

تأثیر وزن مولکولی پلیمر و توزیع آن بر خواص نخ یکسره پلی پروپیلن تولیدی در فرآیند ذوب ریسی

(مقایسه دو نوع پلی پروپیلن V30S پتروشیمی اراک و هیوندای H7600)

سعیده محمدی^{*}، علی خسروشاهی^۲

۱. کارشناس ارشد پلیمر، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی تهران
۲. دکترای نساجی، دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

چکیده

مشخصه های ساختاری و ذاتی پلیمر و پارامترهای فرایندی از جمله عوامل تعیین کننده و تاثیرگذار بر خواص نهایی الیاف مصنوعی تولیدی بوسیله فرآیند ریسنگی مذاب می باشند. در این کار تحقیقاتی تاثیر عوامل ساختاری و ذاتی پلیمر و همچنین دمای فرایند اکستروژن بر خواص نهایی الیاف ریسیده شده مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا به منظور تعیین ویژگی های ساختاری مواد اولیه، تست های کروماتوگرافی ژل تراوایی(GPC)، رئومتری لوله موئین و طیف سنجی مکانیکی رئومتریک (RMS)، گرماسنجی رویشی تقاضلی(DSC)، شاخص جربان مذاب MFI و چگالی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین آزمون های کشش و DSC برای ارزیابی خواص الیاف ریسیده شده بکار گرفته شد. نتایج حاکی از آن است که در دمای ثابت، پلیمر دارای وزن مولکولی بالاتر به دلیل بالاتر بودن گرانزوی و تنفس اعمالی در خط ریسنگی، از استحکام بیشتری برخوردار می باشد. در عین حال پلیمر با توزیع وزن مولکولی پهن تر به دلیل دارای بودن مدول ذخیره و الاستیسیتی بالاتر از قابلیت ریسنگی و کشش مذاب کمتری برخوردار است. در این رابطه با بالارفتن دمای اکسترودر میزان بلورینگی الیاف افزایش یافته و استحکام آنها از یک نقطه ماکریمم عبور می کند.

واژگان کلیدی: پلی پروپیلن، وزن مولکولی، توزیع وزن مولکولی، ذوب ریسی، نخ یکسره

مقدمه

اهمیت رابطه ساختار و خواص مواد در طبیعت به خوبی شناخته شده است. برای مثال، پروتئین ها دارای عملکردهای مختلف و متمایزی هستند که از ریزساختار زنجیرهای آنها (برای مثال توالی آمینواسیدها) نشات می گیرد. این مثال از رابطه بین ساختار و خواص پروتئین ها مشابه ارتباط بین ساختار و خواص پلیمرها از جمله پلی پروپیلن ایزوتاکتیک (i-PP) می باشد. پلی پروپیلن ایزوتاکتیک یک پلاستیک مهندسی مطرح در صنعت است که در زمینه های گوناگون مانند لوازم خانگی، اسباب بازیها، قطعات مصرفی در خودرو، بویژه صنعت تولید الیاف مصنوعی و ... کارایی دارد^[۱].

در این رابطه متوسط وزنی وزن مولکولی (Mw) و توزیع آن (MWD) از پارامترهای ساختاری مهم و تعیین کننده رفتار پلیمرها از جمله خواص رئولوژیکی، حرارتی، ساختار بلوری و مورفولوژی پلیمر حاصله می باشند، که این ویژگی ها نیز خواص نهایی محصول از جمله خواص مکانیکی و استحکامی، نوری آنرا کنترل می کنند^[۲]. این دو پارامتر در فرآیند ذوب ریسی نیز از مهمترین عوامل کنترل کننده

* مسئول مکاتبات، پیام نگار؛ s.mohammadi@npc-rt.ir

جريان پذيری مذاب، حالت جامد و خواص كششی الياf می باشند. اين ويژگی های ساختاري ماده بطور مستقيم و دقيق با انجام آزمون كروماتوگرافی ژل تراواني (GPC) قابل تعبيين هستند.

از طرفی قabilite فرایندپذیری پلیمرها که متاثر از خواص رئولوژيکی اين مواد است نيز رابطه نزدیکی با MWD، دما و سرعت برش اعمالی در طی فرایند شکل دهی بر پلیمر دارد.

