

## Thermomechanical Properties of Nylon 6,6/ Polyester Hybrid Tire Cord: Effect of Twist Level and Core Ratio

Zahra Mahdavi-pour<sup>1</sup>, Mohammad Karimi<sup>1\*</sup>, and Seyyed Anvar Hoseini<sup>2</sup>

1. Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box 15875-4413,  
Tehran, Iran

2. Razi Tire Cord Co., P.O. Box 1345, Takestan, Iran

Received: 5 January 2020, accepted: 20 May 2020

### ABSTRACT

**Hypothesis:** Design and production of hybrid tire cords is a simple and cost-effective way to improve the physical and thermal properties of the tire. It also affects the fuel consumption of the vehicle.

**Methods:** In this study, to achieve new reinforcing materials with better performance using conventional fibers, a hybrid tire cord has been manufactured by twisting nylon 6.6 and polyester yarns together. The effects of twist level and core ratio were studied on the thermomechanical properties of the hybrid cord. The produced cords have different twist levels of 300, 350 and 400 tpm and core ratios of 1.00, 1.03, and 1.05. The mechanical properties of these cords, including strength and creep, have been studied. The heat shrinkage and shrinkage force were also measured and compared with reference samples, nylon and polyester yarns and cords. The dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) was used to examine the shrinkage force and creep of the tire cords.

**Findings:** The results show that the yield strain and shrinkage of all hybrid cords were lower than those of the nylon cord and more than those of the polyester cord. The increase in the twist level leads to a decrease in the load at specific elongation (LASE), and also an increase in the creep due to the helix angle between the cord axis and filament axis. In addition, the LASE, work to rupture and creep increase, as the core ratio increases. Furthermore, a rise in twist level and core ratio leads to an increase in shrinkage and shrinkage force. The hybrid tire cord with a core ratio of 1.05 due to its dimensional stability and good mechanical properties can be used to design high-performance tires.

#### Keywords:

tire cord,  
hybrid,  
shrinkage force,  
nylon 6,6,  
polyester

(\*)To whom correspondence should be addressed.

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

#### Please cite this article using:

Mahdavi-pour Z, Karimi M., and Hoseini S.A., Thermomechanical Properties of Nylon 6,6/ Polyester Hybrid Tire Cord: Effect of Twist Level and Core Ratio, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **33**, 115-123, 2020.

# خواص گرمکانیکی رسن تایر هیبریدی نایلون ۶،۶- پلی استر: اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش

زهرا مهدوی پور<sup>۱</sup>، محمد کریمی<sup>۱\*</sup>، سید انور حسینی<sup>۲</sup>

۱- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۲- تاجکستان، مجتمع نخ تایر رازی، صندوق پستی ۱۳۴۵

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳۱

قابل دسترس در نشانی: <http://jips.ippi.ac.ir>

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،

سال سی و سوم، شماره ۲،

صفحه ۱۲۳-۱۱۵، ۱۳۹۹

ISSN: 1016-3255

Online ISSN: 2008-0883

DOI: 10.22063/JIPST.2020.1728

## چکیده

**فرضیه:** طراحی و تولید رسن‌های هیبریدی تایر، روشی ساده و مقرون به صرفه برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی تایر بوده و بر مصرف سوخت خودرو نیز اثرگذار است. روش‌ها: در این مطالعه، برای دستیابی به مواد تقویت‌کننده جدید با عملکرد بهتر به کمک الیاف متداول، از دولاتابی نخ‌های نایلون ۶،۶ و پلی استر به یکدیگر، رسن تایر هیبریدی تولید شد. اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش بر خواص گرمکانیکی رسن هیبریدی مطالعه شد. رسن‌های تولیدشده، دارای مقادیر مختلف تاب ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ tpm و نسبت چنبرش ۱/۰۰، ۱/۰۳ و ۱/۰۵ بودند. خواص مکانیکی شامل استحکام و خزش بررسی شد. جمع‌شدگی گرمایی و نیروی جمع‌شدگی نیز اندازه‌گیری و با نمونه‌های مرجع، رسن‌ها و نخ‌های نایلونی و پلی استری مقایسه شد. آزمون دینامیکی-مکانیکی-گرمایی (DMTA) برای بررسی نیروی جمع‌شدگی و خزش نمونه‌ها به کار گرفته شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد، کرنش تسلیم و جمع‌شدگی تمام رسن‌های هیبریدی کمتر از رسن نایلونی و بیشتر از رسن پلی استری بود. افزایش مقدار تاب به کاهش نیرو در ازدیاد طول ویژه (LASE) و افزایش خزش منجر می‌شود که دلیل آن زاویه مارپیچ میان محور الیاف و محور رسن است. افزون بر این، LASE با افزایش نسبت چنبرش، کار تا حد گسیختگی و خزش افزایش می‌یابد. همچنین ازدیاد مقدار تاب و نسبت چنبرش، به افزایش جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی منجر می‌شود. بر اساس نتایج، رسن هیبریدی با نسبت چنبرش ۱/۰۵ به دلیل پایداری ابعادی و خواص مکانیکی خوب، می‌تواند برای طراحی تایرهای کارآمد استفاده شود.

