

تأثیر سرعت ریسندگی بر روی پارامترهای ساختاری نخ فیلامنت پلی استر تهیه شده از بطری استفاده شده PET

مرجان عباسی، محمد رضا محمد مجتبی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر-دانشکده مهندسی نساجی

چکیده:

تولید اخیر فیلامنت PET از بطری های مستعمل نوشابه [۱] به عنوان یک پدیده جدید نیازمندیافتن شرایط مناسب ذوب ریسی و از جمله تغییر سرعت ریسندگی می باشد که از عوامل مهم و موثر بر روی پارامترهای ساختاری نخ بوده و می تواند قابلیت کاربرد بهتری را در فرآیندهای بعدی فراهم نماید. در این تحقیق تغییرات دانسیته . درصد تبلور . ضربی شکست مضاعف . شاخص تبلور به روش FTIR . رفتار حرارتی و بلورینگی به روش DSC و خواص مکانیکی و جمع شدگی در دو سرعت ۳۰۰۰m/min - ۲۵۰۰

در نمونه نو و بازیافتی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. ضربی شکست مضاعف و درصد تبلور حاصل از روش های مختلف برای نمونه بازیافتی بیشتر از نمونه نو می باشد و در نتیجه استحکام نمونه بازیافتی بیشتر و افزایش طول پارگی آن کمتر خواهد بود. نمونه های بازیافتی بعلت بالا بودن درصد تبلور اصولا می باشد دارای مدول اولیه بیشتر و جمع شدگی کمتر باشند ولی نتایج حاصل از این تحقیق با فرضیه فوق مطابقت ندارد. چنانچه پیش بینی می شد افزایش سرعت برداشت باعث افزایش آرایش یافتنگی. تبلو استحکام. مدول اولیه و کاهش ازدیاد طول پارگی در هردو نمونه نو و بازیافتی گردید.

۱- مقدمه

مشکلات زیست محیطی ناشی از عدم تجزیه مواد پلیمری توسط طبیعت و تولید و مصرف روزافزون این مواد، انسان را مجبور کرده است تا برای بازیافت و استفاده مجدد از این مواد کارهای اساسی و بنیادی را مدنظر قرار دهد. در این میان با وجود اینکه مواد پلیمری فقط حدود ۷٪ وزن ضایعات جامد را تشکیل می دهند ولی به علت دانسیته کم؛ حجمی بین ۳۰-۲۵ درصد کل ضایعات جامد را در بر می گیرند [۲]. با توجه به مصرف گسترده پلی استر در زندگی روزمره و صنعت از یک طرف و روند افزایشی تولید آن از طرف دیگر، امر بازیافت آن همیشه مورد نظر کارشناسان و محققان صنعت بازیافت می باشد [۳].

مصارف عمده پلی استر نوع بطری در صنایع روغن مایع، آب مصرفی ، نوشابه سازی و سایر موارد می باشد [۴].

برای بازیافت پلی استر روش های زیر مرسوم می باشد:

۱- بازیافت مکانیکی

۲- بازیافت شیمیایی (تبديل به منومرهای اولیه)

۳- بازیافت انرژی (سوزاندن مواد برای بدست آوردن انرژی)

بازیافت مکانیکی که معمول ترین و با صرفه ترین این روشها می باشد شامل مراحل به ترتیب جمع آوری، تفکیک ضایعات، آسیاب

کردن ضایعات و در نهایت اکستروژن مواد خرد شده می‌باشد. در طی این عملیات که مستلزم اعمال حرارت و تنش به ماده می‌باشد خصوصیات ماده تغییر می‌کند. این تغییرات در خواص فیزیکی، مکانیکی و جرم مولکولی متوسط ماده رخ می‌دهد [۶ و ۵]. بایستی دقت شود که در صورتیکه چیپس یا پرک (flake) پلی استر بدون خشک کردن، ذوب و رسیده شود در حالت مذاب شدیداً

هیدرولیز شده وزن مولکولی آن به $\frac{1}{3}$ الی $\frac{1}{2}$ وزن مولکولی اولیه تقلیل می‌یابد. برای جلوگیری از این پدیده، پلیمر قبل از ذوب شدن بایستی متبلور و خشک شود. متبلور شدن در مدت یک ساعت در دمای 120°C (به منظور عدم چسبیدن چیپس و پرکها به یکدیگر) انجام می‌گیرد و خشک کردن معمولاً در دمای 160°C با عبور هوای داغ از پلی استر انجام می‌شود انتخاب شرایط مناسب برای خشک کردن بسیار مهم است. میزان رطوبت باقی مانده در پلیمر خشک شده نباید بیشتر از ۰/۰۰۵٪ نسبت به وزن پلیمر باشد. مطالعه تغییرات ویسکوزیته ذاتی (V.I) در تخریب PET می‌تواند در این زمینه مؤثر باشد [۷].