امروزه از آزمون Rheotens که تعبيين کننده استحکام مذاب است برای مقاييسه قabilite کشش مذاب پلیمرها استفاده می شود. اما باید در نظر داشت که شرایط انجام اين آزمون بر روی نتایج بدست آمده از آن بسیار تاثير گذار می باشند^[۳]. با انجام تست های رئومتری لوله موئین و RMS نيز می توان به خصوصيات رئولوژيکی ماده از جمله الاستیسيتی، مدول ذخیره (Storage modulus) و مدول اتلاف(Loss modulus)، تغييرات تنش و گرانبروی بر حسب نرخ برش و دما و ... بی برد. از طرفی پارامترهای فرایندی از جمله دماهای فرایند تولید الياf مصنوعی (دماي اکسترودر، دماي هوای خنک کننده، دماي کشش، دماي annealing)، نرخ کشش مذاب، سرعت و پروفایل هوای خنک کننده، نسبت کشش و درصد آسودگی نيز از عوامل تعبيين کننده خواص فيزيکي الياf نهايی توليدی می باشند^[۴].

در اين کار پژوهشی تاثير ويژگی های ساختاري و ذاتی دو نوع پلی پروپيلن V30S اراك و H7600 هيونداي و شرایط فرایند ريسندگی (دماي اکسترودر) بر خواص نهايی مورد انتظار الياf رسيده شده و روند تغييرات آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بخش تجربی

در اين پژوهش از پلیمر پلی پروپيلن نوع V30S پتروشيمی اراك و نوع ۷۶۰۰ هيونداي کره، که هر دو مناسب برای تولید الياf و نخ يکسره (Fiber grade) می باشند و لاعب ريسندگی (Spinfinish Arstatic 1256) استفاده شده است.

جهت تولید نخ يکسره از دستگاه ريسندگی مذاب (مدل E1.35-25M) ساخت شركت Automatik آلمان مستقر در دانشكده نساجي دانشكده صنعتي اميركبير استفاده شده است، که موارد کاربرد آن تولید نخ POY پلی استر، نايلون ۶-۶ و پلی پروپيلن در محدوده ۱۲۰-۶۰ دنير و با سرعت های ۲۰۰۰-۶۰۰۰ m/min می باشد. اکسترودر اين دستگاه دارای L/D = ۲۵ و پمپ ريسندگی با طرفيت ۲×۳/۳ cc/rev است.

به منظور شناسايي ويژگي ها و خواص ساختاري و ذاتي مواد اوليه از آزمون های كروماتوگرافی ژل تراواني (GPC) برای بدست آوردن وزن مولکولي پلیمر و توزيع آن و از آزمون طيف سنجي مکانيكي رئومتريك (RMS) و رئومتری لوله موئین نيز برای تعبيين خواص رئولوژيکی مذاب از جمله ارتباط تنش و ويسبوكويته-نرخ برش و ويسبوكويته و مدول ذخیره-فرکانس اعمالی استفاده شد. لازم به ذكر است که آزمون های فوق توسيع بخش تحقيق و توسيعه شركت بازل در کشور آلمان انجام شده است. خواص حرارتی نمونه ها از جمله دماي ذوب، تحریب و درصد بلورینگی به وسیله دستگاه گرماسنجي رویشي تقاضلي (DSC) ساخت شركت TA Instrument آمریكا با نرخ حرارت دهی ۱۰ °C/min می باشد. در این راستا میزان درصد بلورینگی نمونه های مورد نظر به کمک رابطه (۱) و با استفاده از نتایج آزمون (DSC) محاسبه شد^[۵].

$$\frac{H_x}{H_{\%100}} = X \quad (1)$$

منظور از H_x و $H_{\%100}$ در اين رابطه به ترتيب گرمای نهان ذوب نمونه، گرمای نهان ذوب پلیمر ۱۰۰٪ بلور(در مورد پلیمر پلی پروپيلن اين مقدار ۲۰۷ J/g می باشد^[۶]) و درصد بلورینگی نمونه مورد نظر می باشد.

در همين راستا نتایج مربوط به تست های تعبيين شاخص جريان مذاب (MFI) و چگالی نيز ارائه شده اند.

از نتایج بدست آمده از اين آزمون ها، سه دماي مذاب برای هر نمونه در نظر گرفته شد. سرعت پمپ ريسندگی ۱۲ min^{-۱}، سرعت پیچنده (Winder) ۲۰۰۰ m/min و فشار مذاب پشت پمپ ريسندگی نيز برای کلیه نمونه ها ۵۰ bar تنظیم شده بود.

