



# خواص ساختاری و فیزیکی نخ رشته‌ای مذاب‌ریسی شده از آمیخته پلی پروپیلن و پلی اتیلن سبک قبل و بعد از بافت دهی

بهاره مهربابی، احمد موسوی شوشتری\*، محمد رضا محدث مجتهدی، علی خسروشاهی

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۱۵۸۱۷۵/۴۴۱۳

دریافت: ۸۵/۱۱/۱۷، پذیرش: ۸۶/۱۱/۲۹

## چکیده

امروزه، استفاده از آمیخته‌های پلیمری برای دست‌یابی به مواد با کیفیت بهتر روز به روز گسترش می‌یابد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده، آمیخته‌سازی پلی اولفین‌ها از نظر صنعتی اهمیت قابل توجهی دارد. در این پژوهش، خواص الیاف تهیه شده از آمیخته پلی پروپیلن و پلی اتیلن سبک بررسی شده است. جزء اصلی در این آمیخته را پلی پروپیلن و جزء کمتر را پلی اتیلن سبک تشکیل داده است. نخ رشته‌ای از مخلوط پلی پروپیلن و پلی اتیلن سبک با درصدهای اختلاط ۱۰۰/۰، ۹۹/۱، ۹۷/۳، ۹۵/۵، ۹۳/۷، ۹۰/۱۰، ۸۰/۲۰، ۷۰/۳۰، ۶۰/۴۰ به روش مذاب‌ریسی و در شرایط صنعتی تولید شده است. سپس، نمونه‌ها زیر عملیات کشش و پس از آن عملیات بافت دهی قرار گرفتند و خواص ساختاری شامل چگالی، خواص گرمایی، ضریب شکست مضاعف و خواص فیزیکی شامل استحکام، ازدیاد طول تا پارگی، مدول و جمع شدگی نمونه‌های نوریس و کشیده شده و خواص کششی و خواص موجی نمونه‌های بافت‌دهی شده بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، وجود پلی اتیلن سبک در نمونه‌های آمیخته اثر محسوسی بر چگالی و مقدار بلورینگی پلی پروپیلن ندارد. از طرف دیگر، با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک در نمونه‌های کشیده شده، جمع شدگی افزایش می‌یابد. بررسی نتایج نشان می‌دهد، استحکام نمونه‌های نوریس و کشیده شده با افزودن پلی اتیلن سبک روند کاهشی دارد، درحالی‌که ازدیاد طول تا پارگی روندی افزایشی را نشان می‌دهد. خواص کششی نخ‌های بافت‌دهی شده به جز مدول در نمونه‌های آمیخته در تمام دماهای بافت دهی مورد آزمایش (به جز دمای ۱۵۰°C) بهتر از نمونه خالص است. با افزایش دمای بافت دهی، خواص موجی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. اما، سرعت افزایش این خواص با افزایش پلی اتیلن سبک کاهش می‌یابد.

## واژه‌های کلیدی

پلی پروپیلن،  
پلی اتیلن سبک،  
آمیخته، نخ رشته‌ای،  
خواص فیزیکی،  
نخ بافت‌دهی شده

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

[amoussavi@aut.ac.ir](mailto:amoussavi@aut.ac.ir)

## Structural and Physical Properties of Filament Yarns Melt-Spun from PP/LDPE Blend Before and After False-Twist Texturing

B. Mehrabli, A. Mousavi Shoshtari\*, M.R. M. Mojtahedi and A. Khosroshahi  
Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875/4413,  
Tehran, Iran

Received 6 February 2007; accepted 18 February 2008

### Abstract

Nowadays, polymer blends usages increase more and more in order to produce materials with better properties. According to many research works, the blends of polyolefins have shown industrial importance. The purpose of this project was to carry out some investigations on fibers melt spun from the polypropylene and low density polyethylene blends. PP and LDPE are immiscible. PP/LDPE blend filament yarns with the blend ratios of 100/0, 99/1, 97/3, 95/5, 93/7, 90/10 were produced by the melt spinning process. Microstructure (density, DSC, birefringence) and physical properties (tenacity, breaking elongation, initial modulus and shrinkage of samples) were measured and compared. The results showed that presence of LDPE in blend samples does not influence the density and crystallinity of PP. However, increasing the fraction of LDPE in blend samples also increases the shrinkage of drawn yarns. The tenacity of as-spun and drawn yarns displayed a downward trend by increasing the LDPE in blend. But the breaking elongation presented an upward trend. Tensile properties of textured yarns spun from PP/LDPE blends were higher than those of pure PP at all applied texturing temperatures (apart from 150°C). Increasing the texturing temperature resulted in the increasing of crimp properties. However, the rate of increase is lower when the fraction of LDPE is higher.

### Key Words

polypropylene,  
low density polyethylene,  
blend, filament yarn,  
physical properties,  
textured yarn

(\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: [amoussavi@aut.ac.ir](mailto:amoussavi@aut.ac.ir)

## مقدمه

امروزه، کاربرد الیاف با توسعه صنایع جدید مثل کامپوزیت‌ها، عایق‌ها، پرکننده‌ها، اجزای فضاپیماها، سازه‌های مورد استفاده در مهندسی پزشکی و لباس‌های محافظ افزایش یافته است. همراه با این پیشرفت‌ها در فناوری، نیاز به تولید الیاف با خواص فیزیکی و شیمیایی بهتر، یکنواختی ساختاری بیشتر، رنگ‌پذیری و چاپ‌پذیری بهتر، پایداری نوری و گرمایی زیادتر، خواص مکانیکی بهتر، جذب رطوبت بیشتر و کاهش تمایل به جذب الکتریسیته ساکن آشکار شد.

یکی از روش‌های دست‌یابی به الیاف با خواص مناسب تهیه پلیمرهای جدیدی است که این کار مستلزم صرف هزینه و وقت بسیار است. روش متداول‌تر دیگر که امروزه بسیار استفاده می‌شود، بهبود خواص از راه اصلاح پلیمرهای مورد استفاده برای تولید الیاف است. روش‌های متفاوتی برای اصلاح پلیمرها وجود دارد. یکی از روش‌های اصلاح، اضافه کردن مواد افزودنی به پلیمر است. همچنین، پیوند زدن ماده‌ای خاص به پلیمر مورد نظر روش دیگری است که در اصطلاح به آن پیوندزدن می‌گویند و روش سوم آمیخته‌سازی پلیمرهاست که در بین روش‌های گفته شده، این روش ساده‌تر و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است. در این پژوهش، نیز از این روش استفاده شده است. پژوهشگران مختلف اهداف زیادی برای آمیخته‌سازی پلیمرها بیان کرده‌اند که از میان آنها سه هدف اصلی تولید مواد با مجموعه‌ای از خواص ویژه مورد نظر، بهبود خاصیتی ویژه مثل استحکام ضربه‌ای، سختی، نرمی، مقاومت در برابر حلال‌هایی شیمیایی، مقاومت در برابر سایش، اشتعال‌پذیری، جلا و کاهش قیمت تمام شده برای تولید، بیشتر مورد توجه بوده است [۱-۶].