در حالت بازیافت مکانیکی، بطری‌های PET بیشتر خصوصیات خود را حفظ کرده و ۶۰٪ انرژی در مقایسه با پلی استر نو (virgin) کاهش می‌یابد. بر اساس آخرین اطلاعات، هیچ تولید فیلامنتی از PET بازیافته وجود ندارد و الیاف کوتاه (staple) توسط تعداد محدودی از بازیافت کنندگان پلاستیک انجام می‌شود و تکنولوژی فرآیند کم و بیش مخفی می‌باشد [۷].

Mannhart [۹] نشان می‌دهد که چون هر فرآیند ذوب کردن باعث افت ویسکوزیته می‌شود و به دلیل آنکه ویسکوزیته بطری‌ها بیشتر از الیاف می‌باشد لذا می‌توان برای الیاف پلی استر از بطری‌های PET استفاده نمود.

الیاف پلی استر ممکن است ترکیبی از نواحی بلوری، نیمه بلوری، آرایش یافته و نواحی غیربلوری در نظر گرفته شود. انعطاف‌پذیری کم در ماکرومولکول اصولاً به سبب گروههای اتیلن در ساختار می‌باشد. شکل اصلی ساختار پلی استر این است که لیف سرد کشیده نشده غیربلوری است و بلوری شدن در کشش بالا رخ می‌دهد.

اطلاعات ساختاری فراهم شده توسط روش IR و اندازه‌گیری ضربی شکست مضاعف پلی استر توسط Lewin [۱۰]. نشان می‌دهد که تغییرات کلی در محدوده سرعتهای پیچش $2000\text{--}3500\text{ m/min}$ رخ می‌دهد. این تغییرات تا حدودی خود را در آرایش آمورف نشان می‌دهد. اندازه‌گیری IR، افزایش آرایش را با افزایش ایزومر ترانس نشان می‌دهد سطح آرایش این ایزومر (f_{trans}) خیلی بیشتر از سطح آرایش در کل لیف (f_a) است چون فرم ترانس تنها در حالت بلوری وجود دارد و به علت ارتباط آشکار بین نسبت بلورینگی PET و درجه آرایش معقول است نتیجه بگیریم که افزایش در جزء ترانس که در اینجا مشاهده می‌شود نشانه وجود بلورینگی است که در سرعتهای بالا رخ می‌دهد [۱۰].

همچنین Garton، Carlsson، Holms و Wiles [۱۱] تغییرات کسر حجمی کریستال، فاکتور آرایش کریستال و فاکتور آرایش آمورف را در محدوده سرعتهای $2500\text{--}6000\text{ m/min}$ بررسی نمودند و نشان دادند که باند بلوری $848/5\text{ cm}^{-1}$ می‌تواند برای اندازه‌گیری تبلور و ارتباط آن با سرعت پیچش مناسب باشد.

Napolitano و Hoet [۱۲] نشان می‌دهند که بین ضربی شکست مضاعف و سرعت پیچش ارتباط وجود دارد و دو فرضیه را بیان

نمودند اول آنکه در مدل ساختاری آمورف، آرایش یافتگی با افزایش سرعت پیچش افزوده می‌شودو فرضیه دوم آن است که آرایش یافتگی بلور در شبکه آرایش یافته با افزایش سرعت ریسندگی به تدریج زیاد می‌شود. [۱۲]. دیاگرام آنالیز تفاضل حرارتی DTA از سرعت 2000 m/min تا 6000 m/min نشان می‌دهد که الیاف پیچیده شده در 2000 m/min تا حد زیادی آمورف بوده و در مقابل نخ پیچیده شده در 6000 m/min نیمه بلوری است. وضعیت بین این دو پیک گرمایش (T_g و تبلور)، تغییر تدریجی را تا سرعت 4000 m/min نشان میدهد. پیک بلورینگی به تدریج به دماهای کمتر در سرعتهای پیچش بیشتر منتقل می‌شود. لذا می‌توان گفت، در محدوده سرعت مذکور مطالعه ساختار فیزیکی الیاف PET نویس از آمورف تا نیمه بلوری تغییر می‌کند [۱۳].

