداسیون اسید پاراتولوئیک با پرمنگنات بود. البته وی اسید ترفتالیک با خلوص نامعلوم بدست آورد. اسید آزاد از حلالیت بسیار کمی برخوردار می‌باشد و کارکردن با آن دشوار است و کنترل فرایند آسان نمی‌باشد همچنین پلی‌استرهای تولید شده تغییر رنگ می‌دادند و وزن مولکولی پایینی داشتند.

سالها بعد، وینفیلد و دیکسون که در انگلستان در رابطه با سنتز پلی‌استر مشغول تحقیق بودند، توانستند پلی‌اتیلن ترفتالات با وزن مولکولی بالا را از واکنش اسید ترفتالیک با اتیلن گلایکول تهیه نمایند. تحقیقات آنها نشان داد که پلیمر جدید هم بیرنگ است و هم می‌توان از طریق ذوب‌ریسی آن را به لیاف تبدیل نمود که خواص نساجی بسیار مطلوبی دارند. شرکت انگلیسی ICI لیف پلی‌اتیلن ترفتالات را تحت نام تجاری تریلن و شرکت آمریکایی دوپونت لیف مذکور را تحت نام تجاری داکرون به بازار عرضه نمودند. یکی از دلایل موفقیت این لیاف می‌تواند ظهور یک روند در البسه زنان در آن زمان و عرضه دامنهایی با چینهای آکاردئونی باشد. خواص حفظ چین و پلیسه و نیز بشور-بیوش لیاف کوتاه پلی‌اتیلن ترفتالات و تولید نخ مخلوط پلی‌استر - پشم و پلی‌استر-پنبه، به سرعت شناخته شد و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. تولیدکنندگان دیگری نیز مانند هوخست در آلمان غربی و رودیاستا<sup>۱</sup> در فرانسه پس از اخذ حق امتیاز اقدام به تولید لیاف پلی‌اتیلن ترفتالات تحت نام تجاری ترویرا و ترگال نمودند. [۲]

لیاف پلی‌استر به خاطر خواص مکانیکی بسیار خوب و منحصر به فرد، شکل و ظاهری فوق‌العاده، و قیمت مناسب، یکی از اولین و بهترین انتخاب‌ها برای پوشاک می‌باشد و برای تولید سایر منسوجات مانند رومبلی، فرش ماشینی، کفپوش، پارچه و منسوجات نفاخته مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصارف غیر نساجی پلی‌استر برای بسته‌بندی‌ها با استحکام زیاد مانند بطری‌های نوشابه، آب معدنی، مواد شیمیایی و روغن، ظروف نگهداری مواد آرایشی و مواد غذایی می‌باشد که یکی از مهمترین جهش‌های صورت گرفته در صنعت تولید پلی‌استر می‌باشد. این گونه مصارف پلی‌استر در دهه‌ی ۷۰ در امریکا با استفاده از تکنولوژی پلیمریزاسیون در حالت جامد (SSP)<sup>۲</sup> و با حمایت شرکت‌های آمریکایی کوکا کولا و پپسی کولا شروع شد. از آن زمان به بعد بطریهای PET توانستند به آرامی بازار بسته‌بندی نوشیدنیهای ملایم را تسخیر کنند. [۲]

## ۱-۲ تکنولوژی تولید لیاف فیلامنتی پلی‌استر

لیاف فیلامنتی می‌تواند با آرایش یافتگی‌های مختلف تولید شود که در زیر انواع آنها توضیح داده شده است.  
(۱) لیاف پلی‌استر با نظم کم<sup>۳</sup> (LOY): این لیاف با سرعت‌های تا ۱۸۰۰ متر در دقیقه تولید می‌گردد. ساختار داخلی این

<sup>۱</sup> Rhodiaceta

<sup>۲</sup> Solid State Polymerization

<sup>۳</sup> low orientation yarn

الیاف دارای نظم قابل ملاحظه ای نبوده و بسیار آمورف می باشد و باید سریع بعد از تولید کشیده شوند.

(۲) الیاف پلی استر با نظم متوسط<sup>۱</sup> (MOY): این الیاف با سرعت بین ۱۸۰۰ تا ۲۸۰۰ متر در دقیقه تولید می گردد. این الیاف متبلور نبوده ولی دارای نظم بیشتری نسبت به نوع اولی می باشد.

(۳) الیاف پلی استر با نظم بخشی<sup>۲</sup> (POY): الیاف فیلامنتی POY یانیمه آرایش یافته جهت استفاده در صنایع پایین دستی به انجام یک مرحله عملیات تکمیلی نیاز دارند. این عملیات تکمیلی می تواند عملیات کشش باشد که در این حالت به آنها الیاف کاملاً کشیده شده<sup>۳</sup> (FDY) می گویند و یا به صورت کشش و تکسچرایزینگ همزمان باشد که در این صورت به آنها الیاف کشیده- تکسچره (DTY) می گویند.

(۴) الیاف پلی استر با نظم زیاد<sup>۴</sup> (HOY): این الیاف با سرعت بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر در دقیقه تولید می گردد. الیاف پلی استر HOY به صورت بخشی متبلور بوده و از نظم کلی بالایی برخوردار می باشد ولی آنها بصورت کاملاً کشیده شده نمی باشند.

(۵) الیاف پلی استر کاملاً کشیده شده<sup>۵</sup> (FOY): این الیاف با سرعت های بیش از ۶۰۰۰ متر در دقیقه تولید می گردند. از دیاد طول این نوع الیاف بین ۲۰ تا ۳۰ درصد می باشد. [۳]

الیاف POY یکی از مهمترین انواع الیاف یا محصولات میانی پلی استر می باشند که از دهه ۱۹۷۰ به بعد با افزایش سرعت برداشت قسمت پیچش الیاف، تولید آنها اقتصادی گردید. ساختار مرفولوژیکی این الیاف بین حالت آمورف و کاملاً آرایش یافته قرار دارد و معمولاً سرعت تولید آنها در محدوده ۳۶۰۰-۳۲۰۰ m/min می باشد. در شکل ۱-۱ به طور شماتیک پیچش یک واحد تولید الیاف POY مجهز به غلظک های گودت جفت نشان داده شده است.

در مقایسه با پلیمر مذاب کاملاً آمورف پلی اتیلن ترفتالات، وجود قسمت های آرایش یافته در الیاف به وسیله ضریب شکست مضاعف شناسایی می شود و حضور مقداری نواحی بلوری در ساختار الیاف موجب افزایش دانسیته و کاهش فضاهای آزاد بین مولکولی در الیاف نسبت به حالت کاملاً آمورف می شود. به دلیل وجود همین مقدار اندک نواحی بلوری و آرایش یافته در الیاف POY، حساسیت بویین های POY نسبت به شرایط محیطی تا حدودی کم می باشد و به همین دلیل می توان آنها را در فرایندهای تکمیلی پایین دستی نظیر تکسچرایزینگ مورد استفاده قرار داد. البته باید توجه داشت که بویین الیاف فیلامنت POY نسبت به شرایط انبار داری در دراز مدت بسیار حساس است و نمی توان آن را به مدت طولانی در معرض نور خورشید و با دمای بالا قرار داد.