اصلاح خواص الیاف به وسیله روش آمیخته‌سازی پلیمرها به طور صنعتی از طرح آمیخته PA/PET شروع شد و هدف آن بهبود خاصیت کشسانی و برگشت‌پذیری الیاف پلی‌آمید بود [۳]. در سال ۱۹۶۰ پلی پروپیلن در محدوده ۵۰ تا ۹۵ درصد با پلی اتیلن برای دست‌یابی به استحکام ضربه‌ای زیاد آمیخته شد. در سال ۱۹۷۳ یکی از اولین مصارف آمیخته‌های پلی پروپیلن و پلی اتیلن به عنوان مواد مهندسی سخت، تشریح شد [۲]. امتزاج‌پذیری پلی پروپیلن با پلی اتیلن بستگی زیادی به وزن و ساختار مولکولی اجزا دارد. معمولاً آمیخته پلی پروپیلن و پلی اتیلن سبک ساختاری دو فازی را تشکیل می‌دهد که به آن ساختار ماتریس - لیفچه گفته می‌شود. جزء بیشتر ماتریس و جزء کمتر لیفچه‌های درون ماتریس را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر، این دو پلیمر ناسازگارند. بنابراین، مشکل اصلی که ضمن آمیخته‌سازی ایجاد می‌شود، چسبندگی ضعیف در فصل مشترک دو پلیمر است. از این رو،

برای رفع این مشکل به مخلوط آنها سازگارکننده اضافه می‌کنند [۷-۱۰]. در این پژوهش، نمونه نخ رشته‌ای پلی پروپیلن خالص و پنج نمونه نخ رشته‌ای آمیخته پلی پروپیلن، پلی اتیلن سبک بدون استفاده از سازگارکننده و با سرعت زیاد، به منظور بررسی و مقایسه خواص ساختاری و خواص کششی نمونه خالص با نمونه‌های آمیخته تولید شد. از طرف دیگر، با توجه به این نکته که نخ بافت‌دهی شده در صنعت نساجی کاربرد فراوانی دارد، بررسی و مقایسه خواص کششی و خواص موجی نمونه خالص بافت‌دهی شده با نمونه‌های آمیخته، از جمله اهداف دیگر این پژوهش بوده است.

## تجربی

### مواد

برای تهیه نمونه‌ها از دو دانه پلی پروپیلن تک‌نظم و پلی اتیلن سبک با نام‌های تجاری PP512P و HP4023W محصول شرکت Sabic عربستان، دارای شاخص‌های جریان مذاب ۲۵ و  $10 \text{ g}/\text{min}$  و چگالی  $0.901 \text{ g}/\text{cm}^3$  و  $0.924 \text{ g}/\text{cm}^3$  استفاده شد. لعاب ریسندهی مورد استفاده در این پژوهش Stantex T900 ساخت شرکت سمن گستر شیمی بود.

### دستگاه‌ها

دستگاه Plastometer 2000 ساخت شرکت ایرانی نسج‌سنج برای اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب، دستگاه مذاب‌ریسی نیمه‌صنعتی ساخت شرکت Automatik کشور آلمان برای ریسندهی نمونه‌ها، دستگاه کشش - تاب دو ناحیه‌ای با غلتک گادت گرم مدل 520 3 500 00 D ساخت شرکت Zinser کشور آلمان برای اندازه‌گیری کشش نمونه‌های نوریسی، دستگاه EMT-3050 ساخت شرکت ایرانی الیما برای بررسی خواص کششی نمونه‌های تولید شده، گرماسنج پویشی تفاضلی مدل ۲۰۱۶ ساخت شرکت TA Instrument کشور آمریکا برای بررسی خواص گرمایی نمونه‌ها، میکروسکوپ تداخلی مدل Amplival Interphak ساخت شرکت Carl-Ziess Lense کشور آلمان برای اندازه‌گیری ضریب شکست نمونه‌ها و ستون مدرج برای اندازه‌گیری چگالی نمونه‌ها به کار گرفته شد. نمونه‌هایی که با نسبت کشش مناسب به ازدیاد طول تا پارگی حدود ۵۵۰ درصد رسیده‌اند، به وسیله دستگاه بافت‌دهی مدل Ernest Scragg and Sons CS 12 600 minibul ساخت شرکت کشور انگلستان بافت‌دهی شدند. این دستگاه، مجهز به تاب‌دهنده سوزنی است.

**روش‌ها**

برای تهیه نمونه‌ها ابتدا دانه‌ها بر اساس درصد‌های وزنی ذکر شده در جدول ۱ توزین شدند، سپس به طور فیزیکی با هم مخلوط و پس از آن مخلوط‌های مورد نظر به اکسترودر تغذیه شدند. ریسندگی نمونه‌ها با سرعت برداشت ۲۰۰۰ m/min و دمای ۲۳۰°C انجام شد. نمونه‌ها زیر عملیات کشش متغیر برای دست‌یابی به ازدیاد طول حدود ۵۰ درصد بر اساس شرایط مندرج در جدول ۲ قرار گرفتند. در جدول ۳ نسبت کشش نهایی اعمال شده برای حصول ازدیاد طول تا پارگی حدود ۵۵۰ درصد ذکر شده است. سپس، نمونه‌های کشیده شده بر اساس شرایط ذکر شده در جدول ۴ و به روش تاب مجازی بافت دهی شدند.

شاخص جریان مذاب بر اساس استاندارد ASTM D1248 [۱۱] اندازه‌گیری شد. برای تعیین چگالی نمونه‌ها از روش تهیه ستون مدرج چگالی طبق استاندارد ASTM D792 استفاده شد [۱۲]. چگالی پلی‌پروپیلن در نمونه‌های آمیخته به کمک معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{\rho_{blend}} = \frac{W_{pp}}{\rho_{pp}} + \frac{W_{LDPE}}{\rho_{LDPE}} \quad (1)$$

$W_{pp}$  درصد وزنی جزء پلی‌پروپیلن در آمیخته و  $W_{LDPE}$  درصد وزنی جزء پلی‌اتیلن سبک در آمیخته است.  $\rho_{blend}$  چگالی نمونه آمیخته است که به کمک ستون مدرج محاسبه شده است،  $\rho_{LDPE}$  چگالی جزء پلی‌اتیلن سبک است که با توجه به نظریه پژوهشگران ثابت و برابر چگالی دانه پلی‌اتیلن سبک منظور می‌شود.  $\rho_{pp}$  چگالی پلی‌پروپیلن در آمیخته است که پس از محاسبه، برای محاسبه مقدار بلورینگی پلی‌پروپیلن در نمونه‌ها در معادله (۲) قرار داده می‌شود [۱۳]:

$$X = \frac{(\rho - \rho_a)}{(\rho_c - \rho_a)} \times \frac{\rho_c}{\rho} \quad (2)$$

جدول ۱- نسبت وزنی اجزا در نمونه‌های تهیه شده.