در زمینه تأثیر سرعت بر روی رفتار جمع شدگی Huisman و Heuvel [۱۳] نشان می‌دهند که در سرعت 2000 m/min جمع شدگی در ناحیه انتقال شیشه‌ای به سبب افزایش آنتروپی می‌باشد. در 2500 m/min مواد آمورف دارای آرایش یافتگی بهتر شده و در نتیجه ایجاد جمع شدگی بیشتر در دمای T_g می‌کند. در 4000 m/min اولین کاهش در جمع شدگی در ناحیه T_g مشاهده شده که به سبب این واقعیت است که دمای فرآیند تبلور به ناحیه انتقال شیشه‌ای نزدیک می‌شود، لذا سبب کاهش جمع شدگی می‌شود. در مورد ارتباط خطی استحکام – آرایش، در الیاف PET که تحت عملیات در سرعتهای بالای ریسندگی Vassilatos. [۱۳] و تحت فرآیند کشش قرار گرفته‌اند را مورد مقایسه قرار داد.

Fakirov و Schoutz و Vankrevelen و Samuel و Fakirov [۱۴] نتایج مبنی بر مکانیزم آفزایش آرایش مولکولی در موارد مختلف و فرآیندهای تکنولوژیکی متفاوت را در تالیفات خود بحث کرده‌اند. Samuel نتیجه گرفته است که فاکتور بحرانی تعیین کننده خواص مکانیکی PET و PP میانگین درجه آرایش است که توسط ضربی شکست مضاعف مشخص می‌شود. آرایش بلور و آمورف، درجه بلورینگی، ابعاد بلور، و مشخصه تکرار بلند (long identity period) پارامترهای ساختاری هستند که می‌توانند بخوبی آنالیز گردد.

۲- تجربی

۱-۱- مواد

چیپس پلی استر مورد استفاده از شرکت اطلس پود تهیه شد که دارای ویسکوزیته ذاتی (I.V) ۰/۶ و دانسیته $1/353$ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. پرک مورد استفاده دارای ویسکوزیته ذاتی $0/69$ بوده و دارای دانسیته برابر با $1/382$ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد.

۲-۲- دستگاهها و روش‌های آزمایش

- دستگاه ذوب‌رسی مورد استفاده یک واحد نیمه صنعتی آزمایشگاهی (piolt plant) ساخت شرکت Automatik می‌باشد .

جدول ۱- شرایط ثابت دستگاه ذوب رسی در تولید نمونه‌ها

۲۴۰ °C	دما ناحیه حرارتی ۱
۲۵۰ °C	دما ناحیه حرارتی ۲
۲۵۵ °C	دما ناحیه حرارتی ۳
۲۶۵ °C	دما ناحیه حرارتی ۴
۲۷۵ °C	دما ناحیه حرارتی ۵
۲۷۵ °C	دما ناحیه اندازه‌گیری
۲۷۵ °C	دما ناحیه انتقال مذاب
۱۰ N/m ²	فشار هوای ناحیه خنک کننده
۴۶–٪۵۰	درصد رطوبت هوا
۸ rpm	سرعت پمپ
۴۵ Rpm	سرعت پمپ لاعازنی

- تعیین ویسکوزیته ذاتی (I.V): طبق استاندارد ASTM D4603 انجام شد که در آن از مخلوط ۴۰/۶۰ فتل / ۱، ۲ و ۲، ۱ انجام شد که در آن از مخلوط ۴۰/۶۰ فتل / ۱، ۲ و ۲، ۱ انجام شد.

تتراکلرواتان به عنوان حلال استفاده شده است.