## واژه‌های کلیدی

رسن تایر،  
هیبریدی،  
نیروی جمع‌شدگی،  
نایلون ۶،۶،  
پلی استر

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

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

## مقدمه

را به خود جلب کرده است. مطالعه مراجع نشان می‌دهد، رسن تایر هیبریدی در دنیا تولید و ارزیابی شده است. Yilmaz [۴] ترکیبی از نخ‌های پلی‌استر و نایلون ۶،۶ را برای تولید رسن هیبریدی با هدف هم‌افزایی خواص مدنظر هر دو نخ پیشنهاد داده است. نتایج این مقاله حاکی از آن است که این رسن برتری‌هایی از جمله مقاومت خستگی عالی، سختی و مقاومت برشی بسیار خوب دارد که قابلیت استفاده در بخش‌های منجید، بریکر و تسمه (belt) تایر را فراهم می‌کند. Aytac و همکاران [۱۰،۱۱] اثر مقدار تاب رسن نایلون ۶،۶- پلی‌استر را بر بعضی خواص آن مانند خواص مکانیکی، جمع‌شدگی، چسبندگی و مقاومت خستگی بررسی کردند. طبق نتایج این پژوهش‌ها، بهترین خواص گرمکانیکی و بیشترین استحکام زمانی حاصل می‌شود که مقدار تاب نخ پلی‌استر و تاب رسن، بیشتر از مقدار تاب نخ نایلون باشد. همچنین اثرگذارترین شاخص بر مقاومت خستگی، تاب رسن است. برای دستیابی به چسبندگی بهینه رسن به آمیزه لاستیکی نیز، به غوطه‌وری دو مرحله‌ای منسوج در محلول لاتکس فرمالدهید-رزورسینول نیاز است و غوطه‌وری تک‌مرحله‌ای نتایج قابل قبولی را تأمین نمی‌کند. ازدیاد مقدار تاب رسن می‌تواند به دلیل افزایش سطح، تا حدودی موجب افزایش چسبندگی شود. Tian و همکاران [۱۲] رسن تایر هیبریدی پلی‌استر-نایلون را به‌عنوان محصولی اقتصادی با مدول زیاد و در نتیجه پایداری ابعادی خوب معرفی کردند. همچنین این محصول با داشتن ازدیاد طول بیشتر نسبت به رسن متداول پلی‌استر به بهبود مقاومت خستگی و مقاومت در برابر ضربه منجر شد.

گروه صنعتی Kordsa (ترکیه) رسن هیبریدی نایلون ۶،۶- پلی‌استر را به‌طور صنعتی تولید کرد [۱۳]. بر اساس گزارش این شرکت، کاهش زمان پخت تایر بر اثر امکان افزایش دمای پخت، افزایش پایداری ابعادی، بهبود خواص مکانیکی نخ تایر نسبت به نایلون ۶ (استحکام، ازدیاد طول و انرژی پارگی) و پایداری گرمایی بیشتر، نتیجه استفاده از این محصول است. بررسی مراجع نشان می‌دهد، تعدادی اختراع ثبت‌شده نیز در این زمینه موجود است [۱۴-۱۶]. از آن جمله می‌توان به تلاش Love و همکاران [۱۶] اشاره کرد. در این پژوهش، رسن هیبریدی کولار-نایلون ۶،۶ دارای اختلاف طول بین اجزا، تولید شده است. در مراجع مختلف، اثر مقدار تاب بر خواص رسن هیبریدی بررسی شده، اما نسبت چنبرش (core ratio) مطالعه نشده است. در این پژوهش، اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش رسن هیبریدی تایر نایلون ۶،۶- پلی‌استر بر خواص گرمکانیکی بررسی شده است. استحکام کششی، جمع‌شدگی، نیروی جمع‌شدگی و خزش رسن‌های هیبریدی اندازه‌گیری و با نمونه‌های مرجع شامل نخ تک‌لا و رسن‌های نایلون و پلی‌استر مقایسه شده است. نیروی

منسوجات از مهم‌ترین اجزای تایر به‌شمار می‌آیند و ۳-۵٪ وزن تایر خودروهای سواری از نخ تشکیل شده است [۱]. شکل‌دهی تایر، پایداری ابعادی، افزایش ظرفیت حمل بار و استحکام آن از وظایف نخ تایر است. رفتار دینامیکی تایر نیز به‌وسیله نخ تأمین می‌شود [۲]. عملکرد نهایی تایر از جمله فرمان‌پذیری (steering)، راهبری (handling) و دفع ضربه به‌طور مستقیم تحت تأثیر خواص گرمکانیکی منسوج تایر است. شکل ۱ طرحی از نحوه قرارگیری الیاف در ساختار تایرهای رادیال و اریبی (bias) را نشان می‌دهد. الیافی که برای تایر به‌کار گرفته می‌شوند، باید دارای خواص مطلوبی همچون استحکام و مقاومت خستگی زیاد، جمع‌شدگی و خواص گرمایی مناسب باشند. امروزه الیاف پلی‌استر، پلی‌آمید، ریون، کولار و فولاد بیشترین کاربرد را به‌عنوان تقویت‌کننده تایر به‌عهده دارند [۳]. طی سال‌های گذشته الیاف نایلون و پلی‌استر بیشترین درصد تولید نخ تایر را در دنیا به‌خود اختصاص داده‌اند. الیاف پلی‌استر که معمولاً در منجید (carcass) تایرهای رادیال استفاده می‌شوند، استحکام زیاد، ثبات ابعادی و پایداری خوب، مدول زیاد و خزش کمی دارند [۴]. با وجود این، چسبندگی (به آمیزه لاستیکی) و مقاومت خستگی کم این الیاف، جزء عیب‌های آن به‌شمار می‌آید [۵]. مطالعات بسیاری برای بهبود این خواص در پلی‌استر انجام شده است [۶-۸]. الیاف نایلون ۶،۶ نیز در رولایه تایر (cap ply) به‌کار گرفته می‌شوند. این الیاف چسبندگی، استحکام و مقاومت خستگی بیشتری نسبت به پلی‌استر دارند. اما، ثبات ابعادی آن‌ها از پلی‌استر کمتر است [۱].