نمونه	درصد وزنی PP	درصد وزنی LDPE
۱	۱۰۰	۰
۲	۹۹	۱
۳	۹۷	۳
۴	۹۵	۵
۵	۹۳	۷
۶	۹۰	۱۰

جدول ۲- شرایط اعمال شده برای کشش نمونه‌ها.

مقدار	مشخصه
۰۰۴	سرعت دستگاه (m/min)
۰۰۰۴	سرعت دوک (rpm)
۰۸	دمای گادت اول (°C)
۰۴۱	دمای گرم کن تماسی (°C)
۸	تعداد نخ حول گادت اول
۶	تعداد نخ حول گادت دوم
۱/۵	فشار هوای جت (bar)

$X$  درصد بلورینگی،  $\rho$  چگالی نمونه،  $\rho_a$  چگالی نمونه کاملاً بی‌شکل و  $\rho_c$  چگالی نمونه صد در صد بلوری است که  $\rho_a$  و  $\rho_c$  برای پلیمرهای مختلف در مراجع ذکر شده است. برای پلی‌پروپیلن  $\rho_c = 0.932 \text{ g/cm}^3$ ،  $\rho_a = 0.8535 \text{ g/cm}^3$  و برای پلی‌اتیلن سبک  $\rho_c = 0.991 \text{ g/cm}^3$  و  $\rho_a = 0.811 \text{ g/cm}^3$  گزارش شده است [۱۴]. برای بررسی خواص گرمایی نمونه‌ها، سرعت گرمادهی  $10^\circ\text{C/min}$  زیر جو نیتروژن و در محدوده دمای محیط تا  $220^\circ\text{C}$  انتخاب شد. درصد بلورینگی آمیخته‌ها از معادله (۳) محاسبه می‌شود:

$$X_i = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_i^*} \times \frac{1}{w_i} \times 100 \quad (3)$$

$X_i$  درصد بلورینگی،  $\Delta H_m$  آنتالپی ذوب محاسبه شده به وسیله دستگاه،  $W_i$  درصد وزنی و  $\Delta H_i^*$  آنتالپی ذوب صد درصد بلوری برای جزء مورد نظر است که مقدار این آنتالپی در مراجع برای پلی‌پروپیلن  $209 \text{ J/g}$  و برای پلی‌اتیلن سبک  $290 \text{ J/g}$  گزارش شده است [۱۵].

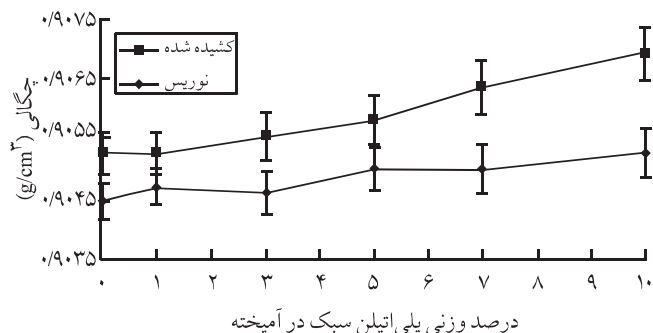
برای اندازه‌گیری خواص کششی سرعت فک‌ها  $50 \text{ cm/min}$ ، طول

جدول ۳- نسبت کشش نهایی برای دست‌یابی به ازدیاد طول حدود ۵۵۰ درصد.

درصد وزنی LDPE	نسبت کشش نهایی
۱۰۰/۰	۱/۷۰۹
۹۹/۱	۱/۷۱۸
۹۷/۳	۱/۷۹۵
۹۵/۵	۱/۷۷۴
۹۳/۷	۱/۷۰۰
۹۰/۱۰	۱/۸۰۰

جدول ۴- شرایط اعمال شده برای بافت دهی نمونه‌ها.

۱۰۰	سرعت دستگاه بافت دهی (m/min)
۳۰۰۰۰۰	سرعت دوک (rpm)
۱۵۰، ۱۴۰، ۱۳۰، ۱۲۰، ۱۱۰	دماهای بافت دهی (°C)
۳۰۰۰	تاب در متر
۷۰۶۶	نسبت کشش

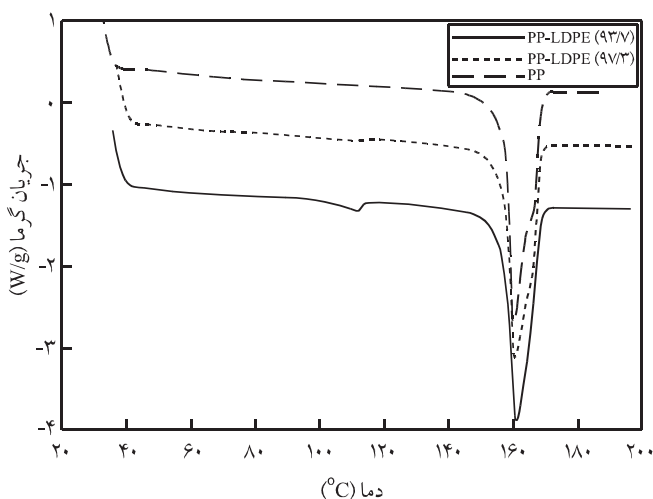


شکل ۱- چگالی نمونه‌های نورس و کشیده شده.

اعمال کشش، چگالی نمونه‌های کشیده شده به نسبت نمونه‌های نورس بیشتر است. آشکار است، بلورینگی نمونه‌ها نیز که بر اساس چگالی محاسبه می‌شود، از این روند پیروی می‌کند.

### خواص گرمایی

نمودارهای گرمایی نمونه‌های نورس و کشیده شده به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در نمودار گرمایی نمونه‌های آمیخته، دو پیک ذوب کاملاً مجزا دیده می‌شود که یکی مربوط به پلی‌پروپیلن و دیگری مربوط به پلی‌اتیلن سبک است. این نمودارهای گرمایی با چنین ساختاری نشان‌دهنده امتزاج‌ناپذیری دو جزء است. نتایج بررسی خواص گرمایی نمونه‌های نورس و کشیده شده به ترتیب در جداول ۵ و ۶ ذکر شده است. بر اساس داده‌های مندرج در جدول ۵ در نمونه‌های نورس تفاوت محسوسی در دمای ذوب و درصد بلورینگی پلی‌پروپیلن در نمونه‌های آمیخته در مقایسه با نمونه‌های



شکل ۲- نمودار گرمایی نمونه‌های نورس.

