

# تأثیر توأم وزن مولکولی و دمای ریسندگی بر ساختار و خواص فیزیکی فیلامنتهای نو-ریس (as-spun) پلی پروپیلن ذوب ریسی شده

شهرام ارباب\*<sup>۱</sup>، محمد رضا محدث مجتهدی<sup>۲</sup>، احمد موسوی شوشتری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
۲. استادیار و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
۳. استادیار و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

وزن مولکولی، دمای ریسندگی و سرعت برداشت از عوامل بنیادین مؤثر بر ساختار و خواص فیزیکی الیاف ذوب ریسی شده می باشند. با استفاده از سه نوع گرانونول پلی پروپیلن دارای شاخص جریان مذاب ۱۲ و ۱۶ و ۲۰ گرم بر ده دقیقه، نخهای فیلامنتی با چگالی خطی یکسان در چهار سطح دمای ریسندگی و دو سرعت برداشت ۱۶۰۰ و ۲۸۰۰ متر بر دقیقه ریسیده شده و سپس برای آنالیز ساختاری تحت آزمایش تعیین ضریب شکست مضاعف، چگالی، استحکام، ازدیاد طول تا حد پارگی، مدول اولیه و جمع شدگی قرار گرفتند.

خواص فیزیکی فیلامنتهای پلی پروپیلن به مشخصه های ساختاری آنها مانند آرایش مولکولی و بلورینگی وابسته است. بطوریکه حضور جزئی زنجیره های کشیده شده بین بلورها و آرایش پایین محدوده های آمورف منجر به کاهش جمع شدگی و تنش پایین در نقطه تسلیم فیلامنتها می گردد.

نتایج آزمایشات نشان داد که چگالی و ضریب شکست مضاعف الیاف تولید شده در سرعت برداشت بیشتر در سطح بالاتری قرار می گیرد. اگر چه افزایش دمای ریسندگی سبب کاهش ویسکوزیته مذاب و تنش اعمالی بر لیف در جهت عدم آرایش یافتگی می گردد اما بنظر می رسد برای کلیه وزن مولکولها دمای ریسندگی خاصی وجود دارد که در آن علیرغم کاهش ویسکوزیته مذاب، آزادی حرکت زنجیره های مولکولی به بهترین وجه در جهت آرایش الیاف، بلورینگی و بهبود خواص فیزیکی آن تاثیر گذار است. در بررسی های انجام گرفته مشخص شد که خواص مکانیکی فیلامنتها تحت تاثیر آرایش ساختاری آن قرار دارد.

**کلمات کلیدی:** پلی پروپیلن، وزن مولکولی، دمای ریسندگی، سرعت تولید، ساختار الیاف، خواص فیزیکی

## مقدمه:

امروزه استفاده از پلی پروپیلن در زمینه های نساجی بیش از سایر کاربردهای آن متداول شده است. میزان مصرف پلی پروپیلن در کاربردهای نساجی از ۰/۹۶ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به ۱/۷ میلیون تن در سال ۱۹۹۹ رسیده که حدود ۷۷٪، افزایش را نشان می دهد [۱]. موفقیت پلی پروپیلن بخاطر برخی خواص ویژه آن مانند: دانسیته کم، مقاومت شیمیایی، کشش سطحی کم و ... می باشد. در مقابل برخی خصوصیات مانند نقطه ذوب پائین، ثبات نوری کم، رنگ پذیری کم، حالت ارتجاعی کم و ... بعنوان خواص نامطلوب محسوب می شوند [۲]. محققین بسیاری بر روی خواص فیزیکی و پارامترهای ساختاری الیاف و ارتباط آنها با متغیرهای ریسندگی تحقیق کرده اند. Capuccio [۳] دریافت که ساختار و خواص مکانیکی الیاف پلی پروپیلن نو-ریس از شرایط ریسندگی تاثیر می پذیرند. Sheehan و