امروزه برای افزایش کارایی تایرهای تولیدی، موضوع استفاده از رسن هیبریدی تایر شامل دو جزء نایلون و پلی‌استر مطرح شده است. رسن هیبریدی متشکل از حداقل دو نخ با خواص متفاوت است که به یکدیگر تابیده شده‌اند. این محصول امکان دستیابی به مواد تقویت‌کننده جدید با عملکرد بهتر را با استفاده از الیاف متداول فراهم می‌کند. رسن هیبریدی تایر نایلون ۶،۶- پلی‌استر یکی از محصولاتی است که به دلیل برتری اقتصادی و خواص مطلوب، توجه بسیاری



شکل ۱- قرارگیری الیاف در ساختار تایر: (a) رادیال و (b) اریبی [۹].  
Fig. 1. Fiber placement in tire structure: (a) radial and (b) bias [9].

تاب Cable Corder CC3 ساخت شرکت Saurer Allma سوئیس استفاده شد. برای تحلیل رفتار رسن های ترکیبی، تعدادی نمونه مرجع شامل نخ تک لای نایلونی و پلی استری و رسن (نخ دولا) آن ها با تاب  $350 \text{ tpm}$  نیز تولید و بررسی شدند.

### دستگاهها و روشها

#### آزمون استحکام کششی

در این پژوهش، از دستگاه Instron TM-SM ساخت آمریکا استفاده شد که بر اساس روش CRE (مقدار ازدیاد طول ثابت) عمل می کند. فاصله دو فک  $15 \text{ cm}$  و سرعت حرکت فک متحرک نیز  $300 \text{ mm/min}$  تنظیم شد. منحنی تنش- کرنش نمونه ها به دست آمد و استحکام، مدول اولیه و ازدیاد طول در نیروی معین از آن استخراج شد. با محاسبه سطح زیر منحنی نیز کار تا گسیختگی حاصل شد. استحکام و مدول ویژه تمام نمونه ها با تقسیم نتایج بر نمره نخ آن ها بیان شده است. نتایج گزارش شده در این بخش، میانگین نتایج ۱۰ آزمون است. محاسبات مربوط به معناداری تغییرات با استفاده از تحلیل واریانس (جدول ANOVA) در نرم افزار Minitab 16 انجام شد.

#### جمع شدگی

برای تعیین مقدار جمع شدگی رسن، طول مشخصی از رسن زیر نیروی معینی اندازه گیری شده که برای از بین بردن فر و موج در نظر گرفته می شود. سپس، نمونه درون گرمخانه پیش تنظیم شده در دمای معین (طبق استاندارد  $177^\circ\text{C}$ ) قرار می گیرد و پس از تعادل دمایی ( $2 \text{ min}$ )، طول نهایی آن اندازه گیری می شود. مقدار جمع شدگی از اختلاف مقادیر طول اولیه و نهایی محاسبه می شود. در این پژوهش، میانگین پنج آزمون جمع شدگی گزارش شده است. برای انجام آزمون نیروی جمع شدگی از دستگاه DMA 2980 ساخت شرکت TA Instruments آمریکا استفاده شد. در این آزمون، مقدار ازدیاد طول اولیه،  $0.5\%$ ، نیروی اولیه  $5 \text{ mN/tex}$  و سرعت تغییرات دما  $3^\circ\text{C/min}$  انتخاب شد. دمای گزارش نتایج  $177^\circ\text{C}$  بود. دستگاه DMA منحنی نیروی جمع شدگی را برحسب تغییرات دما رسم می کند.

#### خزش

آزمون خزش با دستگاه DMA 2980 ساخت شرکت TA Instruments آمریکا در تنش ثابت  $0.1 \text{ MPa}$  روی نمونه های هیبریدی انجام شد. زمان اعمال تنش مزبور به نمونه،  $30 \text{ min}$  و زمان بازگشت پذیری پس از حذف تنش،  $15 \text{ min}$  انتخاب شد. دمای انجام آزمون نیز  $30^\circ\text{C}$  تعیین شد. دستگاه استفاده شده، ازدیاد طول بلافاصله پس

جمع شدگی و خزش رسن اثر شگرفی بر عملکرد تایر، یکنواختی و پایداری ابعادی آن دارد. با وجود این، مراجع مشابه این شاخص ها را در رسن هیبریدی بررسی نکرده اند. از این رو، در پژوهش حاضر تلاش شد، رفتار رسن هیبریدی تایر به طور جامع تری بررسی شده و نتایج آن با پژوهش های موجود مقایسه شود.

### تجربی

#### مواد

دو نمونه نخ تایر پلی استر و نایلون ۶.۶ بدون تاب، به ترتیب با نمره های نخ  $1670 \text{ dtex}$  و  $1400 \text{ dtex}$  (واحد جرم نخ برحسب گرم در طول  $10^4$  متر آن) از شرکت های نخ تایر Unifull چین و Junma خریداری شدند. عملیات دولاتابی و تولید رسن هیبریدی در مجتمع تولیدی نخ تایر رازی (ایران) انجام شد. برای تحقق این هدف، تاب و نسبت چنبرش رسن، در سه سطح متغیر در نظر گرفته شدند. نسبت چنبرش در نمونه ها طوری ایجاد شد که طول نخ پلی استر در یک متر رسن نسبت به نایلون بیشتر بود. مشخصات نمونه های ترکیبی در جدول ۱ آمده است. نسبت چنبرش رسن نیز به شکل معادله (۱) تعریف می شود:

$$(1) \quad \frac{\text{طول نخ هسته در یک متر رسن}}{\text{طول نخ پوسته در یک متر رسن}} = \text{نسبت چنبرش}$$

برای ایجاد نسبت چنبرش در رسن، حین تاب دادن باید تنش متفاوتی به نخ ها وارد شود. این موضوع در دستگاه تاب لحاظ شد. از دستگاه

جدول ۱- مشخصات اولیه نمونه های هیبریدی.