اولیه برای نمونه‌های نورس ۱۰ cm و برای نمونه‌های کشیده شده و بافت دهی شده ۳۰ cm انتخاب شد. مقدار جمع‌شدگی الیاف تولید شده و خواص موجی الیاف بافت دهی شده بر اساس استاندارد DIN 53840 [۱۶] اندازه‌گیری شد.

لازم به ذکر است تمام نتایج به دست آمده به وسیله نرم‌افزار آماری SPSS در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین ترتیب که برای بررسی چگالی و ضریب شکست مضاعف نمونه‌ها، اندازه‌گیری برای هر نمونه سه مرتبه و برای بررسی خواص کششی، اندازه‌گیری برای هر نمونه ده مرتبه انجام شده است. برای بررسی خواص موجی و مقدار جمع‌شدگی، اندازه‌گیری برای هر نمونه پنج مرتبه انجام شده است. سپس داده‌های به دست آمده به وسیله آزمون Anova، بررسی شدند.

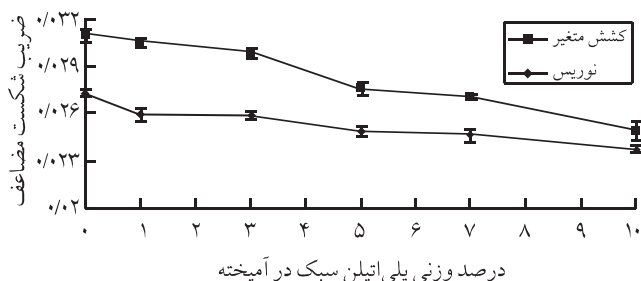
## نتایج و بحث

### قابلیت ریسندگی

تمام نمونه‌ها که شامل یک نمونه خالص و پنج نمونه آمیخته است، با قابلیت ریسندگی مطلوب تولید و مشاهده شد که وجود پلی‌اتیلن سبک در آمیخته تا مقدار مورد بررسی که حدود ۱۰ درصد انتخاب شده بود، باعث سهولت فرایند ریسندگی می‌شود.

### چگالی

شکل ۱ چگالی نمونه‌های نورس و نمونه‌های کشیده شده را نشان می‌دهد. در شکل با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک در آمیخته روندی افزایشی با سرعت کم دیده می‌شود که از نظر آماری حائز اهمیت نیست. در نتیجه اختلاف بین چگالی نمونه خالص با نمونه‌های آمیخته در هر دو دسته نمونه‌ها محسوس نیست. اما، اختلاف چگالی نمونه‌های کشیده شده و نورس از نظر آماری معنی‌دار است. احتمالاً به دلیل تراکم بیشتر زنجیرهای مولکولی و در نتیجه آرایش یافتگی و بلورینگی در اثر

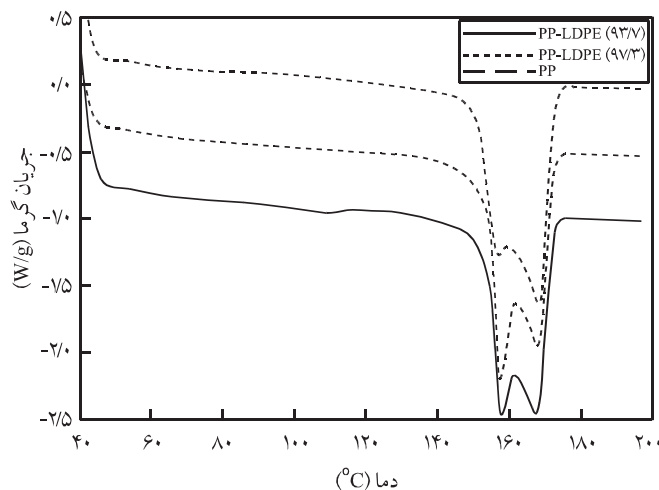


شکل ۴ - ضریب شکست نمونه‌های نورس و کشیده شده.

نمونه‌های کشیده شده بیک ذوب مربوط به پلی‌پروپیلن به شکل دوتایی است که بر اساس نظر پژوهشگران مختلف علت وقوع چنین حالتی به دلیل وجود بلورها با درجه تکامل متفاوت است [۱۹].

### ضریب شکست مضاعف

شکل ۴ ضریب شکست نمونه‌های نورس و کشیده شده را نشان می‌دهد. مطابق شکل ضریب شکست مضاعف هر دو گروه از نمونه‌ها با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک افت می‌کند. از طرف دیگر، ضریب شکست مضاعف نمونه‌های کشیده شده به مقدار قابل توجهی بیشتر از ضریب شکست نمونه‌های نورس است. به نظر می‌رسد، با اعمال کشش و موازی شدن زنجیرهای پلیمری در راستای محور لیف، آرایش یافتگی نمونه‌های کشیده شده نسبت به نمونه‌های نورس به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. بنابراین، وقوع چنین حالتی موجب افزایش



شکل ۳ - نمودار گرمایی نمونه‌های کشیده شده.

خالص مشاهده نمی‌شود. همین نتیجه در بررسی داده‌های مندرج در جدول ۶ برای نمونه‌های کشیده شده، مشاهده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد، وجود پلی‌اتیلن سبک اثر قابل توجهی بر خواص گرمایی پلی‌پروپیلن ندارد. از طرف دیگر این نتایج، داده‌های به دست آمده مربوط به چگالی، مبنی بر عدم تغییر درصد بلورینگی نمونه‌ها با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک را تأیید می‌کند.

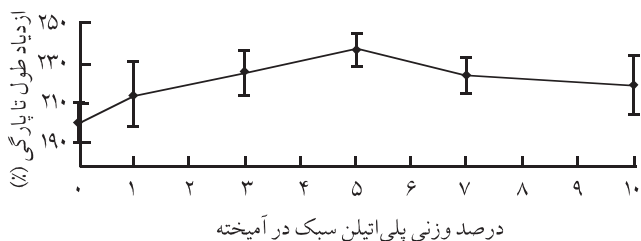
این نتایج، با نتایج به دست آمده توسط سایر پژوهشگران [۱۷، ۱۸] مبنی بر عدم تغییر بلورینگی پلی‌پروپیلن هنگام استفاده از پلی‌اتیلن سبک مطابقت دارد. ذکر این نکته لازم است که در نمودارهای گرمایی

جدول ۵- نتایج بررسی خواص گرمایی نمونه‌های نورس.

LDPE			PP			درصد وزنی PP/LDPE	نمونه
درصد بلورینگی	گرمای ذوب (J/g)	دمای ذوب (°C)	درصد بلورینگی	گرمای ذوب (J/g)	دمای ذوب (°C)		
-	-	-	۶۷/۹۹	۱۴۲/۱۰	۱۶۰/۲۰	۱۰۰/۰	۱
۳۳/۳۷	۹۶/۸۰	۱۱۱/۳۰	۶۷/۷۷	۱۴۱/۶۴	۱۶۱/۰۴	۹۷/۳	۳
۳۲/۸۳	۹۵/۲۱	۱۱۱/۲۴	۶۹/۸۱	۱۴۵/۹۱	۱۶۱/۱۲	۹۳/۷	۵

جدول ۶- نتایج بررسی خواص گرمایی نمونه‌های کشیده شده.