پس از مرحله تولید، خواص نهايی الياf به کمک آزمون های کشش و DSC مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

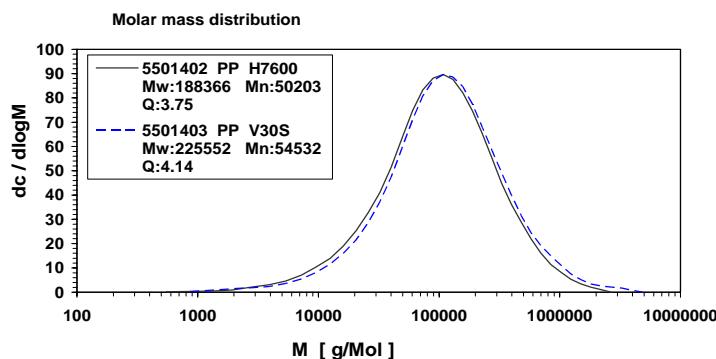
در جدول (۱) مقادیر شاخص ذوب و چگالی دو نوع پلی پروپیلن V30S و H7600 ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص ذوب و چگالی نوعهای V30S و H7600

نام ماده	شاخص ذوب (g/10min)	چگالی (g/cm ³)
V30S	۱۷/۱۲	۰/۹۰۲
H7600	۲۲/۹۱	۰/۹۰۸

همانطور که ملاحظه می شود نوع V30S از شاخص ذوب و چگالی کمتری برخوردار می باشد. مقدار شاخص ذوب کمتر به معنی بیشتر بودن مقدار گرانزوی این ماده در دمای فرایند یکسان نسبت به دیگری است و چگالی کمتر آن نیز حاکی از پایینتر بودن میزان بلورینگی آن می باشد.

شکل (۱) توزیع وزن مولکولی نمونه های V30S و H7600 بدست آمده از نتایج آزمون GPC را نشان می دهد.

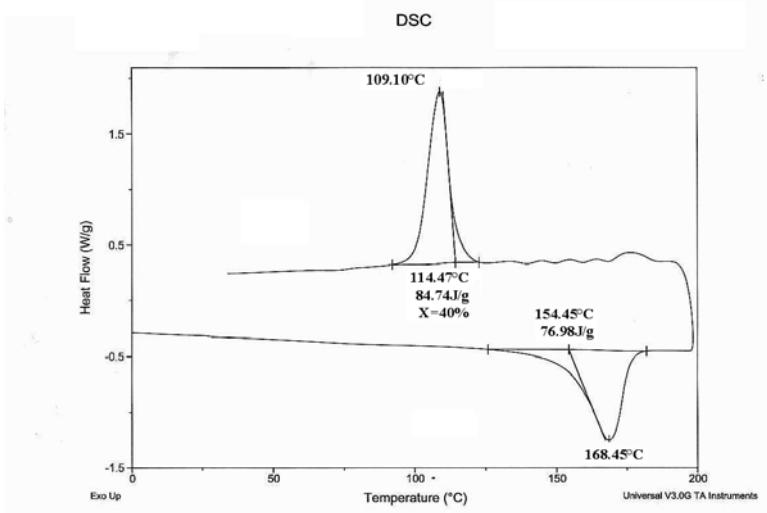


شکل ۱- نمودار توزیع وزن مولکولی دو نوع V30S و H7600 (Q=MWD)

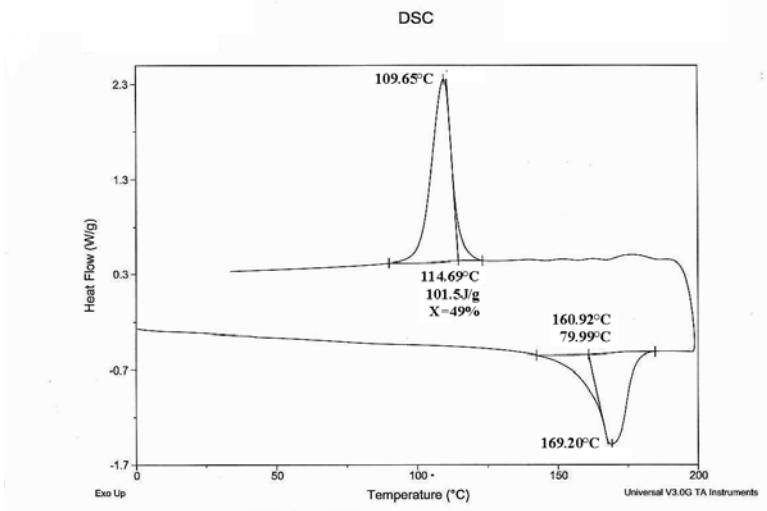
همانطور که ملاحظه می شود، نوع H7600 با MWD=۴/۱۴ از توزیع وزن مولکولی باریکتری برخوردار می باشد. در عین حال نوع H7600 با Mw=۱۸۸۳۶۶ دارای Mw=۲۲۵۵۵۲ از نوع V30S با متواتسط وزنی وزن مولکولی کمتر است.