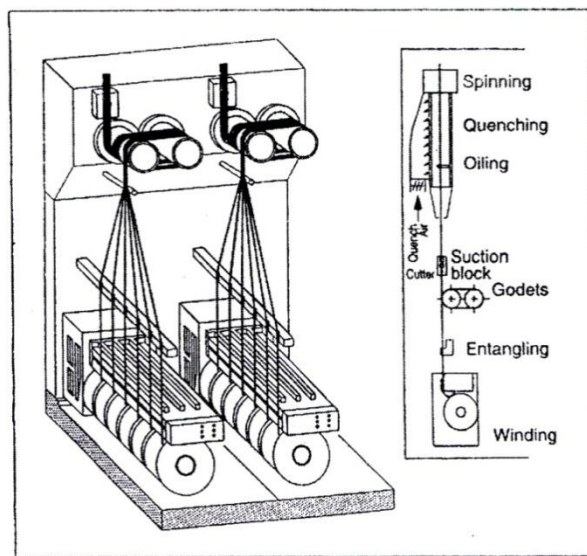
<sup>1</sup> medium orientation yarn

<sup>2</sup> partialy orientation yarn

<sup>3</sup> fully drawn yarn

<sup>4</sup> high orientation yarn

<sup>5</sup> fully orientation yarn



شکل ۱-۱- غلطک های گودت و سیستم پیچش الیاف POY [۳]

اگر چه خصوصیات مکانیکی پلی استرها برای استفاده در الیاف، فیلم ها و قطعات مهندسی مناسب می باشد، اما مشکلاتی در کاربرد پلی استرها وجود دارد. ساختار آبرگریز، متراکم و بسیار متبلور الیاف پلی استر باعث شده است سرعت نفوذ رنگزا در لیف بسیار کم شود. بر اساس طبیعت چربی دوست خود آلودگی های روغنی را به خود جذب می نماید. در دهه های اخیر تحقیقاتی در مورد بهبود فرآیند پذیری و خصوصیات الیاف پلی استر صورت گرفته است تا با انجام اصلاحات فیزیکی و شیمیایی روی الیاف پلی استر بتوان برخی ضعفهای این الیاف پر مصرف را پوشش داد. [۳]

### ۱-۳ پلی استرهای اصلاح شده

به طور کلی پیشرفت های اخیر در زمینه تولید الیاف مصنوعی به سه دسته اصلی تقسیم می شوند:

۱- تحقیقات در زمینه انواع جدید پلیمرها

۲- اصلاحات روی پلیمرهای مصنوعی موجود

۳- تحقیقات روی الیاف چند جزئی مانند الیاف دو جزئی<sup>۱</sup> و مخلوط های<sup>۲</sup> پلیمری

هم اکنون، الیاف پلی استر جایگاه اول را از نظر میزان تولیدات در میان الیاف مصنوعی به خود اختصاص داده است و سهم آن از کل تولید جهانی الیاف، همچنان رو به افزایش است. پلی استرهای اصلاح شده سهم مهمی از کل حجم تولیدات پلی استر را به خود اختصاص داده اند زیرا آنها خواص مطلوبتری در مقایسه با پلی اتیلن ترفتالات معمولی دارند. الیاف پلی اتیلن

<sup>1</sup> Bicomponent

<sup>2</sup> blend

ترفنالات دارای عیوبی چون جذب آب کم، تمایل زیاد به تشکیل پیل یا پرز، تمایل زیاد به جمع آوری الکتریسته ساکن و رنگرزی در دمای بالا می باشد. سهم الیاف تهیه شده از پلی استرها با کارایی صنعتی همچون الیاف مورد استفاده در ژئوتکستایل ها و کامپوزیتها رو به افزایش است. [۴]

هدف از تولید پلی استرهای اصلاح شده را می توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد:

۱. کسب خواص جدید
۲. بهبود بخشیدن به خواص مثبت
۳. کاهش خواص منفی

انواع مختلفی از پلی استرهای اصلاح شده در دست بررسی و در حال گسترش هستند و به صورت تجاری در دسترس هستند. روش های فیزیکی و شیمیایی جدیدی ابداع شده که پلی استرهای اصلاح شده زیادی را عرضه می کنند. مثالهای مهم در مورد این الیاف عبارت است از: الیاف پلی استر ضد پیل که استحکام پیل ها در آن کاهش یافته یا نوع دیگر که رنگرزی آن بهبود بخشیده شده و انواع دیگر عبارتند از الیاف با خاصیت آتش گیری کم، الیاف با خاصیت جمع آوری بار استاتیکی کم الیاف با جذب رطوبت بالا، الیاف با جمع شدگی زیاد و الیاف ضد چرک شدن.

اخیراً اصلاحات شیمیایی با اصلاحات مکانیکی تلفیق شده اند و این امر باعث شده که خصوصیات مطلوبتر و پروسه راحت تری داشته باشیم. پیشرفت در تولید منسوجات با کارایی بالا جهت مصارف نهایی خاص، برای مثال منسوجات هوشمند دسته سوم از الیاف هستند که خصوصیات در نظر گرفته شده را به خوبی پوشش می دهند.

لازم به ذکر است که به صورت کلی، اصلاح عیوب پلی استر و در عین حال نگهداری از خواص مطلوب آن به کمک یک روش امکان پذیر نبوده و به همین علت اصلاح پلی استر با توجه به هدف های مورد نظر صورت می پذیرد. اصلاح یک خاصیت ممکن است تضعیف خواص دیگر را به همراه داشته باشد. [۵]

#### ۴-۱ انواع روشهای اصلاح

- ۱ - روشهای اصلاح به کاربرده شده در زمینه آماده سازی پلیمر
- ۲ - روشهای اصلاح به کاربرده شده در زمینه آماده سازی الیاف
- ۳ - روشهای اصلاح به کاربرده شده در زمینه کاربردهای الیاف
- ۴ - روشهای ترکیبی اصلاحات [۶]

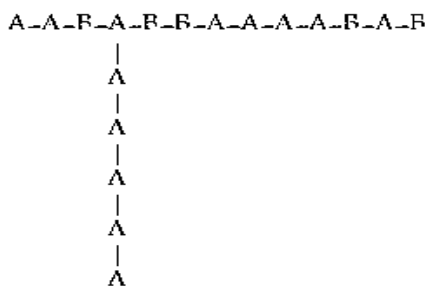
#### ۴-۱-۱ اصلاحات در زمینه آماده سازی پلیمر