- تعیین دانسیته: برای تعیین دانسیته نخها و مواد اولیه، از روش غوطه‌وری استفاده شد. تتراکلرور کربن دارای دانسیته ۱/۵۹۵

در فاصله دمایی ۴۰°C–۲۰°C و تولوئن در همین فاصله دمایی دارای دانسیته ۸۶۸/۰–۸۶۶/۰ می‌باشد. آزمایشات در

دمای ۲۰ °C انجام شد و سپس درصد تبلور نمونه‌های نخها طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$X_d = \frac{\rho - \rho_{am}}{\rho_c - \rho_{am}} \times \frac{\rho_c}{\rho}$$

که در این رابطه، ρ چگالی نمونه (g/m³) و ρ_c و ρ_{am} به ترتیب چگالی نواحی کاملاً آمورف و کاملاً بلوری می‌باشد که در

$$\text{پلی استر} \quad [15] \quad \rho_{am} = 1/۳۳۵ \text{ g/cm}^3 \quad \rho_c = 1/۴۷۸ \text{ g/cm}^3$$

تعیین قطر الیاف و ضریب شکست مضاعف: با استفاده از میکروسکوپ تداخلی مدل (Amplival interphak) از شرکت کارل زایس (carl-ziss lene)، قطر الیاف پس از کالیبرده کردن و ضریب شکست مضاعف نمونه‌ها به وسیله تأخیر در نوارهای تداخلی تشکیل شده قابل محاسبه می‌باشد. ضریب شکست مضاعف توسط فرمول زیر بدست آمده است.

$$\frac{A_1 - A_0}{\sigma} \times \frac{d}{h}$$

A_1 میزان تأخیر جهت موازی با لیف و A_0 میزان تأخیر در جهت عمود بوده و d طول موج نور سبز است و σ ضخامت الیاف (قطر) می‌باشد h فاصله دو نوار تاریک موازی در زمینه است.

- تعیین اندیس تبلور به روش FTIR: توسط دستگاه NICOLET ساخت کشور آمریکا طیف گرفته شده است. با داشتن طیف

مربوط به طول موج مستقل از ساختار داخلی نخ و طیف مرбوط به طول موج وابسته به ساختار داخلی نخ می‌توان اندیس تبلور

$$CI = \frac{A(868)}{A(1410)} \quad [16]$$

را بدست آورد.

- تعیین خواص حرارتی به روش DSC و درصد تبلور: برای اندازه‌گیری درصد تبلور، دمای نقطه شیشه‌ای (T_g)، دمای ذوب (T_m) همچنین دمای تبلور (T_c) از آنالیز حرارتی (DSC) استفاده شد که این دستگاه ساخت شرکت TAInstrument است. درصد تبلور را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد. این آزمایشات طبق استاندارد DSC 2010 مدل 1999 U.S.A می‌باشد.

$$\frac{\Delta H_f - \Delta H_{ref}}{\Delta H_{ref}} = \frac{\Delta H_f}{\text{درصد تبلور}} \quad \text{انجام شده‌اند ASTM(D3918)}$$

که در ΔH_f و ΔH_{ref} به ترتیب گرمای ذوب و گرمای تبلور در طی آزمایش و ΔH_{ref} گرمای ذوب پلیمر صد درصد متبلور می‌باشد که برای پلی‌استر خالص به قرار زیر است: [۱۶]

$$\Delta H_{ref} = 140 \pm 20 \text{ g/g}$$

- دانسیته خطی نخ: با استفاده از کلاف پیچ اتوماتیک، دانسیته خطی نخ‌ها تعیین شد.

- تعیین خواص مکانیکی: توسط دستگاه INSORON ۵۵۶۶ که از روش افزایش طول با سرعت ثابت (CRE) اندازه‌گیری شدنده طول اولیه نمونه‌ها: ۵۰ mm سرعت فک‌ها ۱۲۰ mm/min

- جمع‌شدگی حرارتی: اندازه‌گیری جمع‌شدگی، طبق استاندارد DIN 53840 انجام شده است. کلاف در آون در دمای 120°C به مدت ده دقیقه قرار گرفته و سپس بعد از رسیدن به دمای محیط طول کلاف‌ها ه اندازه‌گیری شده‌اند و طبق رابطه زیر

$$S = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100 \quad \text{درصد جمع‌شدگی محاسبه شده است.}$$

L_0 طول اولیه کلاف و L طول کلاف پس از حرارت دیدن و رسیدن به دمای محیط است.

۳- نتیجه‌گیری و بحث

۳-۱- بررسی دانسیته نمونه‌ها

جدول ۲ تغییرات دانسیته و درصد تبلور را (برحسب اندازه‌گیری به روش دانسیته) در فیلامنت نو و فیلامنت بازیافتد با تغییر سرعت نشان می‌دهد.