پلیمری که دارای وزن مولکولی بالاتر (در حالت توزیع وزن مولکولی یکسان) است، از بیشینه نسبت کشش قابل دسترس مذاب و جامد بالاتر و رزونانس کشش، سهولت آرایش یافتنگی، استحکام و مدول الیاف تولیدی (در نسبت کشش یکسان) کمتر برخوردار می باشد. از طرفی پلیمری که دارای توزیع وزن مولکولی باریکتر (در حالت وزن مولکولی برابر) می باشد، از بیشینه نسبت کشش قابل دسترس جامد و رزونانس کشش کمتر و بیشینه کشش مذاب قابل دسترس و استحکام الیاف تولیدی بالاتر برخوردار است[۲]. همچنین در توزیع وزن مولکولی باریکتر کنترل فرایند ریسندگی به عنلت یکنواختی مذاب راحتتر است. در این رابطه ذوب ریسی نوع H7600 بسیار راحت تر از نوع V30S صورت گرفت و این به دلیل MWD باریکتر نوع H7600 است، که باعث حساسیت کمتر این نوع به تغییرات جزئی پارامترهای ریسندگی مذاب می شود. بعارت دیگر نوسانات جزئی (که در هر خط ذوب ریسی تا حدی مجاز بوده و وجود دارند) بر روی آن تأثیر کمتری گذاشته و پایداری آن در فرایند ذوب ریسی بیشتر و احتمال پاره شدن رشته ها در طی فرایند بسیار کمتر است و این امر سبب سهولت بیشتر فرایند ذوب ریسی می شود.

در شکل (۲) نتایج DSC دو نمونه مورد آزمایش آورده شده است.



شکل ۲ a-۲) نمودار رفت و برگشتی DSC مربوط به نوع V30S با سرعت حرارت دهی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (X= درصد بلورینگی هر نمونه)

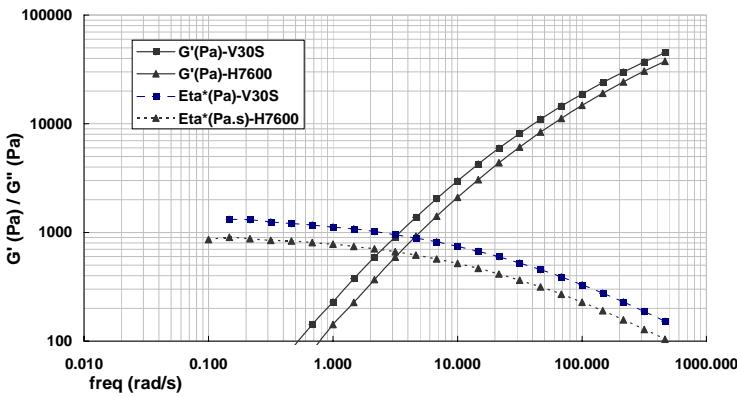


شکل ۲ b-۲) منحنی رفت و برگشتی DSC مربوط به نوع H7600 با سرعت حرارت دهی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (X= درصد بلورینگی هر نمونه)

نتایج بدست آمده حاکی از آن است که درصد بلورینگی نوع H7600 بالاتر از نوع V30S می باشد که این امر از پایینتر بودن میانگین وزن مولکولی آن نسبت به نوع V30S که سبب افزایش سرعت رشد بلورها می شود، نشات می گیرد. تبلور نخ علاوه بر آنکه بر خواص استحکامی آن موثر خواهد بود، بر ویژگی های نکسچره شدن و رنگ پذیری آن نیز تاثیر می گذارد، زیرا نخ با میزان تبلور کمتر دارای رنگ پذیری و قابلیت نکسچره شدن بهتری است.

در این رابطه، هرچه میزان توزیع وزن مولکولی پلیمر پهن تر باشد، پدیده کاهش گرانروی با برش (Shear Thinning) محسوس است، در نتیجه در چنین پلیمری با افزایش میزان برش، گرانروی کششی کاهش می یابد و بنابراین آرایش مذاب و میزان بلورینگی در این گونه پلیمرها کمتر است [۷]. این پدیده نیز پایینتر بودن میزان بلورینگی نوع V30S را تایید می کند.

در شکل (۳) نتایج مربوط به آزمون های RMS دو نوع V30S و H7600 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، نوع V30S دارای مدول ذخیره و گرانروی بالاتری است.