Table 1. Initial specification of hybrid samples.

Sample	Twist (tpm*)	Core ratio
HC-t300-cr <sub>0</sub>	300	1.00
HC-t300-cr <sub>3</sub>	300	1.03
HC-t300-cr <sub>5</sub>	300	1.05
HC-t350-cr <sub>0</sub>	350	1.00
HC-t350-cr <sub>3</sub>	350	1.03
HC-t350-cr <sub>5</sub>	350	1.05
HC-t400-cr <sub>0</sub>	400	1.00
HC-t400-cr <sub>3</sub>	400	1.03
HC-t400-cr <sub>5</sub>	400	1.05

\*tpm: twist per meter.

به دولا پی برد. زمانی که دو نخ به یکدیگر تابیده می‌شوند، به دلیل افزایش زاویه قرارگیری الیاف نسبت به محور نخ (زاویه ماریچ)، استحکام و مدول تا حدی کاهش می‌یابد [۱۷]. موضوع دیگری که در نتایج این آزمون باید بحث شود، رفتار کلی رسن‌های هیبریدی است. تمام رسن‌های هیبریدی خواصی بین نخ دولای پلی استر و نایلون دارند (شکل ۲). در واقع، کرنش تسلیم و نیرو در ازدیاد طول معین رسن‌های هیبریدی مقادیری میان این عامل در رسن نایلون و رسن پلی استر است.

#### اثر نسبت چنبرش بر مدول یانگ

مقدار تاب و نسبت چنبرش موجب تغییراتی در رفتار مکانیکی نمونه‌ها می‌شود. شیب بخش ابتدایی منحنی تنش-کرنش رسن‌های هیبریدی مشابه شیب منحنی نایلون است و با افزایش کرنش، مدول تا حدی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه پلی استر در ساخت رسن هیبریدی با طول بیشتری مشارکت دارد و سهم طولی نخ نایلون ۶،۶ نسبت به نخ پلی استر کمتر است. پیچش نخ پلی استر دور نخ نایلون منطقی به نظر می‌رسد. در نتیجه در ابتدای بارگذاری، نایلون که در مرکز رسن قرار دارد، درگیر نیرو است و در کرنش‌های بیشتر، با بازشدن تاب پلی استر و درگیر شدن آن، مدول افزایش می‌یابد. به

از اعمال نیرو (کرنش)، خزش و درصد بازگشت پذیری طول (load at specific elongation, LASE) را به دست می‌دهد. خزش نیز درصد تغییرات طول در زمان است که نسبت به ازدیاد طول اولیه محاسبه می‌شود.

## نتایج و بحث

### خواص کششی رسن‌های هیبریدی

خواص مکانیکی کششی از جمله استحکام، کرنش نقطه تسلیم، کار تا پارگی و نیرو در ازدیاد طول ویژه (LASE) نمونه‌های هیبریدی و نیز نمونه‌های پلی استری و نایلونی تک‌لا و دولا در جدول ۲ آمده است. (نمونه‌های رسن پلی استری و نایلونی دارای تاب ۳۵۰ tpm بودند). LASE در صنعت به جای مدول یانگ نمونه‌ها به کار می‌رود و معمولاً تعریف مشخصی دارد. متداول‌ترین آن، نیرو برحسب نیوتن در ۵٪ ازدیاد طول است. همان‌طور که در جدول ۲ نیز دیده می‌شود، پلی استر نسبت به نایلون کرنش تسلیم کمتر و نیرو در ازدیاد طول معین بیشتری دارد. با مقایسه خواص نخ‌های تک‌لا و دولای پلی استر و نایلون، می‌توان به بیشتر بودن مدول و استحکام نخ‌های تک‌لا نسبت

جدول ۲- استحکام نمونه‌های مرجع و هیبریدی.

Table 2. Strength of reference and hybrid samples.

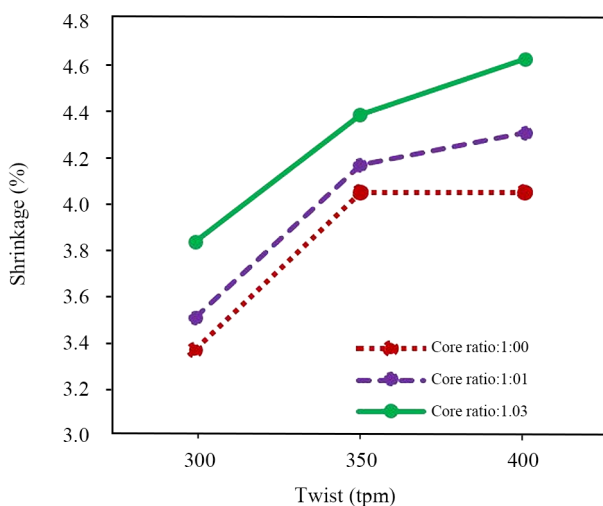
Sample	Strength (cN/tex)	Yield strain (%)	Work to rupture (J)	LASE*1-5% (N)	Modulus (cN/tex)
PET yarn	83.36±1.1	11.4±0.8	1.64±0.10	45.5±1.0	411.5±14.6
PET cord	65.27±4.0	19.2±1.2	6.07±0.33	59.35±0.9	340.7±6.1
Nylon yarn	75.60±1.2	17.1±0.4	1.84±0.03	18.36±0.51	294.2±9.7
Nylon cord	72.97±2.0	23.1±1.1	6.04±0.63	32.79±1.36	231.1±11.2
HC-t300-cr <sub>0</sub>	70.83±1.1	20.3±1.3	5.87±0.5	44.64±2.5	273.3±11.44
HC-t300-cr <sub>3</sub>	71.47±0.6	20.2±0.6	5.93±0.26	47.32±2.8	292.6±11.8
HC-t300-cr <sub>5</sub>	72.55±0.7	20.0±1.3	6.22±0.52	52.69±2.0	317.3±10.2
HC-t350-cr <sub>0</sub>	68.27±1.5	20.5±1.1	5.72±0.49	43.28±1.6	255.8±8.4
HC-t350-cr <sub>3</sub>	70.15±1.2	20.9±1.2	6.08±0.48	45.02±2.2	281.6±8.4
HC-t350-cr <sub>5</sub>	69.86±0.7	21.6±1.1	6.45±0.39	47.13±3.7	243.0±6.0
HC-t400-cr <sub>0</sub>	66.98±1.6	22.1±1.3	6.18±0.49	40.37±2.0	262.6±14.9
HC-t400-cr <sub>3</sub>	66.92±1.0	22.7±1.1	6.45±0.38	40.46±2.6	295.2±12.3
HC-t400-cr <sub>5</sub>	65.13±1.4	20.6±1.2	5.65±0.51	44.55±1.7	295.2±12.3