Cole [۴] و Wang [۵] مشخص کردند که شرایط ریسندگی می تواند ساختار را به سمت پارا کریستالی هدایت کند. Spruiell [۶] سینتیک بلورینگی را در مرحله سرد کردن الیاف بررسی کرد و دریافت که ارتباط قوی بین آرایش یافتگی و تنش خط ریسندگی وجود دارد. Nadella [۷] نشان داد که وزن مولکولیهای بالاتر و دمای ریسندگی پائین تر باعث افزایش تنش و آرایش یافتگی می شود. خواص مکانیکی الیاف بوسیله آرایش یافتگی و بخصوص آرایش یافتگی نواحی آمورف تعیین می شوند [۸]. Prost [۹] تاثیر وزن مولکولی بر زمان افت (relaxation time) و ویسکوزیته از دید طولی را بررسی کرد. تثبیت حرارتی، تغییر ساختار طی فرایند حرارتی و تاثیر آن بر خواص فیزیکی و تثبیت ابعادی بوسیله Ahmed [۱۰] بطور وسیعی بررسی شده است. در این مطالعه، الیاف نو-ریس پلی پروپیلن با دانسیته خطی یکسان با استفاده از گرانولهای مختلف تحت دو سرعت ریسندگی و چهار سطح دمای ریسندگی تولید شدند. خواص فیزیکی و ساختاری الیاف تعیین و با هم مقایسه شدند.

### تجربیات:

برای تولید نمونه ها از یک واحد ذوب ریزی نیمه صنعتی ساخت شرکت Automatic آلمان مستقر در دانشکده مهندسی نساجی استفاده شد. دستگاه فوق شامل یک اکسترودر به قطر ۳۵ میلیمتر و نسبت طول به قطر (L/D) ۲۵ می باشد. از پمپ ریسندگی دو جریانه به ظرفیت ۳/۳ cc/rev برای انتقال پلیمر مذاب به دو بلوک ریسندگی شامل رشته سازهایی با قطر ۰/۲۵ میلیمتر و تعداد روزنه ۳۶ استفاده شد. این پلیمرها با MFI ۱۲، ۱۶ و ۲۰ گرم بر ده دقیقه می باشند. شرایط ریسندگی در جدول (۱) نشان داده شده است. سرعت برداشت و سرعت خروج پلیمر بطور همزمان بگونه ای تغییر داده شد تا الیاف با چگالی خطی یکسان و ثابت تولید شود.

جدول (۱) - شرایط ریسندگی

پلیمر	(°C)	(m/min)	(Tex)
MFI 12	— — —	—	۱۱/۵_۱۲/۳
MFI 16	— —		
MFI 20	— — —		

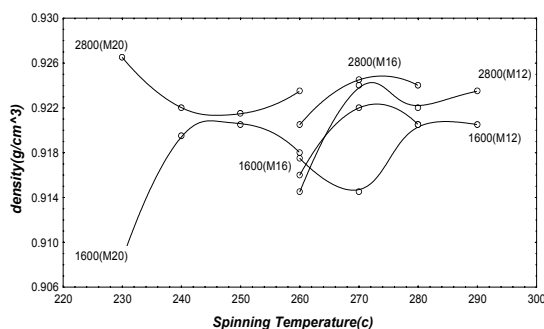
ستون دانسیته و میکروسکوپ تداخلی بترتیب برای اندازه گیری دانسیته و ضریب شکست مضاعف الیاف استفاده شده است. برای تعیین خواص مکانیکی الیاف از اینسترون استفاده شده است. جمع شدگی الیاف بوسیله اندازه گیری طول اولیه الیاف و تعیین طول الیاف پس از حرارت دادن به الیاف در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه انجام شده است.

### نتیجه گیری و بحث :

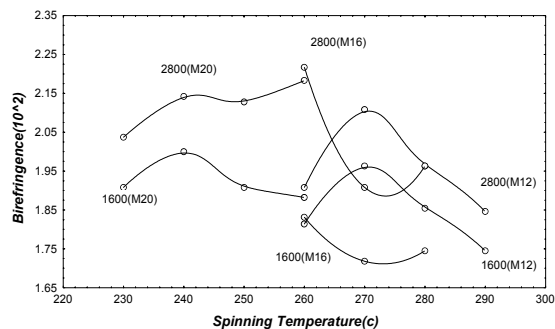
در نمودار (۱) تغییرات ضریب شکست مضاعف فیلامنتهای M20, M16, M12 بر حسب دمای ریسندگی مقایسه شده اند. همانطور که مشاهده می شود ضریب شکست مضاعف فیلامنتهای M20 در هر دو سرعت برداشت بالاتر از دو پلیمر دیگر قرار داشته ولی ضریب شکست مضاعف پلیمرهای M16, M12 در سطوح دمایی مورد آزمایش چندان قابل تفکیک نمی باشد. به نظر می رسد کوتاهتر بودن زنجیرهای مولکولی در پلیمر M20 باعث شده است که تحت شرایط ریسندگی بکار رفته زنجیرها راحتتر نسبت به هم حرکت کرده و آرایش یافتگی بیشتری حاصل گردیده است همچنین ممکن است بالا بودن وزن مولکولی تنها عامل افزایش ضریب شکست مضاعف نبوده و عوامل دیگری مانند توزیع وزن مولکولی به پیشنهاد Lu [۱۱] در ایجاد چنین رفتاری مؤثر باشد. پلیمر M12 در هر دو سرعت برداشت و پلیمر M20 در سرعت برداشت ۱۶۰۰ متر بر دقیقه، ضریب شکست مضاعف الیاف پس از رسیدن به نقطه ماکزیمم، سیر نزولی نشان داده اند که می توان گفت که اگر چه افزایش دمای ریسندگی سبب کاهش ویسکوزیته مذاب و کاهش تنش اعمالی بر لیف که تعیین کننده آرایش یافتگی الیاف است، می شود، ویسکوزیته مذاب بالاتر می تواند در محدوده ای بعنوان عامل تاثیرگذار بوده و مانع آزادی حرکت زنجیرهای مولکولی و عدم موازی شدن و آرایش یافتگی زنجیرها شود. با افزایش دمای ریسندگی، آزادی حرکت زنجیرها و