شکل ۳- تغییرات مدول الاستیسیته و گرانروی- فرکانس نمونه های V30S و H7600 (آزمون RMS)

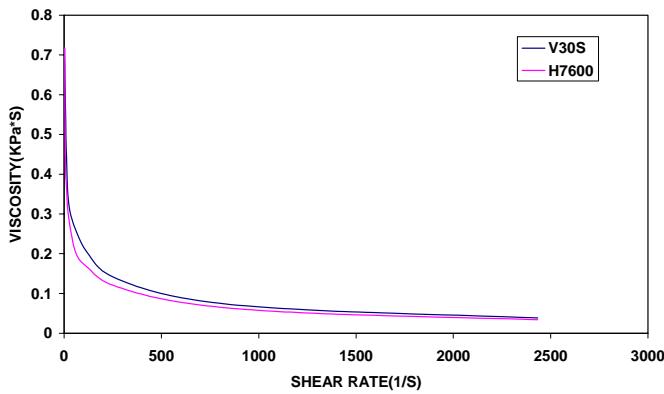
مدول ذخیره که کمیتی برای اندازه گیری الاستیسیته ماده است و قابلیت ذخیره انرژی را نشان می دهد، بستگی به MWD ماده دارد. گرانروی نیز بیان کننده میزان Mw ماده می باشد و گرانروی برشی صفر (ناجیه ای که گرانروی در نرخ های پایین مستقل از فرکانس است) به متوسط وزنی وزن مولکولی نسبت داده می شود. رفتار کششی پلیمر به الاستیسیته سیال بسیار حساس است. در این رابطه از میزان عددی گرانروی و الاستیسیته یک پلیمر می توان برای مقایسه تفاوت Mw و MWD پلیمرها استفاده کرد. این تفاوت ها با قابلیت کشش مذاب الیاف رابطه دارند. در حالتی که دو رزین دارای Mw برابر و درنتیجه گرانروی های برابر باشند، رزینی که در عملیات کشش مذاب بد عمل می کند، دارای MWD پهن تر می باشد، که با الاستیسیته (G') بالاتر در فرکانس کم نشان داده می شود. این امر از حضور زنجیرهای طویل تر در پلیمر با MWD پهن تر (که تولید الاستیسیته بالاتر می کنند) ناشی می شود که میزان گره خودگیرهای بیشتر این زنجیرهای مولکولی در نهایت می تواند منجر به پارگی فیلامنت ها در حین ذوب ریسی و نایکنواختی در قطر رشته ها گرددیده و درنتیجه عملیات کشش مذاب را با سختی همراه می سازد [۸].

این پدیده در منحنی های مربوط به الاستیسیته V30S و H7600 کاملا مشهود است. در این راستا V30S به دلیل داشتن گرانروی بیشتر از Mw بازدهی برش خوددار می باشد که نتایج آزمون GPC نیز این مطلب را تایید می کند.

همانطور که از منحنی های مدول ذخیره بر حسب فرکانس این مواد نیز مشخص می باشد، V30S دارای میزان مدول ذخیره بیشتری است که از پهن تر بودن MWD آن ناشی می شود و دشواری فرایند و کشش مذاب آن نیز که در عملیات رسندگی مذاب نسبت به H7600 مشاهده شد از نایکنواختی توزیع این پلیمر و میزان الاستیسیته بیشتر آن نشات گرفته است.

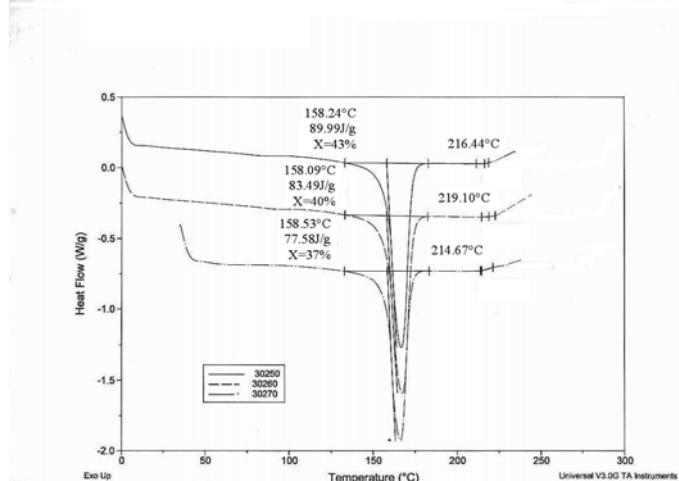
پدیده تورم روزنه (Die swell) که مربوط به میزان ذخیره انرژی الاستیک در ورودی به روزنه رشته ساز و آزاد کردن آن در هنگام خروج می باشد، با افزایش MWD پلیمر که باعث افزایش میزان الاستیسیته و افزایش میزان انرژی ذخیره شده است، افزایش می یابد و همین امر نیز باعث نایکنواختی و دشواری تولید در نوع دارای MWD پهن می باشد. از طرفی یکی از عوامل پارگی الیاف در حین تولید و کاهش قابلیت رسندگی یک پلیمر، انرژی هم چسبی پلیمر است. سیال با گرانروی بالا به علت مکانیزم شکست هم چسبی (Cohesive fracture) در فرایند تولید مشکل زاست [۹]. که تمامی این اصول نیز مؤید نتایج تجربی و آزمون ها می باشند و این به این معنی است که فرایند پذیری H7600 از V30S بهتر است.