جدول ۲- تأثیر سرعت پیچش بر روی دانسیته نمونه نو و بازیافتد

سرعت تولید (m/min)	(g/cm ³) دانسیته		% افت دانسیته		% تبلور	
	نو	بازیافتد	نو	بازیافتد	نو	بازیافتد
۲۵۰۰	۱,۳۴	۱,۳۴۱	۰,۹۶	۲,۹۷	۳,۸۶	۵,۰۹
۳۰۰۰	۱,۳۴۷	۱,۳۵۵	۰,۴۴	۱,۹۵	۹,۵۹	۱۵,۲۶

از جمله عوامل مؤثر بر دانسیته میزان تبلور و آرایش یافتنی ماده می‌باشد. تراکم بلور سبب ایجاد دانسیته بیشتر می‌شود. همانگونه

که از جداول بالا مشخص است، افزایش سرعت ریسنده‌گی سبب افزایش دانسیته و از این‌رو سبب افزایش تبلور می‌شود. میزان افزایش تبلور در دو نمونه پلی‌استرنیشن می‌دهد که فیلامنت بازیافتی، افزایش تبلور بیشتری با افزایش سرعت ریسنده‌گی از خود نشان می‌دهد و می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که قابلیت آرایش‌یافتنگی و بلوری شدن در نمونه نخ بازیافتی بیشتر از نمونه نخ نو باشد.

۲-۳- بررسی ضریب شکست مضاعف

تغییرات ضریب شکست مضاعف نمونه نو و بازیافتی با تغییر سرعت در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- تأثیر سرعت پیچش بر روی ضریب شکست مضاعف نمونه نو و بازیافتی

سرعت تولید (m/min)	ضریب شکست مضاعف نمونه نو	ضریب شکست مضاعف نمونه بازیافتی
۲۵۰۰	۲۳/۲۰	۲۴/۸۷
۳۰۰۰	۳۰/۵۰	۳۴/۷۵

ضریب شکست مضاعف نشان‌گر برآیند آرایش‌یافتنگی نواحی بلوری و غیر بلوری است و هر چه نواحی بلوری و غیر بلوری آرایش یافته‌تر باشند ضریب شکست مضاعف نخ افزایش می‌یابد. جدول ۳ نشان می‌دهد که افزایش سرعت ریسنده‌گی سبب افزایش ضریب شکست و در نتیجه افزایش آرایش‌یافتنگی نخ می‌شود و این افزایش در نمونه نخ بازیافتی بیشتر است.

۳-۳- بررسی شاخص تبلور به روش FTIR

جدول ۴، تغییرات شاخص تبلور طیف FTIR رادر نمونه نو و بازیافتی در طی تغییر سرعت نشان می‌دهد.

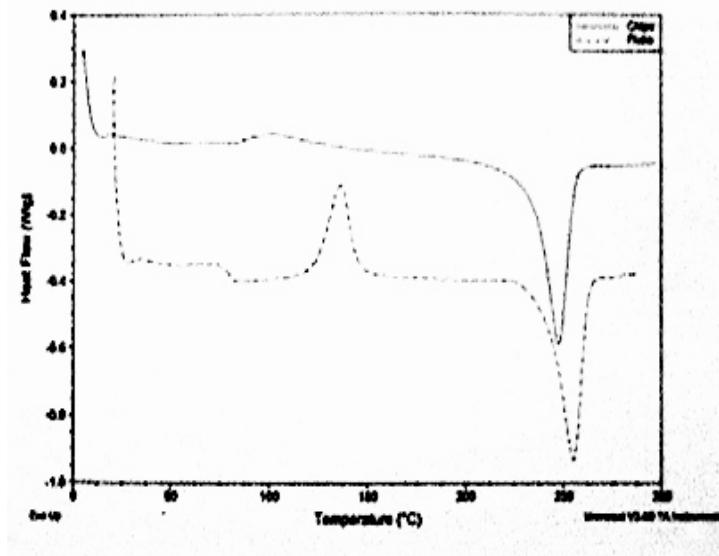
شاخص تبلور مستقیماً مقدار تبلور را مشخص نمی‌کند اما می‌تواند معیاری برای مقایسه نمونه‌ها باشد. پیک استاندارد (1410 cm^{-1}) با تغییر ساختار داخلی تغییری نمی‌کند. ولی پیک شاخص، با تغییر در ساختار پلیمر و میزان آمورف و یا بلوری بودن پلیمر تغییر می‌کند. هر چه عدد شاخص بلوری بیشتر باشد، میزان تبلور بیشتر است. این نتایج مشخص می‌شود که شاخص تبلور در نمونه نو و بازیافتی با افزایش سرعت تولید افزایش می‌یابد و باز هم شاخص تبلور پلیمر بازیافتی، مقادیر بیشتری را نشان میدهد.