آرایش در جهت محور لیف افزایش یافته و در نتیجه الیاف ضریب شکست مضاعف بیشتری را از خود نشان می دهند. افزایش بیشتر دمای ریسندگی موجب کاهش ویسکوزیته مذاب و افزایش بیش از حد آزادی حرکت زنجیرها شده و تاثیر معکوسی بر موازی شدن و آرایش یافتگی زنجیره های مولکولی می گذارد. نتایج فوق با تحقیقات Wang [۵] در خصوص اثر دما روی ساختار مطابقت دارد.

نمودار (۲) مقایسه بین چگالی و بلورینگی فیلامنتهای M20, M16, M12 را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود اگر چه افزایش وزن مولکولی باعث افزایش ویسکوزیته مذاب و تنش اعمالی در جهت محور لیف شده و تنش وارده موجب ترویج حرکت مولکولی در جهت بلورینگی می گردد با این حال عدم تفاوت فاحش بین چگالی و بلورینگی سه وزن مولکولی مورد آزمایش نشان می دهد که وزن مولکولی تنها عامل افزایش بلورینگی نبوده و متغیرهای دیگری مانند توزیع وزن مولکولی بر آن مؤثرند. در این نمودار بالا بودن بلورینگی M20 مشاهده نمی شود. بطور کلی تمامی نمونه ها در هر دو سرعت برداشت بجز پلیمر M20 در سرعت برداشت ۲۸۰۰ متر بر دقیقه، در یک دمای خاص، پس از رسیدن به یک مقدار حداکثر، سیر نزولی نشان داده اند. اگرچه طبق تحقیقات Shimizu [۱۲] افزایش دمای ریسندگی توأم با کاهش تنش ریسندگی و کاهش چگالی می باشد ولی در خصوص دمای ۲۶۰ درجه سانتیگراد می توان گفت که آرایش کمتر زنجیره های مولکولی در این دما (با توجه به ضریب شکست مضاعف) موجب جلوگیری از ایجاد ساختاری مناسب برای وقوع بلورینگی می شود.



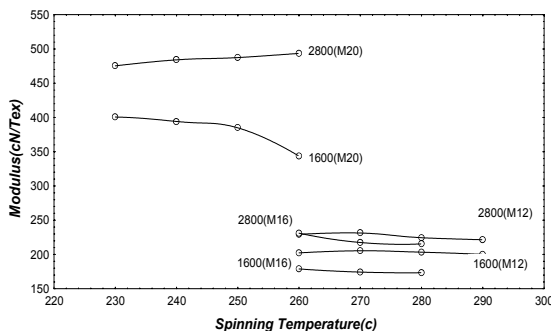
نمودار (۲) چگالی الیاف بر حسب دمای ریسندگی در دو سرعت برداشت



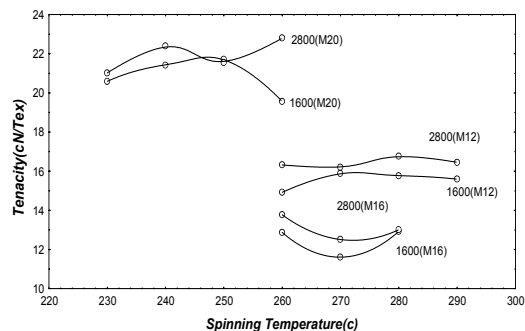
نمودار (۱) ضرایب شکست الیاف بر حسب دمای ریسندگی در دو سرعت برداشت