در شکل (۴) منحنی گرانروی-نرخ برش مربوط به V30S و H7600 بدست آمده از آزمون رئومتری لوله موئین در دمای 250°C ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، گرانروی مذاب هر دو نوع پلی پروپیلن به علت داشتن n پاورلا کمتر از ۱، با نرخ برش کاهش می یابد و همچنین مشخص می شود که در دمای 250°C ، تنش بالاتری به مذاب نمونه V30S نسبت به H7600 وارد می شود و این امر به علت پایینتر بودن شاخص ذوب V30S بدیهی است.

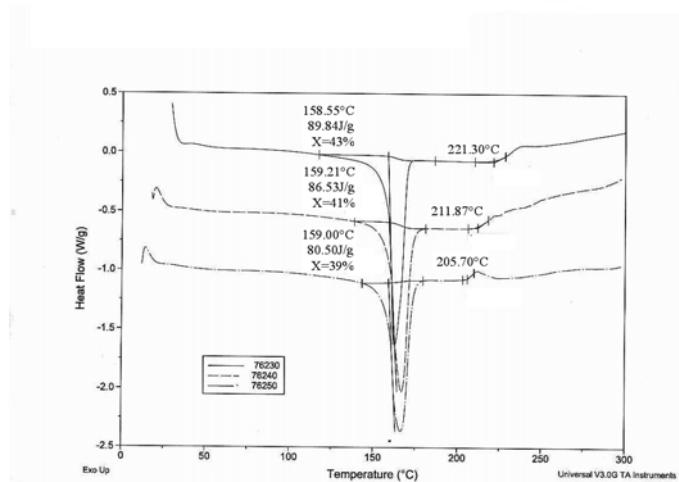


شکل ۴- منحنی گرانزوی-نرخ برش نمونه های V30S و H7600 (آزمون رئومتری لوله ممیزین)

در شکل (۵) نتایج مربوط به آزمون DSC نخ یکسره تولیدی از V30S (دماهای 250°C , 260°C , 270°C) و H7600 (اراوه شده است. همانطور که ملاحظه می شود با افزایش دمای مذاب میزان بلورینگی کاهش یافته است.



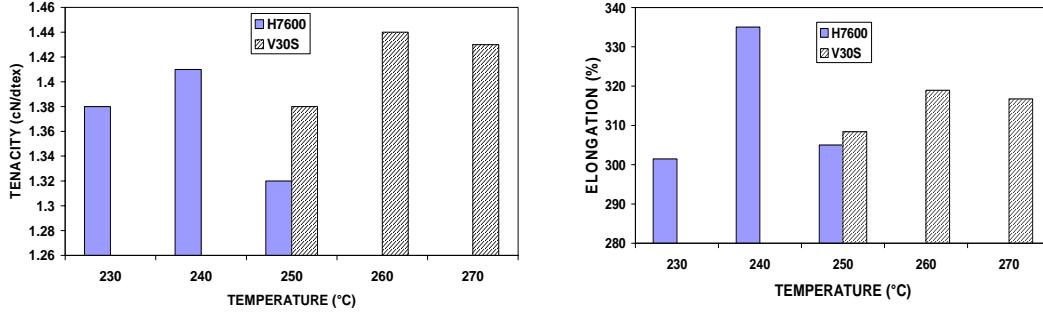
شکل ۵(a)- منحنی های DSC سه لیف تولید شده از نمونه V30S با سرعت حرارت دهی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (X= درصد بلورینگی هر نمونه)



شکل ۵(b)- منحنی های DSC سه لیف تولید شده از نمونه H7600 با سرعت حرارت دهی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (X= درصد بلورینگی هر نمونه)