\*1 LASE: Load at specific elongation (elongation 5%).

ثابت می ماند. در واقع، تغییر طول برگشت ناپذیر فقط یک مرتبه رخ می دهد و تکرارپذیر نیست که به آن جمع شدگی می گویند. از این ویژگی الیاف برای تثبیت ابعادی آن ها، پس از گرمادهی اولیه و سپس سردکردن آن، استفاده می شود. شکل شناسی و ساختار درونی الیاف و ساختار شیمیایی آن ها بر مقدار جمع شدگی گرمایی مؤثر است. به عنوان مثال، جمع شدگی پلی استر از نایلون کمتر است. دلیل این اختلاف، تفاوت در ساختار شیمیایی این دو پلیمر است. به طور خلاصه، وجود حلقه بنزنی در ساختار پلی استر، موجب کاهش جمع شدگی می شود [۲۰]. مقادیر جمع شدگی نمونه ها در شکل ۳ و جدول ۳ آمده است.

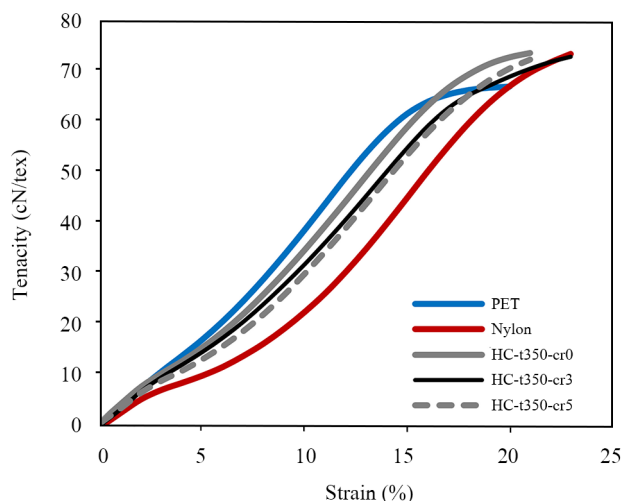
### اثر نسبت چنبرش و تاب بر جمع شدگی

جمع شدگی نمونه های هیبریدی بیشتر از پلی استر و کمتر از نایلون است. همان طور که در شکل ۳ و جدول ۳ نشان داده شده است، با افزایش مقدار تاب، جمع شدگی گرمایی نخ تایر هیبریدی افزایش می یابد که این موضوع به دلیل افزایش مقدار جرم در واحد طول رسن است [۱۷]. با افزایش نسبت چنبرش، جمع شدگی افزایش پیدا می کند. در ساختار رسانی که نایلون در مرکز آن قرار گرفته، به محض اعمال گرما، نایلون جمع می شود. در نتیجه، مقدار جمع شدگی در این نمونه زیاد است. اما، در رسن هایی که نایلون و پلی استر با طول یکسان در آن مشارکت دارند، نایلون تاب بیشتری نسبت به حالت قبل دارد و گرما و جمع شدن نایلون موجب باز شدن تاب نایلون و مستقیم قرار گرفتن آن و نه جمع شدگی در رسن می شود. در نتیجه، مقدار جمع شدگی کمتری در رسن دیده می شود [۱۰].



شکل ۳- جمع شدگی رسن های هیبریدی.

Fig. 3. Shrinkage of hybrid cords.



شکل ۲- منحنی تنش-کرنش رسن های نایلون و پلی استر و سه نمونه هیبریدی.

Fig. 2. Stress-strain curve of nylon and polyester cords and three hybrid samples.

همین دلیل نیز با ازدیاد طول پلی استر در رسن هیبریدی، نیرو در ازدیاد طول معین رسن افزایش پیدا می کند.

کار تا گسیختگی نیز با افزایش نسبت چنبرش افزایش یافته است. در واقع با افزایش نسبت چنبرش، می توان نمونه هایی با مقاومت بیشتر در برابر شوک و ضربه تولید کرد که این موضوع در تایر، به دلیل برخورد با موانع در جاده، اهمیت زیادی دارد [۱۸]. افزایش تاب در نمونه های هیبریدی به دلیل افزایش زاویه مارپیچ، به کاهش استحکام و نیرو در ازدیاد طول معین منجر شده است. تمام تغییرات ایجاد شده در نیرو در ازدیاد طول معین و مدول نمونه ها از لحاظ آماری معنادار است.