نمودار (۳) مقایسه بین استحکام فیلامنتهای M20, M16, M12 را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود استحکام نمونه های M20 بیشتر از M12 و هر دو این نمونه ها بیش از M16 می باشد. اگر چه افزایش وزن مولکولی سبب بلندتر شدن زنجیره های مولکولی و لذا ایجاد سطح تماس و بهم پیوستگی بیشتری بین زنجیره ها می شود ولی طبق تحقیقات Lu [۱۱] که روی پلیمرهایی با شاخص مذاب ۱۲ و ۳۵ انجام شد مشخص شد که وزن مولکولی تنها عامل تعیین کننده استحکام الیاف نبوده بلکه در دو نمونه مورد آزمایش، توزیع باریک تر وزن مولکولی پلیمرها شاخص مذاب ۳۵ سبب ایجاد استحکام بیشتری شده است. لذا در اینجا هم می توان چنین استدلال کرد که عوامل دیگری علاوه بر وزن مولکولی مانند توزیع وزن مولکولی بر رفتار مکانیکی الیاف مؤثر است. بطور کلی با افزایش سرعت برداشت، آرایش مولکولی و متعاقباً استحکام افزایش می یابد. استحکام الیاف در پلیمر M12 در هر دو سرعت برداشت و پلیمر M20 در سرعت برداشت ۱۶۰۰ متر بر دقیقه، در درجه حرارت خاصی پس از رسیدن به یک حداکثر، سیر نزولی نشان داده اند که این موضوع با نتایج ضرایب شکست مضاعف هماهنگی دارد.

مدول الیاف تحت تاثیر بلورینگی و آرایش مولکولی قرار دارد. موازی شدن و ازدیاد طول زنجیره های مولکولی در طول محور لیف در اثر افزایش سرعت برداشت یا تشدید تنش اعمالی توسط هر عامل دیگر بر خواص مکانیکی مؤثر است. نمودار (۴) مقایسه بین مدول فیلامنتهای M20, M16, M12 را نشان می دهد همانطور که قابل مشاهده است مدول الیاف M20 بیشتر از M12 و هر دو بیشتر از M16 می باشند که شاید مربوط به ایجاد بلور بزرگتر در فیلامنت برای پلیمر M20 باشد.