از آنجاییکه با بالارفتن دمای مذاب، تنش در خط ریسندگی کاهش می یابد، از میزان آرایش یافتگی و بلورینگی پلیمر نیز کاسته می شود^[۱۰]. از طرف دیگر در دماهای مذاب پایینتر (چنانچه دمای هوای خنک کننده ثابت باشد) به علت کاهش نرخ خنک کردن ناشی از تفاوت کمتر بین دمای رشته مذاب خروجی از رشته ساز و دمای هوای خنک کننده، زنجیرها فرصت دارند تا تنش های باقیمانده را آسوده (Relax) کنند و ساختار بلورینگی نیز در هنگام کاهش نرخ خنک کردن کاملتر و از درصد بیشتری برخوردار می باشد. در عین حال رشته هایی که در دمای مذاب پایینتر ریسیده می شوند، به علت افزایش تنش های اعمال شده در روزنه های رشته خنک کردن عمل نمایند^[۴].

در شکل (۶) نتایج بدست آمده از آزمون کشش نخ یکسره تولیدی در سه دمای مذاب برای دو نوع پلی پروپیلن مورد آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار میله ای میزان استحکام و درصد ازدیاد طول الیاف تولیدی از نوعهای V30S و H7600

بررسی این نتایج مشخص می سازد که استحکام نخ یکسره بدست آمده از نوع V30S (در دمای فرایند یکسان ۲۵۰°C) از نوع H7600 بیشتر است. بعارت دیگر نوع V30S در دمای فرایند یکسان (اگرچه مناسب ترین دما برای ذوب ریسی آن نیست) از استحکام بالاتری نسیت به نوع H7600 برخوردار است. این پدیده را می توان به بالاتر بودن میزان Mw این پلیمر (که بر پهن تر بودن ارجحیت دارد) نسبت داد. از سوی دیگر مقایسه استحکام نمونه ها در مناسبترین دمای فرایند (۲۴۰°C برای نوع V30S و ۲۶۰°C H7600) برای V30S نیز موید همین امر است. البته اگرچه دمای ذوب ریسی آن ها متفاوت است ولی چنانچه برای مقایسه بجای دمای مطلق، مناسبترین دمای فرایندبزیری بعنوان پارامتر مقایسه ای در نظر گرفته شود (که با توجه به ویژگی های دو پلیمر مناسبترین انتخاب است)، نشان می دهد که نوع V30S در بهترین دمای فرایند استحکام بالاتری داشته است که بخشی از آن ناشی از تاثیر تحریب حرارتی بیشتر (بدلیل دمای فرایند بیشتر) و باریکتر شدن توزیع وزن مولکولی آن در این دمای بالاتر و بخشی دیگر ناشی از وزن مولکولی بالاتر آن است. همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می شود، ماکریتم استحکام نخ یکسره V30S مربوط به دمای مذاب ۲۶۰°C است. با توجه به بالا بودن میزان تنش خط ریسندگی در حالتی که دمای مذاب کمتر است، انتظار می روی که دمای ۲۵۰°C دارای استحکام بالاتری نسبت به بقیه دمایها باشد و روند نزولی استحکام از دمای ۲۵۰°C به ۲۷۰°C دیده شود که این روند رخ نداده است.

باید این نکته را یادآور شد، همانطور که ذکر شد در دمای ۲۵۰°C به علت آهسته تر بودن نرخ خنک کردن (در دمای هوای خنک کننده ثابت) الیاف از درصد بلورینگی بالاتر برخوردار می باشند^[۴]. بلورهای آرایش نیافته، پلیمر را شکننده و استحکام آنرا کم می کنند. بیشتر پارگی ها در نقاط مرزی بین نواحی بلوری و بی شکل(Amorphous) روى می دهند. این گستنگی به علت کرنشی است که بوسیله بلورها بواسطه تمرکز تنش به فاز بی شکل وارد می شود. استحکام کششی در درجه اول از مولکول های تاخورده منتج می شود و این درحالیست که انتهای زنجیرها و ناخالصی ها در مناطق بی شکل جمع می شوند و در نواحی مرزی مولکول های تاخورده کمتری وجود دارند و درنتیجه ایجاد یک ماده با استحکام کم می کنند^[۱۱]. لذا می توان نتیجه گرفت که درصد بلورینگی بالاتر در نمونه V30S ذوب ریس شده در ۲۵۰°C باعث افت استحکام کششی در این نمونه شده است. روند تقریباً مشابهی نیز در نوع H7600 دیده می شود. درصد ازدیاد طول این الیاف نیز به دلایل ذکر شده، با بالارفتن درصد بلورینگی بدون وقوع آرایش یافتگی کاهش می یابد. از طرفی الیاف با استحکام کم نیز به علت باز شدن سریع گره خودگی ها و وقوع مکانیزم حفره از ازدیاد طول کمی برخوردارند. قوانین ارائه شده مؤید نتایج بدست آمده از این آزمون است.