یکی از معمول ترین روشهای اصلاح خصوصیات لیف نهایی، اصلاحات در زمینه آماده سازی پلیمر آن است که با این کار می توانیم طیف وسیعی از الیاف با خصوصیات متنوع به دست آوریم که شامل موارد زیر می شود:

- تغییر متوسط وزن مولکولی نسبی یا تغییر پراکندگی وزن مولکولی نسبی
- آماده سازی کوپلی استر
- افزودن مواد به پلیمر مذاب

بخش مهمی از اصلاح الیاف پلی استر توسط کوپلیمریزاسیون و از نوع تصادفی قابل انجام می باشد. این پلیمرها کم و بیش خصوصیات اصلی پلی اتیلن ترفتالات را نشان می دهند و اضافه نمودن کومونومر سبب ایجاد گستره وسیعی از خواص متنوع در آنها می شود. بلورینگی، دمای ذوب، دمای انتقال شیشه ای، عبور دهی گازها، استحکام مذاب، استحکام کشش، مدول ارتجاعی، رنگ پذیری و قابلیت آتش گیری از مهمترین خصوصیات است که با اضافه نمودن کومونومرها تغییر می کنند. با توجه به شرایط آماده سازی پروسه، می توان کوپلیمرهای تصادفی بالک، شاخه دار یا هر دو را داشت. همان گونه که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است اگر سمبل A یک واحد پلی اتیلن ترفتالات و سمبل B یک واحد دیگر پلیمری (مثل پلی استرهای دیگر، پلی اتیلن گلاکول، پلی آمید) را نشان دهد، می توان ساختار کوپلیمرها را به صورت زیر نشان داد.

- ساختار تصادفی -A-A-B-A-B-B-A-A-A-B-A-B-B
- ساختار بلوکی -B-B-B-B-A-A-A-A-A-A-B-B-B
- ساختار شاخه ای



شکل ۱-۲ ساختار کوپلیمرها [۳]

مهمترین پلی استرهای اصلاح شده، کوپلیمرهای تصادفی هستند که معمولاً با اضافه کردن یک کومونومر دو عامله مانند دی ال یا دی کربوکسیلیک اسید در طی فاز اول از مرحله استریفیکاسیون حاصل می شود، امکان دیگر اضافه کردن گلاکول استرهای مونومری به راکتور واکنش<sup>۱</sup> تراکمی می باشد. [۳]

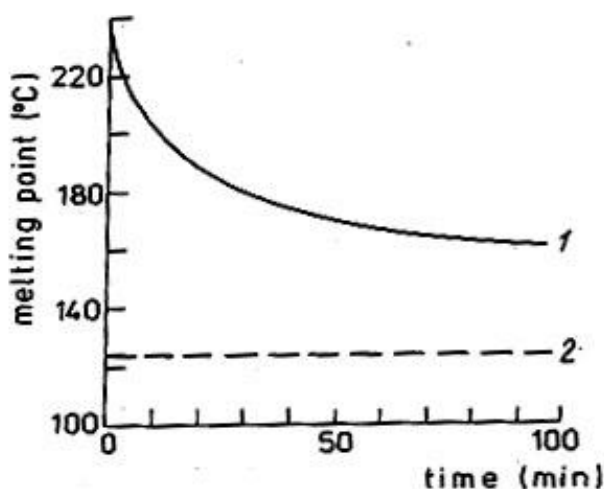
با توجه به روش آماده سازی استفاده شده، کوپلیمرهای بلوکی به دو گروه تقسیم می شوند گروه اول متعلق به کوپلیمرهایی است که از دو نوع پلیمر تشکیل شده اند که بین آنها هیچ مبادله ای صورت نمی گیرد و یک پلیمر باید در دو

<sup>1</sup> Reaction mixture



انتهای خودش گروههای عاملی داشته باشد که قادر به واکنش با گروههای انتهایی نوع دیگر پلیمر باشند، واکنش تراکمی دو پلیمر منجر به تشکیل یک کوپلیمر نوع اول می شود.

هنگامی که دو پلیمر میانی که واکنش های مبادله در آنها رخ می دهد، به صورت همزمان ذوب می شوند، ما کوپلیمرهای نوع دوم بلوکی را خواهیم داشت. هنگامی که زمان ذوب شدن طولانی شود، بلوکها به صورت تدریجی اندازه شان کاهش می یابد تا اینکه به کوپلیمرهای تصادفی تبدیل می شوند برای مثال این پروسه می تواند در شکل ۱-۳ نشان داده شود که چگونه نقطه ذوب کاهش می یابد.



شکل ۱-۳ کاهش نقطه ذوب در کوپلیمرهای بلوکی (۱ مربوط به کوپلیمر بلوکی و ۲ مربوط به کوپلیمر تصادفی) [۴]

در شکل ۱-۳ می بینیم که دمای ذوب کوپلیمرهای بلوکی، بیشتر از کوپلیمرهای تصادفی است. یک تفاوت مهم کوپلیمرهای بلوکی با تصادفی در این است که وقتی ترکیب اصلاح کننده افزایش می یابد، نقطه ذوب مواد تشکیل دهنده به مقدار کمی کاهش می یابد اما دمای انتقال شیشه ای<sup>۱</sup> یک کاهش چشم گیر خواهد داشت و این موضوع مبین آن است که کوپلیمرهای بلوکی خواص رنگ پذیرتری نسبت به کوپلیمرهای تصادفی نشان خواهند داد. از میان کوپلی استرهای بلوکی تنها از الیاف پلی استر اصلاح شده با پلی اتیلن گلایکول به صورت وسیع استقبال شده است. البته با به کارگیری موادی چون پلی اتیلن گلایکول<sup>۲</sup> می توان پلی استرهای الاستومریک تولید کرد که رنگرزی راحت تری با رنگرهای دیسپرس نسبت به پلی یورتانها دارند، اما چون این پلی استرها مقاومت حرارتی خوبی ندارند، کاربرد آنها

<sup>1</sup> Glass Transition Temperature

<sup>2</sup> Poly Ethylene Glycol

توسعه نیافته است. پلی آلکیلین گلايکول نیز به میزان اندکی در اصلاحات موقت به کار می رود که برای تولید لیاف خلل و فرج دار از آن استفاده می شود.