### جمع شدگی گرمایی

جمع شدگی و نیروی جمع شدگی رسن از مهم ترین آزمون هایی است که برای کنترل خط تولید تایر توصیه می شود. نیروی جمع شدگی در تایر باید در حد کنترل شده ای باشد که باعث بروز عیب در تایر نشود. این شاخص به دلیل قرارگیری تایر در دماهای زیاد حین پخت و سرویس (بر اثر اصطکاک با سطح جاده و تلفات ناشی از حرکت)، اهمیت ویژه ای دارد. گرمای تولید شده در آمیزه می تواند موجب تخریب خواص فیزیکی و شیمیایی و حتی جدا شدن نخ از آمیزه لاستیکی شود [۱۹]. بنابراین، خواص گرمایی منسوج تایر از جمله جمع شدگی و نیروی جمع شدگی اهمیت بسزایی دارد. گرما به جمع شدگی در پلیمر منجر می شود. اما اگر پس از سردکردن، دوباره پلیمر تا محدوده دمای پیشین گرم شود، طول لیف در این حالت



(به ویژه نمونه های تک لا) کاهش دیگری نیز (در دمای کمتر) دیده شود که این پدیده با دمای انتقال شیشه ای ( $T_g$ ) پلیمر در ارتباط است [۲۱]. جدول ۴ نیروی جمع شدگی را در دمای  $177^\circ\text{C}$  و دمایی گزارش می کند که در آن بیشینه نیروی جمع شدگی رخ می دهد ( $T_{max}$ )، نیروی جمع شدگی نایلون بیشتر از پلی استر است. می توان گفت، ثبات ابعادی پلی استر بهتر از نایلون است که این مزیتی برای پلی استر به شمار می آید. اختلاف طول در رسن همان طور که موجب افزایش جمع شدگی می شود، تا حدی افزایش نیروی جمع شدگی را نیز به دنبال دارد (شکل ۴). به عبارت دیگر، زمانی که نسبت چنبرش زیاد است و نایلون در مرکز رسن قرار دارد، بلافاصله با اعمال گرما، نایلون به جمع شدگی تمایل دارد و نیروی جمع شدگی زیاد آن به افزایش نیروی جمع شدگی رسن منجر می شود [۱۰]. تاب نیز موجب تغییراتی در نیروی جمع شدگی شده که این موضوع به زاویه قرارگیری الیاف مربوط می شود. در واقع، نیروی برابند که در رسن نیز ظاهر می شود، با زاویه قرارگیری الیاف در رسن مرتبط است [۱۷].

#### اثر تاب و نسبت چنبرش بر منحنی خزش

خزش شاخص مهمی در منسوج تایر است که پایداری ابعادی آن را تحت تأثیر قرار می دهد. مقدار خزش رسن تایر هنگام اعمال بار، می تواند اثر بسزایی بر عملکرد تایر داشته باشد. به عنوان مثال،

جدول ۴- نیروی جمع شدگی نمونه های مرجع و رسن های هیبریدی.

Table 4. Shrinkage force of reference samples and hybrid cords.

Samples	Shrinkage force (cN/tex)		$T_{max}$ ( $^\circ\text{C}$ )
	at $177^\circ\text{C}$	at $T_{max}$	
PET yarn	1.91	2.48	233
PET cord	1.35	1.76	247
Nylon yarn	2.28	3.40	233
Nylon cord	1.63	2.84	238
HC-t300-cr <sub>0</sub>	1.52	2.41	238
HC-t300-cr <sub>3</sub>	1.85	2.71	234
HC-t300-cr <sub>5</sub>	1.98	2.94	238
HC-t350-cr <sub>0</sub>	1.33	2.07	237
HC-t350-cr <sub>3</sub>	1.74	2.62	234
HC-t350-cr <sub>5</sub>	1.50	2.24	233
HC-t400-cr <sub>0</sub>	1.66	2.47	233
HC-t400-cr <sub>3</sub>	1.70	-	-
HC-t400-cr <sub>5</sub>	1.60	-	-

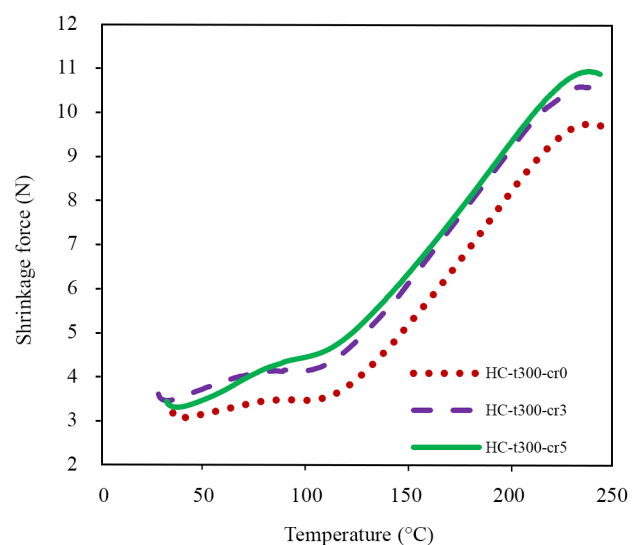
جدول ۳- جمع شدگی رسن های هیبریدی و نمونه های مرجع.

Table 3. Shrinkage of hybrid cords and reference samples.

Sample	Shrinkage (%)
PET yarn	1.64±0.40
PET cord	2.23±0.12
Nylon yarn	2.85±0.18
Nylon cord	4.84±0.32
HC-t300-cr <sub>0</sub>	3.37±0.11
HC-t300-cr <sub>3</sub>	4.05±0.23
HC-t300-cr <sub>5</sub>	4.05±0.15
HC-t350-cr <sub>0</sub>	3.51±0.21
HC-t350-cr <sub>3</sub>	4.17±0.24
HC-t350-cr <sub>5</sub>	4.31±0.17
HC-t400-cr <sub>0</sub>	3.84±0.10
HC-t400-cr <sub>3</sub>	4.39±0.65
HC-t400-cr <sub>5</sub>	4.63±0.09

#### نیروی جمع شدگی

اگر منحنی نیروی جمع شدگی نمونه ای بر حسب دما رسم شود، با افزایش دما نیروی جمع شدگی نیز افزایش می یابد. اما این افزایش تا دمایی ( $T_{max}$ ) ادامه دارد و پس از آن، نیرو کاهش می یابد. کاهش جمع شدگی پس از دمای بیشینه، به دلیل ذوب بلورهای کوچک و آزاد شدن زنجیرهاست. همچنین ممکن است، در برخی نمونه ها



شکل ۴- افزایش نیروی جمع شدگی با افزایش نسبت چنبرش.