جدول ۴- شاخص تبلور فیلامنت نو و بازیافتی در دو سرعت متفاوت

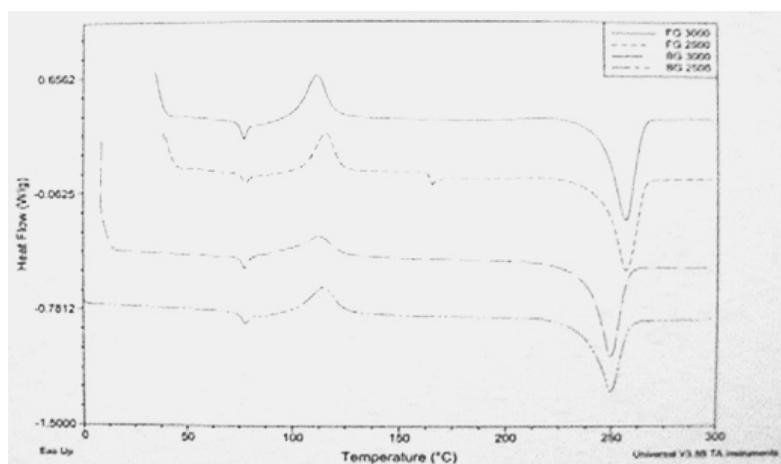
سرعت تولید m/min	شاخص تبلور نمونه نو	شاخص تبلور نمونه بازیافتی
۲۵۰۰	.۶۳	.۶۹
۳۰۰۰	.۶۷	.۷

۴- بررسی رفتار حرارتی و بلورینگی به روش DSC

از روی منحنی DSC نمونه های نو و بازیافتی، شکل ۱ و ۲ می توان مقادیر دمای ذوب، تبدیل شیشه ای و تبلور آنها را بدست آورد.



شکل ۱- منحنی DSC نمونه چیس و پرک



شکل ۲- منحنی DSC نمونه چیس و پرک رسیده شده در دو سرعت ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ m/min

جدول ۵ و ۶ این مقادیر را به همراه مقادیر محاسبه شده ΔH ذوب، ΔH تبلور و درصد بلورینگی، نشان می دهد.

جدول ۵- خواص حرارتی نخهای فیلامنتی نوریس از پلیمر نو توسط DSC

سرعت تولید m/min	دماه تبدیل (°C) شیشه	دماه تبلور (°C)	دماه ذوب (°C)	تبلور ΔH (J/g)	ذوب ΔH (J/g)	درصد تبلور
۲۵۰۰	۷۵/۶۶	۱۰۰/۷۵	۲۴۵/۰۷	۲۰/۷۰	۴۹/۵۱	۱۰/۵۷
۳۰۰۰	۷۶/۹۷	۱۰۵/۹۳	۲۴۶/۰۹	۱۵/۸۰	۴۶/۷۸	۱۲/۱۳

جدول ۶- خواص حرارتی نخهای فیلامتی نوریس از پلیمر بازیافتی توسط DSC

سرعت تولید m/min	دماه تبدیل °C شیشه	دماه تبلور °C	دماه ذوب °C	تبلور ΔH (J/g)	ذوب ΔH (J/g)	درصد تبلور
۲۵۰۰	۷۷/۰۴	۱۰۱/۵۵	۲۳۸/۱۳	۱۴/۲۸	۳۸/۵۴	۱۴/۳۲
۳۰۰۰	۷۶/۴۲	۹۶.۹۱	۲۴۰/۵۰	۱۰/۹۳	۴۳/۸۶	۱۸/۵۲

همانگونه که مشخص است، افزایش سرعت رسندگی سبب افزایش درصد تبلور در دو نمونه نو و بازیافتی میشود و این افزایش در نمونه بازیافتی بیشتر است.