کوپلی استرهای شاخه دار شده معمولاً با اضافه کردن کومونومرهای چند عاملی (سه عامل یا چهار عاملی) تهیه می شوند. معمولاً این ها برای تولید لیاف با استحکام کم در مقابل پیل شدن استفاده می شوند، به عنوان مثال اصلاحات بر پایه پنتا اریتریتول<sup>۱</sup> است. اگر مقدار کمی پلیمر شاخه دار شود، ویسکوزیته مذاب پلیمر افزایش می یابد. بنابراین وزن مولکولی نسبی پلی اتیلن ترفتالات به میزان قابل توجهی می تواند کاهش یابد بدون اینکه به ریسندگی آسان آن لطمه ای وارد شود. یکی از مهمترین افزودنیها برای تولید کوپلی استرها ایزوفتالیک اسید خالص می باشد، ایزوفتالیک خالص<sup>۲</sup> که عمدتاً به عنوان یک کومونومر تولید پلی استر مورد استفاده قرار می گیرد، به وسیله اکسیداسیون متازایلین تولید می شود. از این کومونومر جهت تولید لیاف پلی استر جمع شونده و پلی استر گرید بطری استفاده می شود. [۴]

#### ۱-۴-۱ نکات مهم در کوپلیمریزاسیون

یکی از نکات مهم در کوپلیمریزاسیون، میزان محصولات جانبی مخصوصاً دی اتیلن گلايکول<sup>۳</sup> است. کوپلیمرها معمولاً نیاز به یکسری تغییرات تکنولوژیکی در آماده سازی پلیمر و ریسندگی آن دارند، حضور کومونومر می تواند اثر زیادی روی واکنش های جانبی بگذارد.

در مورد واکنش تراکمی پلی اتیلن ترفتالات در حالت عادی، ۲-۵ درصد دی اتیلن گلايکول تولید می شود و مانند دی ال های دیگر زنجیر اصلی را می سازند اما برای مثال یک افزایش در میزان دی اتیلن گلايکول در طی اصلاح با یک نمک سدیم، ۵- سولفو ایزوفتالیک اسید غیر مطلوب است زیرا ثباتهای نوری، گرمایی و در مقابل اکسیداسیون را کاهش می دهد.

اضافه کردن کومونومرها ممکن است بعضی اوقات نیاز ضروری به دوباره تعدیل کردن سیستم کاتالیزور داشته باشد، زیرا تغییرات روی نرخ واکنش های استریفیکاسیون و پلیمریزاسیون تأثیر می گذارد. بنابراین سیتلر<sup>۴</sup> و جالوویکی<sup>۵</sup> دریافتند که اضافه کردن دی کربوکسیلیک اسید با یک نرخ ثابت، سرعت ترانس استریفیکاسیون را کاهش می دهد و آن را به نصف می رساند. از طرف دیگر، اثر افزودن مونو کربوکسیلیک اسیدها قابل چشم پوشی است. [۵]

یک کومونومر، ویسکوزیته دینامیک مذاب، نرخ کریستالیزاسیون، ظرفیت آرایش یافتگی در طی پروسه ریسندگی را می تواند تغییر دهد و گاهی اوقات لازم است پس از افزودن کومونومر، مسائل مربوط به کشش و پروسه های دمایی مجدداً تنظیم شوند، همچنین تغییراتی در سطح و خصوصیات سطحی کوپلی استرها مشاهده می شود.

<sup>1</sup> Pentaerythritol

<sup>2</sup> IPA

<sup>3</sup> DEG

<sup>4</sup> Sittler

<sup>5</sup> jalovecky

### ۱-۴-۲ اصلاحات در زمینه الیاف

این نوع اصلاحات به صورت عمومی به عنوان اصلاحات فیزیکی بیان می شود. خصوصیات الیاف با تغییر شرایط ریسندهی، کشش و تکسچرایزینگ اصلاح می شود، روشهای اصلی شامل:

- ۱ - عوض کردن شکل روزنه اسپینرت
- ۲ - افزایش سرعت ریسندهی
- ۳ - تغییر درجه کشش و شرایط فرآیند
- ۴ - تغییر در قطر الیاف
- ۵ - تکسچره کردن
- ۶ - تولید الیاف دو جزئی [۳]

در برخی موارد دستیابی به یک هدف خاص، هم از طریق اصلاحات شیمیایی و هم از طریق اصلاحات مکانیکی ممکن است و یا ممکن است هر دو با هم در یک زمان رخ دهند، یکی از این موارد اصلاحات انجام شده روی الیاف پلی استر با کنترل جمع شدگی است که با انجام اصلاحات فیزیکی یا شیمیایی، الیاف پلی استر با جمع شوندگی بالا تولید می شود و از ترکیب آن با الیاف غیر جمع شونده، نخ هایبالک پلی استر به وجود می آید.

در تولید جزء جمع شونده نخ هایبالک پلی استر با استفاده از اصلاح فیزیکی، شخص همواره با سوال مهم انتخاب شرایط صحیح کشش برای رسیدن به لیف با خواص دلخواه روبرو است؛ این شرایط شامل عواملی چون نسبت کشش، سرعت کشش و دمای کشش است. به طور قطع این انتخاب تا حد زیادی تحت تأثیر و اغلب محدود به متغیرهای مواد مختلف و حالت نخ نوریس است؛ این متغیرها شامل متغیرهای ساختار شیمیایی (هوموپلیمر یا کوپلیمر)، متغیرهای پلیمریزاسیون (وزن مولکولی، توزیع وزن مولکولی، نظم فضایی)، متغیرهای مواد افزودنی (روان سازها، عوامل هسته گذار<sup>۱</sup> رنگ های اضافه شده)، متغیرهای قبل از فرایند (آرایش، سابقه حرارتی) و متغیرهای بلوری شدن (درصد بلور شدن، مورفولوژی) است.

### ۱-۵-۱ جمع شدگی

تکمیل های حرارتی یا تکمیل های حرارتی مرطوب، روی الیاف بشر ساخته می تواند موجب تغییر طول الیاف شوند. این تغییرات که بیشتر به صورت کاهش طول الیاف می باشد در مورد الیاف و نخ ها جمع شدگی<sup>۲</sup> نامیده می شود. با افزایش دما، در بالای دمای انتقال شیشه ای قسمتهای مختلف زنجیر مولکولی به صورت متحرک درمی آیند. تغییر در مناطق آمورف

<sup>1</sup> nucleating agents

<sup>2</sup> Shrinkage

از حالت آرایش یافته به حالت کمتر آرایش یافته و غیر آرایش یافته صورت می گیرد، بنابراین نیروهای درونی که قبلاً میخکوب شده بودند، آزاد می شوند و موجب تغییر طول الیاف می شوند.