Fig. 4. Increasing the shrinkage force by increasing the core ratio.

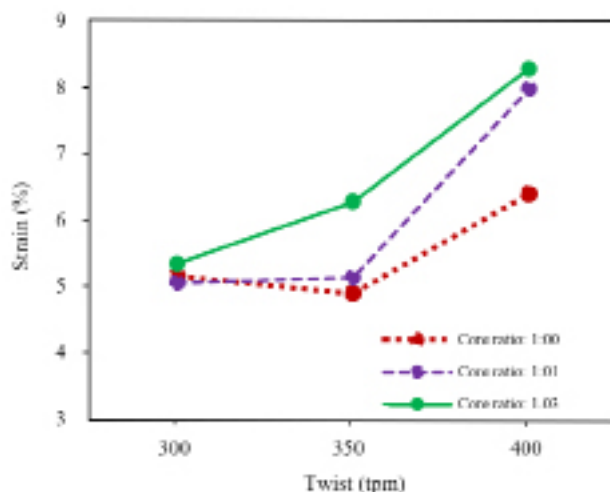
افزایش تاب در نمونه‌ها موجب افزایش مقدار کرنش اولیه و تا حدی خزش می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶). در واقع، نمونه با تاب بیشتر به راحتی ازدیاد طول را طی زمان نشان می‌دهد [۲۴]. نتایج آزمون مکانیکی کششی نیز این موضوع را تأیید می‌کند که نیرو در ازدیاد طول معین با افزایش تاب، کاهش می‌یابد. بنابراین کرنش اولیه در آزمون خزش نیز بر اثر افزایش تاب، کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان ادعا کرد، با ازدیاد نسبت چنبرش، کرنش نیز افزایش می‌یابد. در نمونه‌هایی که نسبت چنبرش زیاد است، نایلون در مرکز رسن قرار دارد. بنابراین، رفتار رسن با این جزء کنترل می‌شود و نیز نایلون نسبت به پلی استر کرنش بیشتری (و مدول کمتری) دارد. بنابراین روند افزایش کرنش اولیه با ازدیاد نسبت چنبرش، منطقی به نظر می‌رسد.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، رسن هیبریدی تایر نایلون ۶،۶- پلی استر به عنوان راه‌حلی اقتصادی برای بهبود عملکرد تایر و کاهش مصرف سوخت خودرو بررسی شد. در این راستا اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش رسن بر خواص گرماکانیکایی رسن تایر مطالعه شد. نتایج نشان داد، با افزایش مقدار تاب، مدول یانگ و نیرو در ازدیاد طول معین رسن کاهش و مقدار خزش آن افزایش می‌یابد. تاب موجب افزایش زاویه قرارگیری الیاف با محور رسن می‌شود. بنابراین طول مؤثر الیاف در رسن و در نتیجه مدول کاهش پیدا می‌کند. جمع‌شدگی نیز به دلیل افزایش جرم واحد طول نخ در تاب‌های بیشتر، مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. چنبرش پلی استر دور نایلون موجب افزایش مدول نمونه می‌شود. زیرا در صورت وارد شدن نیرو به رسن، ابتدا نایلون که در مرکز آن قرار دارد، درگیر می‌شود. پس از ازدیاد طول اولیه، پلی استر که دارای مدول بیشتری است، نقش ایفا می‌کند و موجب افزایش مدول می‌شود. بنابراین، نمونه‌های با نسبت چنبرش ۱/۰۵ که دارای نیرو در ازدیاد طول معین بیشتر و در نتیجه پایداری ابعادی بهتری هستند، می‌توانند برای طراحی تایرهای کارآمد استفاده شوند. همچنین در این نمونه‌ها، نایلون به دلیل قرار گرفتن در هسته رسن، جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب افزایش این شاخص‌ها می‌شود.

### قدردانی

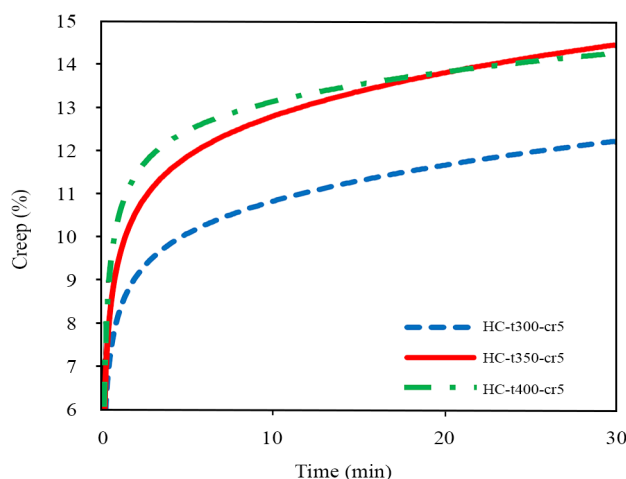
از حمایت‌های دانشگاه صنعتی امیرکبیر و کارخانه نخ تایر رازی برای انجام پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌شود.



شکل ۵- کرنش اولیه نمونه‌های هیبریدی در آزمون خزش.

Fig. 5. Primary strain of the hybrid samples in the creep test.