LDPE			PP		دمای ذوب (°C)		درصد وزنی PP/LDPE	نمونه
درصد بلورینگی	گرمای ذوب (J/g)	دمای ذوب (°C)	درصد بلورینگی	گرمای ذوب (J/g)	ثانویه	اولیه		
-	-	-	۷۵/۳۱	۱۵۷/۴	۱۶۸/۰۷	۱۵۷/۵۰	۱۰۰/۰	۱
۱۷/۹۹	۵۲/۱۸	۱۰۵/۳۰	۱۰۵/۳۰	۱۵۲/۲۷	۱۶۸/۸۶	۱۵۷/۷۷	۹۷/۳	۳
۱۹/۶۵	۵۷/۰۰	۱۰۸/۱۲	۱۰۸/۱۲	۱۵۱/۹۲	۱۶۷/۵۰	۱۵۷/۹۹	۹۳/۷	۵



شکل ۶- ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های نوریس.

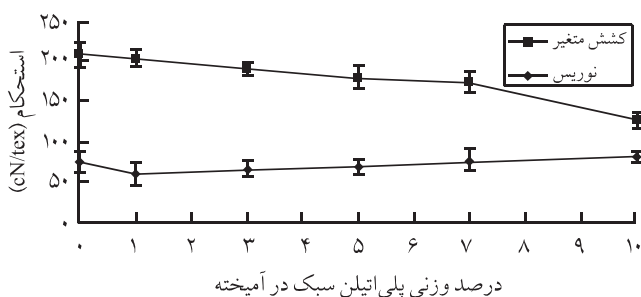
قرار گرفته است. بنابراین، تفاوتی در ازدیاد طول نمونه‌ها دیده نمی‌شود.

### مدول

شکل ۷ مدول نمونه‌های نوریس و کشیده شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، اختلاف محسوسی بین مدول نمونه‌های نوریس مشاهده نمی‌شود. اما در نمونه‌های کشیده شده، مدول دارای روندی است مشابه با آن‌چه درباره استحکام ذکر شد. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که وجود پلی اتیلن سبک در آمیخته باعث کاهش اندازه بلورهای تشکیل شده در این نمونه‌ها می‌شود [۲۱، ۲۲]. بنابراین، ممکن است کاهش مدول نمونه‌های کشیده شده به این دلیل باشد. از طرف دیگر، درصد بلورینگی و مقدار آرایش‌یافتگی نیز از عوامل دیگر مؤثر بر مدول است. با توجه به این که با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک تغییری در مقدار تبلور نمونه‌ها ایجاد نشده است، به نظر می‌رسد در نمونه‌های نوریس عدم تغییر مقدار بلورینگی بر تغییر احتمالی اندازه بلورها و افت آرایش‌یافتگی با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک غلبه کرده و مانع از تغییر مدول نمونه‌ها شده است. اما، در مورد نمونه‌های کشیده شده ممکن است کاهش احتمالی اندازه بلورها و افت آرایش‌یافتگی موجب افت مدول شده باشد.

### جمع شدگی

شکل ۸ جمع شدگی نمونه‌های نوریس و کشیده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۷- مدول نمونه‌های نوریس و کشیده شده.

ضریب شکست مضاعف نمونه‌های کشیده شده نسبت به نمونه‌های نوریس شده است.

### خواص کششی

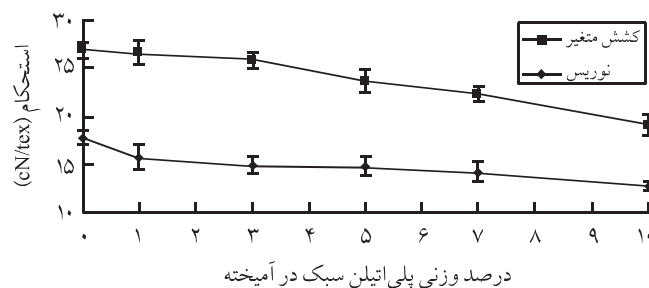
#### استحکام

شکل ۵ استحکام نمونه‌های نوریس و کشیده شده را نشان می‌دهد. بر اساس تجزیه و تحلیل آماری نتایج، برای نمونه‌های نوریس از محتوای ۱ درصد پلی اتیلن سبک در نمونه‌ها، استحکام کاهش می‌یابد و این کاهش برای نمونه‌های کشیده شده از محتوای ۳ درصد پلی اتیلن سبک آغاز می‌شود. احتمالاً کاهش استحکام به دلیل عدم چسبندگی کافی در فصل مشترک دو پلیمر و کاهش آرایش‌یافتگی در اثر افزودن پلی اتیلن سبک رخ داده است. البته کاهش استحکام در نمونه‌های نوریس و کشیده شده دارای ۱۰ درصد پلی اتیلن سبک قابل توجه است، اما در مورد سایر نمونه‌ها افت استحکام در حدی نیست که بتواند خواص نمونه‌ها را از حد مطلوب خارج کند.

#### ازدیاد طول تا پارگی

شکل ۶ ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های نوریس را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری در نمونه‌های نوریس با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک در آمیخته تا مقدار ۵ درصد، افزایش ازدیاد طول تا پارگی مشاهده می‌شود، اما، با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک از ۵ درصد ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها کم می‌شود. افزایش ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های آمیخته احتمالاً به دلیل بیشتر بودن ازدیاد طول تا پارگی پلی اتیلن سبک نسبت به پلی پروپیلن است [۲۰]. با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک در آمیخته بیشتر از ۵ درصد، ممکن است به دلیل کاهش مقدار چسبندگی در سطح مشترک دو پلیمر، ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها کاهش یابد.

در مورد نمونه‌های کشیده شده با نسبت کشش متغیر، با اعمال نسبت‌های کشش متفاوت از دیاد طول تمام نمونه‌ها در محدوده ۵۵ درصد



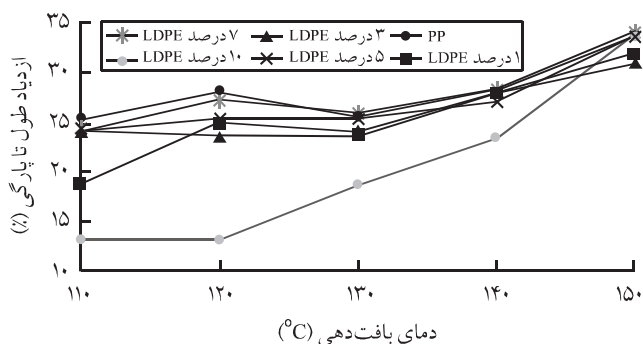
شکل ۵- استحکام نمونه‌های نوریس و کشیده شده.