برای جلوگیری از تغییرات ابعادی<sup>۱</sup> در پارچه یا کالای نساجی، دو طرف پارچه نگه داشته می شود و تحت عملیات تثبیت حرارتی قرار می گیرد، در این حالت نیروهای درونی به حداقل مقدار خود می رسند. فاکتورهای موثر روی جمع شدگی در شکل ۱-۴ نشان داده شده اند. [۷]

	Source							
Polymer Chemical constitution	Material							
<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td>Crystallinity</td> <td rowspan="2">←</td> </tr> <tr> <td>Orientation</td> </tr> </table>	}	Crystallinity	←	Orientation	Process			
}		Crystallinity		←				
	Orientation							
Technology (single stage)								
<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td>Temperature</td> <td rowspan="2">←</td> </tr> <tr> <td>Drawing</td> </tr> </table>	}	Temperature	←	Drawing				
}		Temperature		←				
	Drawing							
<table border="0"> <tr> <td rowspan="3">}</td> <td>Time</td> </tr> <tr> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>Heating rate</td> </tr> </table>	}	Time	Medium	Heating rate				
}		Time						
		Medium						
	Heating rate							
<table border="0"> <tr> <td rowspan="4">}</td> <td>Temperature</td> </tr> <tr> <td>Medium dry (air)</td> </tr> <tr> <td>moist (steam)</td> </tr> <tr> <td>wet (water)</td> </tr> <tr> <td>Time, Conditioning in medium</td> </tr> <tr> <td>Measuring rate</td> </tr> </table>	}	Temperature	Medium dry (air)	moist (steam)	wet (water)	Time, Conditioning in medium	Measuring rate	Treatment testing
}		Temperature						
		Medium dry (air)						
		moist (steam)						
	wet (water)							
Time, Conditioning in medium								
Measuring rate								

شکل ۱-۴ فاکتورهای تاثیر گذار روی جمع شدگی [۷]

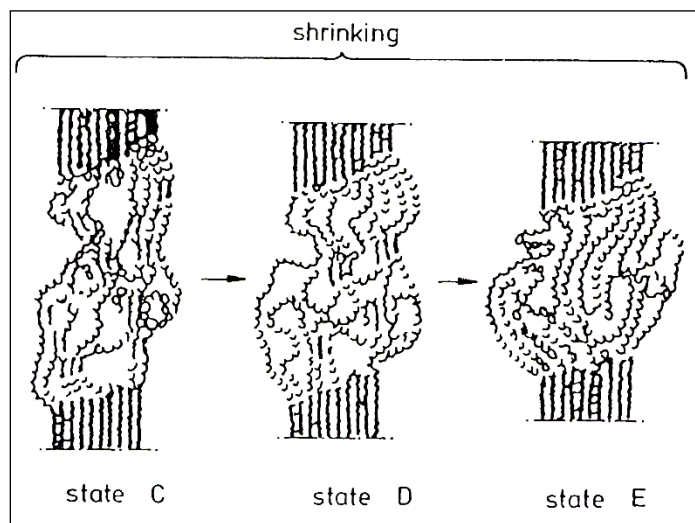
### ۱-۵-۲ مکانیسم جمع شدگی در الیاف و نخ

مکانیسم جمع شدگی می تواند براساس مدل های ساختاری که شامل زنجیره های مولکولی هستند، توضیح داده شود. در مورد الیاف پلی استر، می توان به مدل فیبریلی دو فازی متوسل شد. الیاف بشر ساخته ی کشیده شده، شامل فیبریلهایی است که این فیبریلها متشکل از مناطق کریستالی و آمورف به صورت متناوب هستند، یک زنجیر مولکولی می تواند در میان دو منطقه کریستالی و آمورف سرگردان باشد که در این صورت به آن مولکول گره خورده<sup>۲</sup> می گویند. یک زنجیر

<sup>۱</sup> Dimensional change

<sup>۲</sup> Tie molecule

مولکولی، ممکن است که خارج یا دوباره داخل یک منطقه کریستالی شود و یک چین خوردگی زنجیری تشکیل شود. شکل ۱-۵ برای توضیح جمع شدگی در ساختار مولکولی الیاف به کار میرود، وقتی یک پلیمر تا بالای دمای انتقال شیشه ای  $T_g$  گرما داده شود، مولکولهای مناطق آمورف بسیار متحرک می شوند، بنابراین نیروهایی که قبلاً در دماهای پایین تر قفل بوده اند و اجازه چنین حرکتی به آنها داده نمی شده، آزاد می شوند. همواره مولکولها، سعی در به دست آوردن کمترین انرژی (حالت پایدار) هستند و این منجر می شود که زنجیرها در هم پیچیده شوند به عبارت دیگر جمع شدگی اتفاق می افتد.



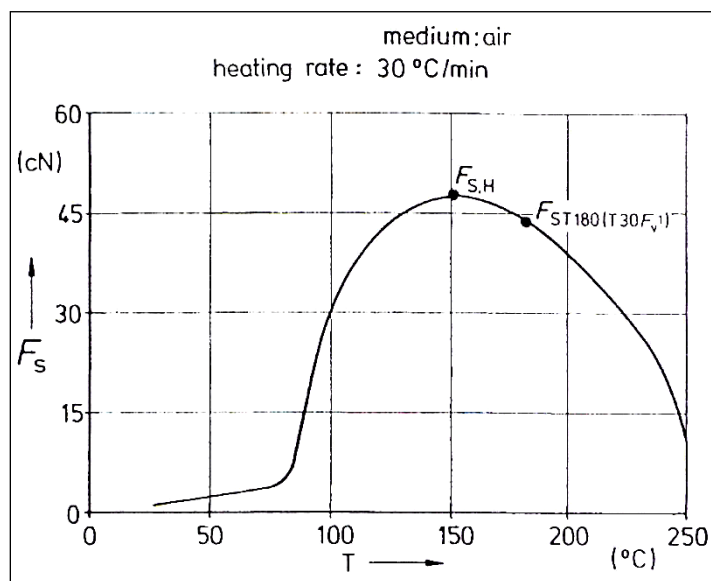
شکل ۱-۵ مراحل میانی کریستالینیت در طی جمع شدگی

C: حالتی که در بالای دمای  $T_g$  و پایین دمای  $T_{eff}$  هست و اجازه جمع شدگی داده می شود

D: حالتی که در  $T_{eff}$  جمع شدگی اتفاق می افتد

E: حالتی که در بالای  $T_{eff}$  و پایین تر از  $T_s$  است [V]