هنگامی که خودرو به مدت معلوم بدون حرکت متوقف شده باشد، نیروی ایستای ناشی از وزن خودرو، موجب ازدیاد طول وابسته به زمان در تایر و نخ تایر می‌شود. اگر مقدار خزش اجزای تایر از جمله منسوج به کار رفته در آن زیاد باشد، هنگام شروع حرکت دوباره خودرو مشکلاتی بروز می‌کند. مطالعه مؤلفه‌های نیروهای عمودی و برشی وارد بر تایر و تغییر شکل ایجاد شده در آن، این مورد را تأیید می‌کند [۲۲]. افزون بر آن، مقدار خزش رسن تایر می‌تواند بر ایجاد یا گسترش عیب‌ها در تایر اثر بگذارد. به عنوان مثال، ترک در شیار تایر (groove cracking) با مقدار خزش آمیزه تایر و رسن در ارتباط است [۲۳].



شکل ۶- اثر تاب بر منحنی‌های خزش رسن‌های هیبریدی.

Fig. 6. Effect of twist on creep curves of hybrid cords.



## مراجع

- Sanjeevan T., Effects of Thermal Contraction on Structure and Properties of PET Fibers, <https://www.slideshare.net/ThayaleesparakumarSanjeevan/tyre-technology>, Available in 7 May 2019.
- Aytac A., Yilmaz B., and Deniz V., Effects of Linear Density and Twist Level on The Mechanical Properties of Nylon 6.6 Tyre Cord, *Fiber. Polym.*, **1**, 309-315, 2010.
- Ramazani S., Morshed M., and Ghane M., Study of the Effect of Heat Treatment on Nylon 66 Tire Cords Structure and Its Physical Properties, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **2**, 109-117, 2006.
- Yilmaz B., Investigation of Twisted Monofilament Cord Properties Made of Nylon 6.6 and Polyester, *Fiber Polym.*, **12**, 1091-1098, 2011.
- Cho D. and Jeong Y., Study on the Strength Retention of Technical Cord Yarn, *Fiber. Polym.*, **7**, 305-309, 2006.
- Anthony R.B., Ramirez J., and Clerc C., *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*, 2nd ed., Woodhead, North America, 595-618, 2018.
- Vecchiato S., Ahrens J., Pellis A., Scaini D., Mueller B., Acero E.H., and Guebitz G.M., Enzymatic Functionalization of HMLS- Polyethylene Terephthalate Fabrics Improves the Adhesion to Rubber, *Sustain. Chem. Eng.*, **5**, 6456-6465, 2017.
- Razavizadeh M. and Jamshidi M., Adhesion of Nitrile Rubber (NBR) to Polyethylene Terephthalate (PET) Fabric-Part 1: Surface Modification by Methylenediphenyl Di-isocyanate (MDI), *Appl. Surf. Sci.*, **360**, 429-435, 2016.
- Mounting Radial Tires on Classic-Vehicle Rims, <https://www.sema.org/news/2011/07/01/Mounting-Radial-Tires-on-Classic-Vehicle-Rims>, Available in 28 March 2020.
- Aytac A., Yilmaz B., and Deniz V., Nylon 66/Polyester Hybrid Cords: 1. Design and Investigation of Properties, *Fiber. Polym.*, **12**, 252-257, 2011.
- Aytac A., Yilmaz B., and Deniz V., Fatigue Properties of Nylon 66/Polyester Hybrid Cord, *Rubber Chem. Technol.*, **84**, 482-492, 2011.
- Tian L., Lv P., Zhuo J., and Wei Q., Preparation and Characteristics of an Advanced Polyester Tire Cord with Hybrid Effect, *J. Eng. Fiber. Fabr.*, **14**, 1-7, 2019.
- Aytac A., Twaron Drives Tires, <https://www.teijinaramid.com/en/applications/tires>, Available in 5 November 2019.
- Reuter R., Schmitz F., Imhoff S.J., and Donckels Y., Pneumatic Tire Having an Overlay Reinforcement, *US Pat.*, 6799618 B2, 2004.
- Fritsch J., Rugraff P., and Funderburk J., Hybrid Cabled Cord and a Method to Make It, *US Pat.*, 7051507B2, 2003.
- Love N.W., France B.R., Lamontia M., and Deakyne C., Unbalanced Hybrid Cords and Methods for Making on Cable Cording Machines, *US Pat.*, 9175425B2, 2015.
- Aytac A., Effect of Twist Level on Tyre Cord Performance, *Fiber. Polym.*, **10**, 221-225, 2009.
- Rath J.P. and Chaki T.K., Effect of Thermal Treatment on Structure and Properties of Polyester Tire Cords, *J. Appl. Polym. Sci.*, **124**, 266-274, 2012.
- Rezvani A., Karami G., and Yaghoubi M., Thermal Analysis of Tire, *Iran. J. Esteghlal (Persian)*, **1**, 137-149, 2001.
- Chen B., Material Characterization of Tire Cords and the Effects of Cord Thermal-Mechanical Properties on Tires, *Tire Sci. Technol.*, **32**, 2-22, 2004.
- Keum J.K., Crystallization and Transient Mesophase Structure in Cold-Drawn PET Fibers, *Macromolecules*, **36**, 9873-9878, 2003.
- Ghoreishy M., Naderi G., and Zare M., Computer Simulation and Experimental Study of Deformation in a Radial Tire under Different Static Loads Using Finite Element Method, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **27**, 325-336, 2014.
- Chakravarty S.N., Developments in Tyre Cords- Some Observations, *Indian J. Fiber Text. Res.*, **22**, 259-263, 1997.
- Hockenberger A.S., Effect of Twist on Performance of Tire Cord Yarns, *Indian J. Fiber Text. Res.*, **29**, 19-24, 2004.