دمای بافت دهی، استحکام تمام نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، از دمای ۱۱۰ تا ۱۳۰°C استحکام نمونه‌های آمیخته دارای ۳ تا ۷ درصد پلی‌اتیلن سبک از استحکام نمونه خالص بیشتر است. در دمای ۱۴۰°C تفاوت محسوسی بین استحکام این نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود. اما، در دمای ۱۵۰°C استحکام نمونه خالص از استحکام نمونه‌های آمیخته بیشتر است. به نظر می‌رسد، وجود پلی‌اتیلن سبک از مقدار ۳ تا ۷ درصد باعث افزایش استحکام نمونه‌های آمیخته نسبت به نمونه خالص در دماهای ۱۱۰ تا ۱۳۰°C شده است. نتایج به دست آمده با نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار آماری SPSS در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد مطابقت دارد.

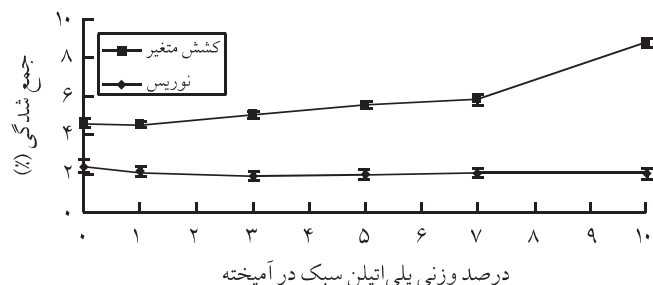
### ازدیاد طول تا پارگی

شکل ۱۰ ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های بافت دهی شده را در پنج دمای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، با افزایش دمای بافت دهی ازدیاد طول تا پارگی تمام نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، از دمای ۱۱۰ تا ۱۴۰°C ازدیاد طول تا پارگی تمام نمونه‌های آمیخته از نمونه خالص بیشتر است. نمونه دارای ۵ درصد پلی‌اتیلن سبک در تمام دماهای بافت دهی مورد بررسی، بیشترین ازدیاد طول تا پارگی را نسبت به سایر نمونه‌ها دارند. در دمای ۱۵۰°C تفاوت محسوسی بین ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها دیده نمی‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد، وجود پلی‌اتیلن سبک در این دما نقشی در افزایش ازدیاد طول تا پارگی نسبت به نمونه خالص نداشته است.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن سبک توسط سایر پژوهشگران نشان داده است که ازدیاد طول تا پارگی پلی‌اتیلن سبک بیشتر از پلی‌پروپیلن است [۲۰]. بر این اساس به نظر می‌رسد، افزایش ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های آمیخته دارای پلی‌اتیلن سبک نسبت به پلی‌پروپیلن خالص در دماهای ۱۱۰ تا ۱۴۰°C قابل توجیه است.



شکل ۱۰ - نمودار ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های بافت دهی شده در دماهای مختلف.



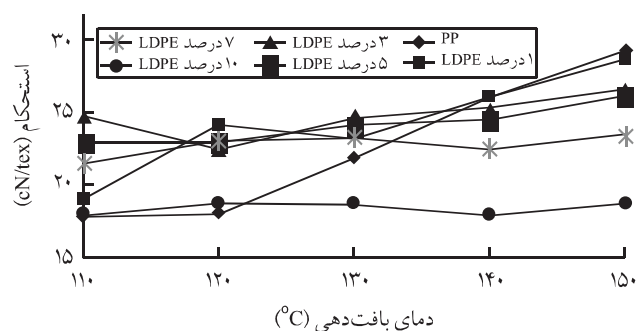
شکل ۸ - جمع شدگی نمونه‌های نوریس و کشیده شده.

همان‌طور که در شکل مشخص است و نتایج تجزیه و تحلیل آماری آن را تأیید می‌کند، در نمونه‌های نوریس اختلافی بین جمع شدگی نمونه‌های آمیخته و خالص مشاهده نمی‌شود. اما، در مورد نمونه‌های کشیده شده، جمع شدگی نمونه‌ها با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک روندی افزایشی را نشان می‌دهد. درصد بلورینگی و اندازه بلورها و مقدار آرایش یافتگی از جمله عوامل مؤثر بر جمع شدگی هستند. مانند آن‌چه برای مدول نمونه‌ها ذکر شد، با توجه به عدم اختلاف در بلورینگی نمونه‌ها، ممکن است کاهش احتمالی اندازه بلورها و کاهش آرایش یافتگی موجب بیشتر شدن جمع شدگی در نمونه‌های کشیده شده شود. به نظر می‌رسد، برای نمونه‌های نوریس، عدم تغییر مقدار بلورینگی بر تغییر احتمالی اندازه بلورها و افت آرایش یافتگی با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک غلبه کرده و مانع از تغییر جمع شدگی نمونه‌ها شده است.

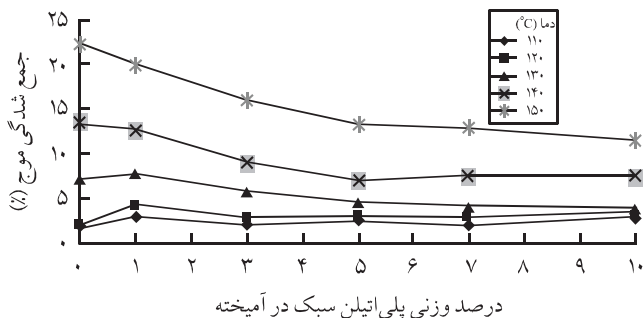
### خواص کششی نخ‌های بافت دهی شده

#### استحکام

شکل ۹ استحکام نمونه‌های بافت دهی شده را در پنج دمای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز ملاحظه می‌شود، با افزایش



شکل ۹ - نمودار استحکام نمونه‌های بافت دهی شده بر اساس دمای بافت دهی.



شکل ۱۲ - جمع شدگی موج نمونه‌های بافت دهی شده در پنج دمای مختلف.

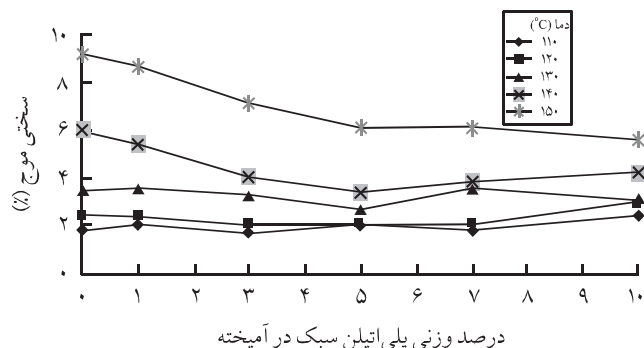
### خواص موجی

#### جمع شدگی موج

شکل ۱۲ جمع شدگی موج نمونه‌های بافت دهی شده را بر اساس درصد وزنی پلی اتیلن سبک در پنج دمای مورد نظر، نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، با افزایش دما مقدار جمع شدگی موج در تمام نمونه‌ها افزایش می‌یابد. اما، با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک در نمونه‌ها از دمای ۱۳۰ تا ۱۵۰°C جمع شدگی موج روندی کاهشی نشان می‌دهد.