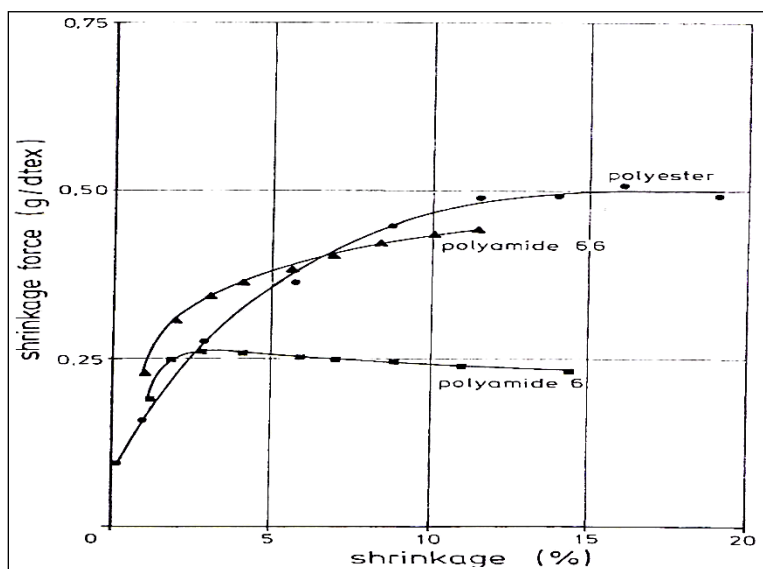
با افزایش دما، کریستالهایی که کمتر پایدار هستند، شروع به ذوب شدن می کنند و سپس نقاط پایدارتر شبکه، این کار را دنبال می کنند، در مناطق آمورف، زنجیرها کاملاً بی نظم شده و در هم پیچیده می شوند و جمع شدگی اتفاق می افتد (حالت E). افزایش دمای بیشتر موجب ذوب شدن باقی مناطق کریستالی (به جز کریستال مایع ها) می شود. [V]



شکل ۶-۱ نیروی جمع شدگی ( $F_s$ ) به عنوان یک تابع از دمای جمع شدگی برای پلی استر [۷]

همان طور که در شکل ۶-۱ دیده می شود، جمع شدگی و نیروی جمع شدگی در زیر دمای انتقال شیشه ای کمترین مقدار خود را دارد، با افزایش دما، به بیشترین مقدار خود یعنی  $F_{SH}$  می رسد که منطبق بر بیشترین غیر آرایش یافتگی در مناطق آمورف می باشد (شکل ۵-۱ حالت E). با افزایش بیشتر دما، به صورت پیوسته، نیروهای میخکوب شده بیشتری آزاد می شوند (تثبیت گرمایی). ذوب پیوسته مناطق کریستالی شروع می شود با این عمل، نقاط کور زنجیرهای مولکولی گره خورده به صورت متوالی ضعیف و ضعیف تر می شود، آنها به وسیله لیز خوردن خود را از موقعیت کریستالی خود بیرون می آورند و در مناطق مذاب به صورت کامل شناور می شوند تا اینکه نیروها به صفر برسد.

همان طور که در شکل ۷-۱ نشان داده شده است، نیروهای جمع شدگی یک جزء اطلاعاتی بسیار مهم برای توضیح جامع رفتار جمع شونده الیاف می باشند. در حالت بدون تنش و به صورت آزاد، نیروی جمع شونده به عنوان تابعی از جمع شدگی در هوای داغ و در دمای ثابت اندازه گیری شده است.



شکل ۷-۱ نیروهای جمع شونده به عنوان تابعی از جمع شدگی برای پلی استر و نایلون ۶ و نایلون ۶۶ [۷]

خط مماس به منحنی جمع شدگی (مدول جمع شدگی) می تواند تا حدودی رفتار جمع شدگی الیف را پیشگویی کند که تابعی از دما و تنش به کار برده روی آن در طی پروسه می باشد. مولکولهای با آرایش یافتگی بالا در مناطق آمورف یک لیف به طور گسترده ای می توانند مبین رفتار جمع شدگی آن باشند. برای بیان یک رابطه، علامت گذاری های زیر را انجام می دهیم:

$f_a$ : فاکتور آرایش یافتگی در مناطق آمورف

$V_c$ : میزان مناطق کریستالی

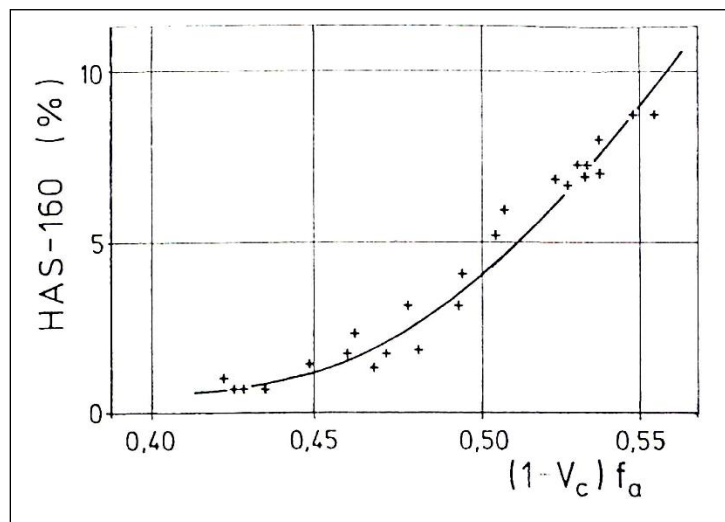
$(1-V_c)$ : میزان مناطق آمورف

جمع شدگی می تواند به صورت تابعی از فرمول ۱-۱، بیان شود:

فرمول ۱-۱

$$S \propto (1-V_c)f_a$$

برای مثال این تابع در شکل ۸-۱ برای پلی استر جمع شده در هوای داغ  $160^\circ\text{C}$  نشان داده شده است. [۸]

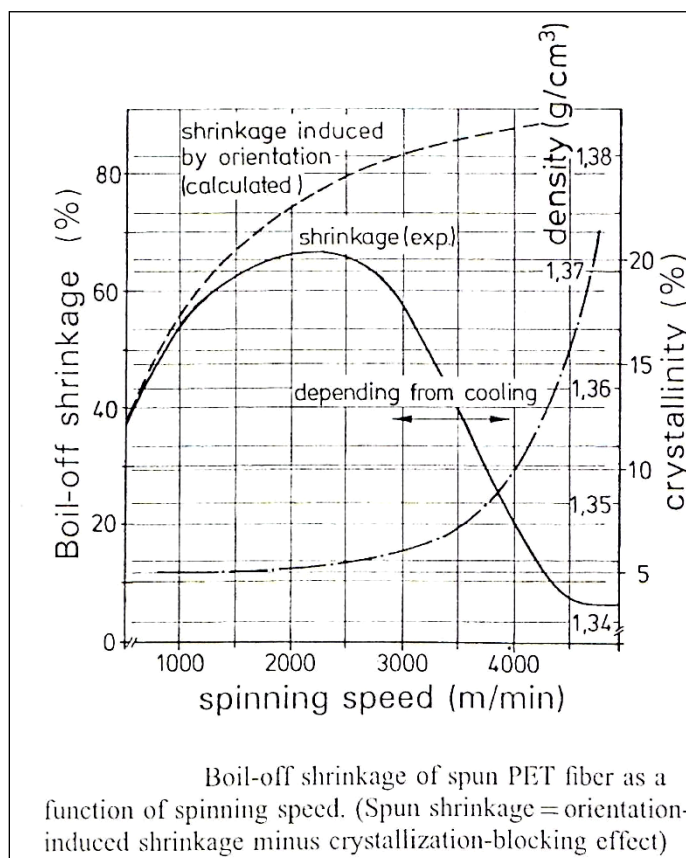


شکل ۸-۱ جمع شدگی در هوای داغ برای یک لیف در ۱۶۰ درجه به عنوان یک تابع از  $f_a(1-V_c)$  [۸]

بنابراین جمع شدگی تابعی از آرایش یافتگی مناطق آمورف و درجه کریستالینیتی می باشد. به طور کلی، جمع شدگی و آرایش یافتگی با افزایش تنش در پروسه، افزایش می یابد. بالعکس، افزایش دما در پروسه موجب کاهش جمع شدگی و افزایش در کریستالینیتی می شود.