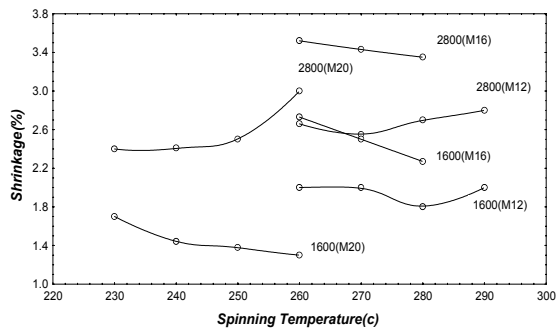


نمودار (۴) مدول اولیه الیاف بر حسب دمای ریسندگی در دو سرعت برداشت

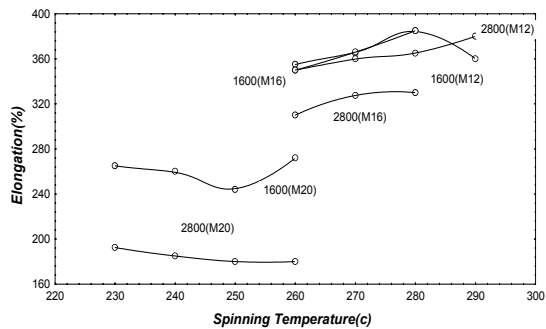


نمودار (۳) استحکام الیاف بر حسب دمای ریسندگی در دو سرعت برداشت

نمودار (۵) مقایسه بین ازدیاد طول الیاف M20, M16, M12 را نشان میدهد. همانطور که مشاهده می شود ازدیاد طول تا حد پارگی کمتر از دو پلیمر M12, M16 بوده و تفاوت ازدیاد طول تا حد پارگی M12, M16 قابل تفکیک نمی باشد و بیشتر بودن ضریب شکست مضاعف الیاف تولید شده از پلیمر M20 در مقایسه با M12, M16 دلیل اصلی این اختلاف می تواند باشد. عملیات حرارتی موجب آزاد شدن تنشهای داخلی و به تعادل رسیدن ولذا کاهش آرایش یافتگی و تبلور می گردد. معمولاً افزایش آرایش یافتگی موجب افزایش جمع شدگی و افزایش بلورینگی عاملی در جهت کاهش جمع شدگی می باشد. نمودار (۶) مقایسه بین جمع شدگی الیاف M12, M16, M20 را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود درصد جمع شدگی فیلامنتهای M16 بیشتر از M12 و هر دو بیشتر از M20 می باشد که با توجه به نمودار ضریب شکست مضاعف و چگالی فیلامنتها میتوان به تاثیر آرایش یافتگی و تا حدی تبلور به جمع شدگی الیاف پی برد. به طور کلی با افزایش سرعت برداشت تنش اعمالی افزایش یافته و موجب آرایش یافتگی شده و در نتیجه سبب افزایش جمع شدگی می شود.



نمودار (۶) جمع شدگی الیاف بر حسب دمای ریسندگی در دو سرعت برداشت



نمودار (۵) ازدیاد طول تا حد پارگی الیاف بر حسب دمای ریسندگی در دو سرعت برداشت

## نتیجه گیری کلی:

بر اساس نتایج بدست آمده توسط محققان دیگر [۵،۱۰،۱۱] ، به طور کلی در کلیه وزن مولکولها افزایش دمای ریسندگی در هر سرعت برداشت سبب کاهش ویسکوزیته مذاب و در پی آن کاهش تنش اعمالی بر لیف می گردد . اما تنش اعمالی تنها عامل مؤثر بر آرایش یافتگی و بلورینگی الیاف نمی باشد . بطوریکه در مورد برخی از نمونه ها، ضریب شکست مضاعف و بلورینگی الیاف در درجه حرارت خاصی پس از رسیدن به یک ماکزیمم، سیر نزولی می یابند . در دمای فوق ویسکوزیته مذاب بهترین شرایط را دارا بوده و افزایش یا کاهش ویسکوزیته مذاب توسط دمای ریسندگی ، سبب افزایش یا کاهش آزادی حرکت زنجیره ها ی مولکولی شده که در هر دو مورد بر آرایش یافتگی تاثیر منفی می گذارد . بطور کلی برای کلیه وزن مولکولها دمای خاصی وجود دارد که در آن اثر کاهش ویسکوزیته و تنش اعمالی به بهترین وجه در آرایش الیاف و بهبود خواص آن تاثیر گذار است. از مقایسه آزمایشها مشخص می شود که پلیمر M20 علیرغم کمتر بودن وزن مولکولی از ساختار توسعه یافته ای برخوردار بوده و از استحکام بالاتری برخوردار است. لذا وزن مولکولی تنها عامل مؤثر بر ساختار الیاف نبوده و عوامل دیگری مانند توزیع وزن مولکولی، دمای ریسندگی و سرعت برداشت نیز بر آن مؤثرند.

## مراجع:

1. J. P. Peckstadt, Chemical Fibers International, Vol 05, 412, 2000.
2. M. Van Parys, Chemical Fibers International, Vol 48, 317, 1998.
3. V. Capuccio, A. Coen, F. Bertinoti and W. Conti, Chim End, Vol 44, 463, 1962.
4. W. C. Sheehan and T. B. Cole, J. Appl. Polym. Sci, Vol 8, 2359, 1984.
5. I. C. Wang, M. G. Dobb and J. G. Tomka, J. Text. Institute, 86, 1995.
6. J. E. Spruiell and J. L. White, Appl. Polym. Symp, Vol 27, 121, 1975.
7. H. P. Nadella, H. M. Henson, J. E. Spruiell and J. L. White, J. Appl. Poly. Sci, Vol 21, 3003, 1997.
8. R. J. Samules, "Structured Polymer Properties" , Wiley, New York, 1974.
9. C. Prost and G. Nemoz, Macromol Chem, Macromol. Symp, Vol 23 , 161, 1989.
10. M. Ahmad, " Polypropylene Fibers, Science and Technology", Elsevier, Amsterdam, 1982.
11. F. M. Lu and J. E. Spruiell , J. Appl. Polym. Sci, Vol 34, 1541, 1987.
12. J. Shimizu, C. Jinan, T. Kikutani and A. Takaka, J. Appl. Polym. Sci, Vol 37, 2683, 1989.