۳-۵- بررسی بر روی ویسکوزیته ذاتی I.V

جدول ۷- تغییرات ویسکوزیته ذاتی در نمونه نو و بازیافتی را نشان می دهد.

جدول ۷- تاثیر سرعت بر روی ویسکوزیته ذاتی نمونه نو و بازیافتی

سرعت تولید (m/min)	I.V نمونه نو	درصد افت نمونه نو	I.V نمونه بازیافتی	درصد افت نمونه بازیافتی
۲۵۰۰	۰/۵۶	۶/۶۷	۰/۶۱	۱۱/۶۰
۳۰۰۰	۰/۵۵	۸/۳۰	۰/۶۰	۱۳/۰۴

همانگونه که پیشتر ذکر شد، I.V نمونه چیپس (F.G) ۰/۶۹ و نمونه پرک ۰/۰۶۹ می باشد این مقادیر پس از فرآیند تولید و با افزایش سرعت تولید کاهش می یابد. میزان کاهش نشان دهنده مقدار تخریب هیدرولیتیکی زنجیر پلی استر در طی فرآیند می باشد.

۳-۶- بررسی خواص مکانیکی و جمع شدگی نمونه های تولید شده

نتایج بدست آمده از اندازه گیری های استحکام، مدول و افزایش طول در نقطه پارگی در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- تاثیر سرعت بر روی خواص مکانیکی نمونه نو و بازیافتی

سرعت تولید m/min	(dtex)		نمره نخ (%)		جمع شدگی (%)		CN/tex		CN/tex		ازدیاد طول تا حد پارگی (%)	
	نو	بازیافتی	نو	بازیافتی	نو	بازیافتی	نو	بازیافتی	نو	بازیافتی	نو	بازیافتی
۲۵۰۰	۱۲۱	۱۲۰	۵۲/۴	۶۰/۰	۱۵/۰	۱۸/۲	۷۶/۴	۶۲/۸	۲۱۱/۲	۱۶۹/۸		
۳۰۰۰	۱۲۵	۱۲۵	۶۰/۰	۶۱/۵	۱۷/۱	۱۹/۰	۱۲۰/۱	۹۸/۳	۱۶۸/۴	۱۳۶/۸		

نتایج بدست آمده از اندازه گیری استحکام در نمونه های تولید شده در دو سرعت متفاوت، نشان می دهد که آرایش یافته تأثیر زیادی بر روی استحکام نخها دارد. افزایش سرعت سبب آرایش یافته تأثیر زیادی بر روی استحکام نخها می دهد. این

موضوع با توجه به نتایج ضریب شکست مضاعف در جدول ۳ تأیید می‌شود. بیشترین مقدار ضریب شکست مربوط به نمونه نخ بازیافتی با سرعت 3000 m/min بوده و دارای بیشترین مقدار استحکام نیز می‌باشد.

از دیاد طول تا حد پارگی نیز به مقدار زیادی به آرایش یافته‌گی ساختار مولکولی مربوط است. با توجه به نتایج ضریب شکست مضاعف مشخص می‌شود که نمونه فیلامنت بازیافتی با سرعت 3000 m/min دارای آرایش یافته‌گی بیشتر و در نتیجه دارای از دیاد طول تا حد پارگی کمتری است و بالعکس در سایر نمونه‌ها نیز این روند دنبال می‌شود.

از جمله عوامل مؤثر بر روی مدول عبارتنداز درصد بلورینگی، اندازه بلورها و آرایش یافته‌گی، که دو عامل اول یعنی درصد بلورینگی و اندازه بلورها تأثیر بیشتری نسبت به آرایش یافته‌گی دارند. با توجه به نتایج درصد تبلور از روی منحنی DSC جدول ۵ و ۶ می‌توان گفت افزایش درصد تبلور سبب افزایش مدول با افزایش سرعت رسنده‌گی می‌شود.