با افزایش سرعت برداشت، آرایش یافتگی زنجیرهای مولکولی در مناطق آمورف بیشتر می شود و انتظار می رود جمع شدگی لیف افزایش یابد. همان طور که در شکل ۹-۱ دیده می شود جمع شدگی در سرعتهای ریسندگی  $2100-2200 \text{ m/min}$  به بیشترین مقدار خود می رسد اما در سرعت های بالاتر، کریستالینیتی افزایش می یابد و منجر به کاهش شدید جمع شدگی خواهد شد. [۹]





شکل ۹-۱ جمع شدگی لیف نوریس به عنوان یک تابع از سرعت ریسندهی [۹]

#### ۱-۶-۱ تکسچرایزینگ هوا

تا دهه ۱۹۵۰ نخ‌های فیلامنتی صاف پلی استر و نایلون برای تهیه تولیداتی از قبیل جوراب، پیراهن و لباس زیر استفاده می‌شدند. پوشش‌هایی که با این محصولات تهیه می‌شدند به علت خصوصیات نخ‌های فیلامنتی صاف برای مصرف کنندگان راحت نبودند. برای به دست آوردن پوشاک با راحتی پوشش نیاز بود که فیلامنت‌های میله ای شکل، تغییر فرم داده شوند. این کار با استفاده از دو روش تکسچرایزینگ و تولید نخ‌های حجیم امکان پذیر می‌باشد. [۱۰]

به فرآیند تکمیلی نخ‌های فیلامنتی صاف، تکسچرایزینگ گفته می‌شود. تکسچرایزینگ با تثبیت تغییر فرم در فیلامنت‌ها و در نتیجه حجیم ساختن و در صورت لزوم ایجاد خاصیت فریت در آنها توانست مشکل مذکور را حل کند. امروزه فیلامنت‌های نایلونی، پلی استر و پلی پروپیلن تکسچره شده، بخش قابل ملاحظه‌ای از نخ‌های مورد مصرف در جهان را به خود اختصاص می‌دهند. روش‌هایی مانند جعبه تراکمی، بافت و شکافت و چرخ دنده دیگر روش‌های تکسچره کردن نخ‌های فیلامنتی بودند که در کنار روش تاب و لبه برای تولید نخ مصرفی در تولید پوشاک به کار گرفته می‌شدند. امروزه

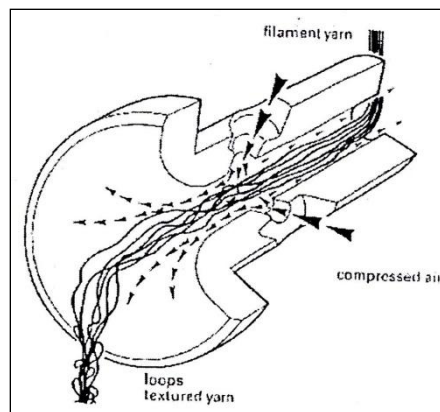
سه روش تکسچرایزینگ هوا، بی سی اف و تاب مجازی عمده ترین روش های به کار گرفته در صنعت تکسچرایزینگ هستند. [۱۰]

حق ثبت تکسچرایزینگ جت هوا متعلق به شرکت دوپون (سال ۱۹۵۲) می باشد. در همین زمان جت های مربوطه، موسوم به میرلان در کشور چک ساخته شدند. لازم به ذکر است که در ابتدا، صنعت تکسچره هوا برای نخهای ظریف اقتصادی نبود. نیاز به هوای فشرده زیاد و تاب دادن نخ قبل از تغذیه آن به جت هوا، از جمله مشکلات این صنعت بود. همچنین تولیدات جت های اولیه، ظاهر و خصوصیات یکنواختی نداشتند اما به واسطه داشتن ویژگی هایی مثل حجم، عدم ارتجاعیت، قدرت پوشش و تشابه زیاد با نخهای استیل، نخ های تکسچره هوا برای تولیداتی از قبیل منسوجات خانگی، تزئینات داخلی اتومبیل و دیگر کاربردها به کار می رفتند. حذف مرحله تاب اولیه در تکسچرایزینگ هوا، با تولید فیلامنت های نسبتاً ظریف ممکن گشت.

به طور کلی می توان گفت که امروزه نخ های تکسچره هوا در کاربردهایی مثل نخ خیاطی، پوشاک ورزشی، اسکی، راحتی، زنانه و مردانه، روکش مبلمان و صندلی اتومبیل، پارچه پرده ای و رومیزی کاربرد دارند. همچنین تولید برخی نخ های فانتزی از دیگر کاربردهای جت هوا می باشد.

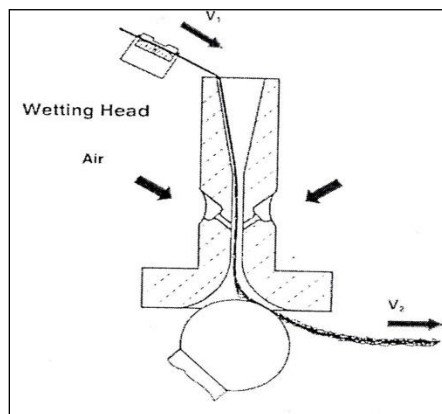
#### ۱-۶-۲ مکانیزم شکل گیری تغییر فرم در نخ های تکسچره هوا

تکسچرایزینگ هوا، خصوصیات نخ های ریسیده شده (استیل) را به نخ های فیلامنتی صاف می بخشد. در این سیستم نخ با تغذیه اضافه به جت تکسچره هوا تغذیه شده و تحت تأثیر جریان هوای متلاطم در کانال نخ جت قرار می گیرد. شکل ۱-۱۰ نمای شماتیکی این مکانیزم و تغییرات شکل گرفته در نخ را نشان می دهد.