نتایج بحث شده موید این مطلب هستند که نوع H7600 برای تولید نخ یکسره ظریف مناسبتر از نوع V30S می باشد.

نتیجه گیری

بررسی های انجام شده در این پژوهش مؤید ارتباط قوی بین ویژگی های پلیمر مورد استفاده و خواص نهایی نخ یکسره ذوب ریسی شده می باشد. با مقایسه ویژگی های دو نوع پلی پروپیلن ذوب ریسی شده در سه دمای متفاوت روشن می شود که وزن مولکولی و توزیع آن تاثیر بسزایی بر انتخاب شرایط ذوب ریسی و در کار آن خواص نخ تولیدی خواهد داشت. در این رابطه دمای فرایند ذوب ریسی و انتخاب صحیح آن نیز تاثیر قابل توجهی بر خواص نخ تولیدی داشته است.

با توجه به شرایط آزمایشات، پلیمر با وزن مولکولی کمتر و توزیع وزن مولکولی باریکتر فرایندپذیری بهتر داشته و علاوه بر این دمای ذوب ریسی پاییتر به معنی تخریب حرارتی کمتر در طی فرایند (عاملی که ارتباط توانی با تغییرات دما دارد) و کاهش میزان مصرف انرژی در طی ذوب ریسی (جهت ذوب و سرد نمودن پلیمر) خواهد بود.

بنابراین در يك جمع بندی کلی ملاحظه می شود که وزن مولکولی و توزیع آن (که از ویژگی های ذاتی پلیمر هستند) نقش بسیار موثری را در میزان تبلور، خواص رئولوژیکی و حرارتی پلیمر دارند، که این عوامل نیز به تبع خود فرایندپذیری پلیمر و خواص الیاف تولید شده (مانند استحکام، ازدیاد طول، جمع شدگی و ...) را تحت تاثیر قرار می دهند.

References:

- 1- Van der Meer.D.W, "Structure- Property Relationship in Isotactic Polypropylene", Twente University Press, 2003.
- 2- Andreassen.E, Grostad.K, Myhre.O.J, "Effect Of Processing Parameters and MWD On The Tensile Properties Of Polypropylene Fibers", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol.**52**, pp.1505-1517, 1994.
- 3- Muke.S, Ivanov.I, Kao.N, Bhattacharya.S.N, "Extensional Rheology of Polypropylene Melts from Rheotens Tests", *J. Non-Newtonian Mech.*, Vol.**101**, pp.77-93, 2001.
- 4- Diacik.J, Jambrich.M, "Influence of Cooling Conditions on The Structure and Properties of High-speed Spun Polypropylene Fibers", *Acta Polymerica*, Vol.**41**, pp.500-504, 1990.
- 5- Kong.Y, Hey.J.N,"The Measurement of the Crystallinity of Polymers by DSC" *Polymer*, Vol.**43**, pp.3873-3878, 2002.
- 6- Van der Wal.A, Mulder.J.J, Gaymans.R.J," Fracture of Polypropylene 1. The Effect of Molecular Weight and Temperature at Low and High Test Speed", *Polymer*, Vol.**39**, pp.5467-5475, 1998.
- 7- Park.N.A, Irvine. Jr.T.F,"Complex Viscosity of Polymer Melts", *J. Rheology*, Vol.**41**, pp102-107, 1997.
- 8- Leonardi.F, Allal.A, Marin.G,"Finite Element Analysis of Melt Spun Yarn", *J.Rheology*, Vol.**46**, pp203-208, 2002.
- 9- Ahmed.M, "Polypropylene Fibers- Science and Technology", Elsivier Scientific Publishing Company, 1982.
- 10- Andreassen.E, Grostad.K, Myhre.O.J, Braathen.M.D, Hinrichsen.E.L, Syre.A.M.V,"Melting Behavior of Polypropylene Fibers Studied by Diferencial Scanning Calorimetery", *J.Appl. Polym. Sci.*,Vol. **57**, pp.1075-1084,1995.
- 11- Nielsen.L.E, Landel.R.F, "Mechanical Properties of Polymers and Composites", Marcel Dekker, New York, 1994.