جمع شدگی حرارتی در واقع بیانگر پایداری ساختاری و شکل فضایی مولکولی است. افزایش میزان کشن، سبب افزایش آرایش یافته‌گی و در نتیجه سبب افزایش جمع شدگی می‌شود. آرایش یافته‌گی با افزایش سرعت افزایش می‌باید و در مرحله‌ای، افزایش آرایش یافته‌گی در اثر کشن مؤثر سبب بلورینگی می‌شود. بر طبق گزارش Ming Fann Daw [۱۴]، این سرعت برای فیلامنت نو، 2000 m/min می‌باشد و برای فیلامنت بازیافتی در سرعت بالاتر اتفاق می‌افتد. در نمونه حاضر با توجه به نتایج ضریب شکست مضاعف، بیشترین آرایش یافته‌گی مربوط به نمونه نخ بازیافتی در سرعت 3000 m/min می‌باشد و بیشترین جمع شدگی نیز در همین نمونه دیده می‌شود و کمترین آرایش یافته‌گی مربوط به نمونه نخ نو در سرعت 2000 m/min و کمترین جمع شدگی نیز مربوط به همین نمونه می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

با افزایش سرعت رسنده‌گی در فیلامنت نو و بازیافتی تغییراتی در ساختار داخلی نخ بوجود می‌آید که این تغییرات شامل افزایش آرایش یافته‌گی و درصد تبلور می‌باشد. همچنین خواص مکانیکی نظیر استحکام، مدول، از دیاد طول تا حد پارگی و جمع شدگی نیز تغییر کرده که تا حدی زیادی با تغییرات ساختار داخلی منطبق است. تغییرات خواص مکانیکی و ساختاری در نمونه فیلامنت بازیافتی بیشتر بوده و این به سبب تبلور و آرایش یافته‌گی بیشتر در ساختمان نخ بازیافتی نسبت به نخ نو می‌باشد.

مراجع:

۱. س. کیان‌تاش، "بررسی قابلیت تولید نخ فیلامنت PET از بطری‌های مستعمل نوشابه" پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، ۱۳۸۱.
۲. D. Sabourin, Recycling Plass III Conference, 83, May Washington DC, 1998
۳. آشنائی با پلیمرهای مهندسی، امور بررسی بازار - شرکت بازرگانی پتروشیمی (شبپ)، همایش پلیمرهای مهندسی، اسفند ۱۳۷۹.
۴. ف. فاضلی، بسته‌بندی خانواده پلی‌اتیلن ترفتالات، مجله صنایع پلاستیک، جلد ۱۱، شماره ۶۴.۲-۳، مرداد

5. R.N. Shroff J. Appl. Polym. Sci, Vol. 9, 1547, 1965.
6. C.C. Lin "The Rate of Crystallization of Poly(ethylene Terephthalate) by Differential Scanning Calorimetry" Polym. Eng. and Sci, Vol. 23, 113-116, 1983.
7. S.A. Jabarin and E.A. Lofgren "Thermal Stability of Poly (Ethylene Terephthalate)" (Polym. Eng. Sci. Polym .Vol. 24, No. 13, 1056-1063, September 1984.
8. N.Sharmand Shubhada,"Management of Polyethylene Terephthalate (PET) Waste", Asian Text, 58-64,1995.
9. M. Mannhart "Filament Yarn From PET Bottle", Synthetic fibers, 9-12, 1998.
10. L.E. Win, Hand Book Fiber Science and Technology, Fiber Chemistry, Vol. 4, 1983.
11. A .Garton, D.J. Carlsson, L.L. Holmes, D.M. Wiles "Trans-Gauche Rotational Isomers in Partially Oriented Poly(ethylene Terephthalate) Fiber", J. of Appl. Polym. Sci., Vol. 25, 1505-1507, 1980.
12. M.J. Napolitano and A. Moet, "The Effect of Processing Conditions on Structure Evolution in Melt Spun Poly(ethylene Terephthalate) Fiber", J. Appl. Polym. Sci, Vol. 32, 4989-5006, 1986.
13. H. M. Heuvel and R. Huisman "Effect of Winding Speed on the Physical Structure of As-Spun Poly(ethylene Terephthalate) Fibers, Including Orientation Induced Crystallization", J. Appl. Polym. Sci., Vol. 22, 2229-2243, 1978.
14. P. Sajkiewicz, A. Ziabicki, and L. Jarecki "Effects of Structure and Formation Conditions on Mechanical Properties of Polyethylen Terephthalate (PET) Fibers", Fibers & Textiles in Eastern Europe, 44-51, April/June 1998.
15. L.E. Win, Hand Book of Fiber Science and Technology, Vol. IV, Publishd by Marcel Dekker INC .NewYork, ch.1,pp(1-56),1958.
16. H.G.Elias,"Macromolecules",Vol.1,Publishd by John Willy & Sons ,London,1977.