شکل ۱-۱۰ نمای جت تکسچره هوا و تشکیل تغییر فرم [۱۰]

در این سیستم نخ با تغذیه اضافه به جت تکسچره هوا تغذیه شده و تحت تأثیر جریان هوای متلاطم در کانال نخ جت قرار می‌گیرد. بعد از ورود به جت، نخ به طرف جلو رانده شده و همزمان هوای دمیده شده بر آن فیلامنتها را از یکدیگر جدا کرده و آنها را به ارتعاش و می‌دارد. نهایتاً حلقه‌ها در طول فیلامنت‌های نخ به صورت نایکنواخت شکل گرفته و بخش‌های مستقیم فیلامنت‌ها با یکدیگر درگیر می‌شوند. این امر انقباض نخ و افزایش حجم آن را باعث می‌گردد. لازم به ذکر است که روش تکسچرایزینگ جت هوا به خاصیت ترموپلاستیکی نخ وابسته نبوده و اصطکاک حاصل از درگیری فیلامنت‌ها باعث ثبات نخ تولیدی می‌شود. جت هوا بین غلتک تغذیه و غلتک تحویل ماشین تکسچره هوا قرار می‌گیرد. به منطقه بین غلتک تغذیه و جت هوا منطقه تغذیه و به منطقه بین جت هوا و غلتک تحویل منطقه تحویل گفته می‌شود. با توجه به نقش مثبت مرطوب بودن نخ در تکسچرایزینگ هوا، امروزه نخ‌ها عمدتاً به صورت مرطوب تکسچره هوا می‌شوند. شکل ۱-۱۱ نمای شماتیک جت هوای تکسچره را همراه با واحد مرطوب کننده نخ و همچنین اهرم ضربه که روبروی خروجی جت قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۱ تشکیل تغییر فرم برای یک نخ فیلامنتی توسط جت هوای تکسچره [۱۰]

با تغییر در طراحی واحدهای تکسچره هوا، نتایج زیر حاصل شده است:

- افزایش سرعت تکسچرایزینگ از ۵۰ تا ۹۰۰ متر بر دقیقه

- کاهش مصرف هوای فشرده

- حذف لزوم تاب از نخ

- کیفیت بهتر نخ

- تولید نخ‌های فانتزی

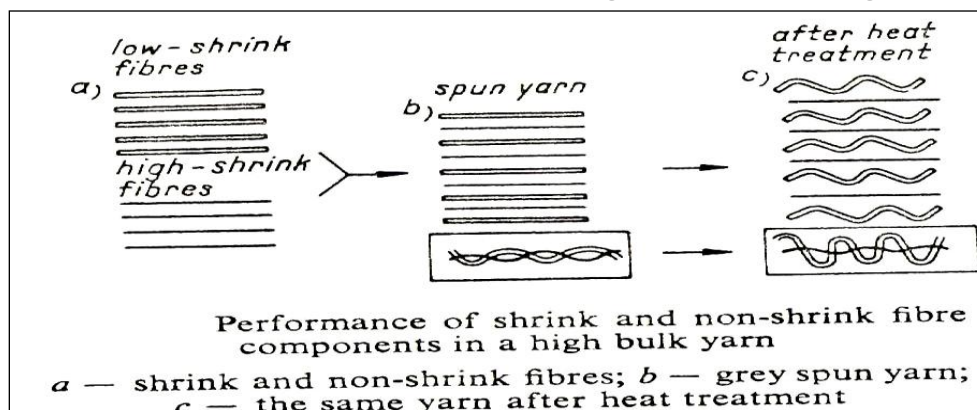
- تولید نخ‌های مرکب

در تکسچرایزینگ جت هوا، پارامترهایی چون نوع جت، اهرم ضربه، فرم طول و محیط کانال عبور نخ و هوا، تعداد کانال‌های هوا، زاویه بین کانال هوا عبور نخ از جمله متغیرهای ماشینی هستند و فشار هوا، تغذیه اضافه و سرعت تکسچرایزینگ متغیرهای فرآیند را تشکیل می‌دهند. با ازدیاد فشار هوا، سرعت جریان هوا بیشتر می‌شود. این امر منجر به فرکانس بیشتر حلقه‌ها و نهایتاً افزایش میزان تکسچرایزینگ می‌شود. با افزایش تغذیه اضافه، تواتر و طول حلقه‌ها زیاد خواهد شد. از طرفی ثبات نخ در اثر افزایش سرعت و افزایش طول حلقه‌ها کاهش می‌یابد. منظور از ثبات نخ تکسچره، مقاومت در مقابل ازدیاد طول غیر برگشت پذیر می‌باشد. نمره نخ، نمره فیلامنت، شکل سطح مقطع و روغن تکمیلی همراه متغیرهای مصالح را در تکسچرایزینگ هوا تشکیل می‌دهند. [۱۰]

### ۱-۷ نخ حجیم به دست آمده به واسطه جمع شدگی یک جزء لیف در نخ

تمایل به افزایش هر چه بیشتر حجم نخ، به این موضوع برمی‌گردد که هر چه حجم منسوج بالا رود میزان خصوصیات ایزولاسیون و قدرت پوشاندگی آن نیز افزایش می‌یابد. هر چه حجم منسوج بیشتر باشد، میزان هوای بیشتری بین آن قرار می‌گیرد، حتی اگر خیلی سبک هم باشند، آنها خصوصیات مقاومت حرارتی و زیر دست بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند. فاکتورهای زیادی وجود دارند که روی حجم نخ تأثیر می‌گذارند، از آن جمله می‌توان به نوع لیاف، وزن مخصوص آنها، تعداد یک جزء در یک نخ مرکب، طول، ظرافت، سطح مقطع لیاف، میزان تاب نخ والاسیستی و سطح آن اشاره کرد. اگر چه فاکتورهای اصلی در میزان حجم بودن نخ مربوط به شکل هندسی و آرایش یافتگی لیاف در نخ دارد. [۱۱]

بنیان اصلی نخ‌های حجیم به این موضوع برمی‌گردد که می‌توان حجم نخ‌ها توسط جمع شدگی یا انقباض یک جزء لیاف در ترکیب نخ افزایش یابد. همان‌طور که در شکل ۱-۱۲ دیده می‌شود، سیستم بر پایه جمع شدگی متفاوت اجزاء لیف در نخ می‌باشد. برای به دست آوردن میزان جمع شدگی دلخواه در نخ نهایی معمولاً جمع شدگی باید بیشتر از ۲۰٪ باشد. بنابراین مهم است که جزء غیر جمع شونده کاملاً پایدار باشد و در طول پروسه حرارتی هیچ جمع شدگی نداشته باشد و از طرف دیگر جزء جمع شونده، حداقل ۲۰٪ جمع شدگی داشته باشد. [۱۲]



شکل ۱-۱۲ نحوه تشکیل یک نخ حجیم [۱۲]