#### سختی موج

شکل ۱۳ سختی موج نمونه‌های بافت دهی شده را بر اساس درصد وزنی پلی اتیلن سبک در پنج دمای مورد نظر، نشان می‌دهد. سختی موج نیز مانند جمع شدگی موج با افزایش دما، افزایش می‌یابد. اما، در دماهای ۱۴۰ و ۱۵۰°C با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک در نمونه‌ها سختی موج روندی کاهشی را نشان می‌دهد. با وجود این، در سایر دماهای بررسی شده بین سختی موج نمونه‌های خالص و نمونه‌های آمیخته تفاوت محسوسی مشاهده نمی‌شود.



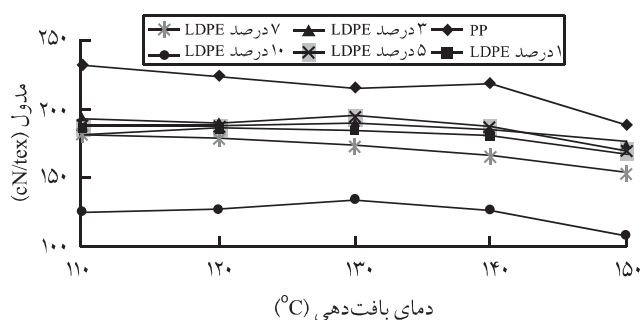
شکل ۱۳ - سختی موج نمونه‌های بافت دهی شده در پنج دمای مختلف.

از آن‌جا که پلی پروپیلن مورد استفاده در دمای ۱۷۰°C ذوب می‌شود و دمای ۱۵۰°C فقط ۲۰°C کمتر از دمای ذوب پلی پروپیلن است، در نتیجه ممکن است در این دما، مقدار ازدیاد طول تا پارگی نمونه خالص همانند نمونه‌های آمیخته شده باشد.

### مدول

شکل ۱۱ مدول نمونه‌های بافت دهی شده را در پنج دمای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز ملاحظه می‌شود، با افزایش دمای بافت دهی، مدول تمام نمونه‌ها روندی کاهشی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر، با افزایش مقدار پلی اتیلن سبک در نمونه‌ها نیز، روندی کاهشی در مدول مشاهده می‌شود. البته بین مدول نمونه‌های دارای ۱ تا ۵ درصد پلی اتیلن سبک اختلاف محسوسی مشاهده نمی‌شود. اما، افت مدول این نمونه‌ها نسبت به نمونه خالص آشکار است. نتایج به دست آمده با نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SPSS مطابقت دارد.

بنابر آن‌چه که ذکر شد، این‌طور به نظر می‌رسد که افزایش دمای بافت دهی در تمام نمونه‌ها باعث افت مدول شده است. با توجه به این که در عملیات بافت دهی تنش پیچشی شدیدی به نمونه‌ها وارد می‌شود و با افزایش دما، احتمال صدمه دیدن بلورهای موجود در نمونه‌ها زیاد است. بنابراین ممکن است، بدین وسیله تغییری در مقدار بلورینگی یا اندازه بلورها ایجاد شده باشد. از این رو ممکن است، افت مدول نمونه‌ها در اثر افزایش دما به این دلیل باشد. از طرف دیگر، نتایج پژوهش‌های Galeski و همکاران [۲۱] و Teh [۲۲] نشان داده است که در اثر افزودن پلی اتیلن سبک به پلی پروپیلن اندازه بلورها کوچکتر می‌شود. بنابراین ممکن است، کاهش مدول نمونه‌های مزبور نیز در اثر افزایش مقدار پلی اتیلن سبک، بدین دلیل باشد. اما، به دلیل عدم بررسی مقدار بلورینگی و اندازه بلورها در این پژوهش، نمی‌توان به‌طور قطع در این باره اظهار نظر کرد.



شکل ۱۱ - نمودار مدول نمونه‌های بافت دهی شده در پنج دمای مختلف.



در شرایط ریسندگی انتخاب شده، تغییر محسوسی در چگالی و مقدار بلورینگی پلی‌پروپیلن ایجاد نمی‌کند.

افزودن پلی‌اتیلن سبک به پلی‌پروپیلن احتمالاً به دلیل عدم چسبندگی کافی در فصل مشترک دو جزء و کاهش مقدار آرایش یافتگی، سبب می‌شود استحکام نمونه‌های نوریس از محتوای بیشتر از ۱ درصد پلی‌اتیلن سبک و برای نمونه‌های کشیده شده از محتوای بیشتر از ۳ درصد پلی‌اتیلن سبک کاهش یابد. البته افت استحکام در نمونه دارای ۱۰ درصد پلی‌اتیلن سبک قابل توجه است، اما برای سایر نمونه‌ها چندین محسوس نیست. از طرف دیگر، با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک از دیاد طول تا پارگی نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

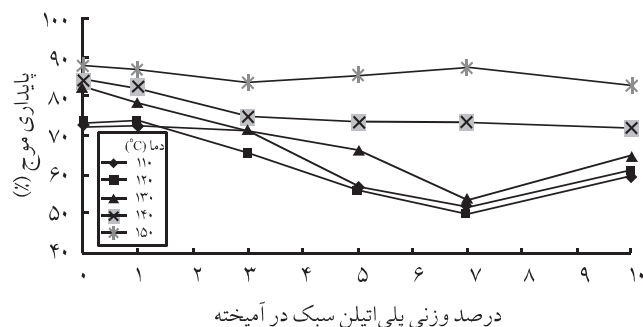
جمع شدگی نمونه‌های کشیده شده با ازدیاد مقدار پلی‌اتیلن سبک در آمیخته افزایش می‌یابد، در حالی که بین جمع شدگی نمونه‌های نوریس اختلاف محسوسی مشاهده نمی‌شود. استحکام نمونه‌های آمیخته به جز نمونه دارای ۱۰ درصد پلی‌اتیلن سبک در دماهای ۱۱۰°C تا ۱۳۰°C نسبت به نمونه خالص بیشتر است. اما، در دمای ۱۵۰°C استحکام نمونه‌های آمیخته نسبت به نمونه خالص افت می‌کند.

از دیاد طول تا پارگی نمونه‌های آمیخته در دماهای ۱۱۰°C تا ۱۴۰°C نسبت به نمونه خالص بیشتر است. تنها در دمای ۱۵۰°C است که اختلافی بین از دیاد طول تا پارگی نمونه‌های آمیخته و نمونه خالص وجود ندارد. مدول نمونه‌های بافت‌دهی شده با افزایش دما افت می‌کند. همچنین، مدول نمونه‌های آمیخته نسبت به مدول نمونه خالص در دماهای مختلف مقداری افت نشان می‌دهد.

بررسی خواص کششی نشان می‌دهد، وجود پلی‌اتیلن سبک موجب بافت‌دهی موفق در دماهای کمتر از ۱۴۰°C شده است که برای بافت‌دهی پلی‌پروپیلن خالص دماهای مناسبی نیست. با افزایش دمای بافت‌دهی خواص موجی نمونه‌ها تقویت می‌شود. اما سرعت افزایش این خواص با افزایش پلی‌اتیلن سبک کاهش می‌یابد.

### قدردانی

از طرح پژوهش‌های اساسی بخش صنایع و معدن وزارت صنایع و معادن به دلیل حمایت مالی این پژوهش و پژوهشکده مواد و فناوری‌های پیشرفته در نساجی به دلیل همکاری‌های صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.



شکل ۱۴ - پایداری موج نمونه‌های بافت‌دهی شده در پنج دمای مختلف.

### پایداری موج

شکل ۱۴ درصد پایداری موج نمونه‌های بافت‌دهی شده را بر اساس درصد وزنی پلی‌اتیلن سبک در پنج دمای مورد نظر نشان می‌دهد. درصد پایداری موج نیز با افزایش دمای بافت‌دهی افزایش می‌یابد. در دماهای ۱۳۰°C و ۱۴۰°C با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک در نمونه‌ها پایداری موج روندی کاهشی را نشان می‌دهد. اما، در دمای ۱۵۰°C، مقدار پایداری موج نمونه‌ها اختلاف آماری مشخصی ندارد. بنابراین به نظر می‌رسد که وجود پلی‌اتیلن سبک در این نمونه‌ها اثری بر پایداری موج در این دما نداشته است.

بر اساس نتایج به دست آمده، به طور کلی مشاهده شد که با افزایش دما، خواص موجی نمونه‌ها بهبود می‌یابد. با افزایش دما، حرکت زنجیرهای پلیمری افزایش می‌یابد و در نتیجه پیوندهای ثانویه راحت‌تر شکسته می‌شوند و از طرف دیگر، این پیوندهای شکسته شده با افزایش دما در مکان‌های جدید نیز راحت‌تر تثبیت می‌شوند. به نظر می‌رسد، احتمالاً به این دلیل، افزایش دما موجب افزایش خواص موجی شده است. اما، مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار پلی‌اتیلن سبک سرعت افزایش خواص موجی با افزایش دما کاهش می‌یابد. دلیل قطعی برای این رخداد مشخص نشده است، اما ممکن است ساختار شاخه‌دار پلی‌اتیلن سبک باعث کاهش سهولت شکستن پیوندهای ثانویه و تثبیت آنها در مکان‌های جدید شده باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزودن پلی‌اتیلن سبک به پلی‌پروپیلن

## مراجع

1. Salem D.R., *Structure Formation in Polymeric Fibers*, Hanser, USA, 29-50, 397-400, 2001.
2. Utracki L.A., *Commercial Polymer Blends*, Chapman and Hall, National Research Council of Canada, 85-86, 254-258, 1998.
3. Marcincin A., Modification of Fiber-forming Polymers by Additives, *Prog. Polym. Sci.*, **27**, 853-913, 2002.
4. Vasile C., *Handbook of Polyolefins*, Marcel Dekker, USA, 613-621, 2000.
5. Deopura B.L., Mahajan S. and Bhaumik K.N., Fibers and Films from Polyolefin Blends, *Indian. J. Fiber Text. Res.*, **18**, 30-42, 1993.
6. Haghghat Kish M., *Polypropylene*, Iran Polymer Society, Iran, 2005.
7. Karia H.G., *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composite*, Marcel Dekker, USA, 2nd ed., 115-120, 2003.
8. Vogel R., Schmack G., Beyrellther R. and Meyer E., Generation of Polyolefin Fiber with Higher Tenacity by Favorable Blending, *Chem. Fiber Int.*, **46**, 421-423, 1996.
9. Santamaria A. and white J.L., Rheological Properties, Shrinkage and Melt Spinning Instability of Blends of Linear Polyolefins with Low Density Polyethylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **31**, 209-224, 1986.
10. Marcincin A., Ujhelyiova A., Zemanova E. and Marcincinova T., Fiber-forming Blends of Polyethylene and Branched Polyethylene, *J. Macromol. Sci., Part A: Pure. Appl. Chem.*, **35**, 1239-1247, 1998.
11. Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastic by Extrusion Plastometer, Annual Book of ASTM Standard, D1238, 2001.
12. Standard Test Method for Density and Specific Gravity of Plastics, Annual Book of ASTM Standard, D792, 2001.
13. Gupta V.B. and Bhuvanesh Y.C., Processability and Properties of Yarns Made from Polypropylene Containing Small Amounts of Polystyrene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **60**, 1951-1963, 1996.
14. Haghghat Kish M. and Sadeghy M., Measurement of Fiber Density and other Polymers, *Amirkabir*, **1**, 28-38, 1990.
15. Sengtens W.G.F., Van den Berg O., Wubbenhorst M., Gotsis A.D. and Picken S.J., Dielectric Spectroscopy Using Dielectric Probes: A New Approach to Study Glass Transition Dynamics in Immiscible Apolar Polymer Blends, *Polymer*, **46**, 6064-6074, 2005.
16. Standard Test Method for Determination of Parameters for the Crimp of Textured Filament Yarn with a Linear Density of Up to 500 dtex, Deutsches Institute for Norm Part 1, DIN 53840-1, 1980.
17. Ujhelyiova A. and Marcincin A., DSC Analysis of Fiber-forming Polypropylene-Polyethylene Blend, *Vlakna Text.*, **6**, 2-6, 1999.
18. Ujhelyiova A., Marcincin A. and Legen J., DSC Analysis of Fiber-forming Polypropylene-Polyethylene Blend II, *Vlakna Text.*, **6**, 114-118, 1999.
19. Ryu S.H., Gogos C.G. and Xanthos M., Melting Behavior of Controlled Rheology Polypropylene, *Polymer*, **32**, 2449-2455, 1991.
20. Marjory L.J., *Essential of Textiles*, Holt, Rinehont and Winston, USA, 4th ed., 119-122, 1988.
21. Galeski A., Pracella M. and Martuscelli E., Polypropylene Spherulite Morphology and Growth Rate Change in Blends with Low Density Polyethylene, *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*, **22**, 739-747, 1984.
22. Teh J.W., Structure and Properties of Polyethylene-Polypropylene Blend, *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, 605-618, 1983.