

# مطالعه خواص کامپوزیت‌های لاستیک طبیعی تقویت شده با الیاف کوتاه



مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،  
سال بیست و یکم، شماره ۳،  
صفحه ۲۶۷-۲۵۹، ۱۳۸۷  
ISSN : 1016-3255

میرحمیدرضا قریشی\*، صدیقه سلطانی، قاسم نادری  
تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵  
دریافت: ۸۷/۳/۲۲، پذیرش: ۸۷/۵/۱

## چکیده

کامپوزیت‌های بر پایه لاستیک طبیعی با الیاف کوتاه نو و ضایعاتی نایلون ۶۶ در اختلاط یک مرحله‌ای با استفاده از غلتک آزمایشگاهی تهیه شدند. اثر مقدار الیاف و عامل سازگار کننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌ها مطالعه شد. مشخصات پخت کامپوزیت‌های مزبور به وسیله دستگاه رئومتر معین شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار الیاف، زمان پخت و برشته‌گی آمیزه‌ها کاهش ولی بیشینه گشتاور اختلاط افزایش می‌یابد. خواص مکانیکی آمیزه‌های یاد شده با افزایش ترکیب درصد الیاف کوتاه افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. هم‌چنین، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که چسبندگی الیاف به ماتریس لاستیکی با افزودن هگزا متیلن تترا آمین، رزورسینول و سیلیکای آب‌دار (HRH) افزایش می‌یابد.

## واژه‌های کلیدی

کامپوزیت، لاستیک طبیعی،  
الیاف کوتاه نو و ضایعاتی نایلون ۶۶،  
خواص فیزیکی و مکانیکی،  
ویژگی‌های پخت

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

[m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir](mailto:m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir)

## Studies on Properties of Short Fiber Reinforced Natural Rubber Composites

M.H.R. Ghoreishy\*, S. Soltani, and G. Naderi

Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14956/115, Tehran, Iran

Received 11 Jun 2008; accepted 22 July 2008

## Abstract

Natural rubber/fiber composites were prepared in a laboratory mixer using new and waste short nylon fiber by a one-step mixing process. Fiber loading and bonding agent effects on the microstructure and mechanical properties of the composites were studied. The cure characteristics of composites were investigated by using rheometer. Cure and scorching times of the composites decreased while maximum torques increased with increasing fiber loading. The mechanical properties of the composites improved with increasing the short fibers. The adhesion between the fiber and the rubber was enhanced by the addition of a dry bonding system consisting of resorcinol, hexamethylene tetramine and hydrated silica (HRH).

## Key Words

composite, natural rubber,  
new and waste short nylon  
fiber 66,  
physical and mechanical prop-  
erties, cure characteristics

(\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: [m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir](mailto:m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir)

## مقدمه

در سه دهه اخیر، کامپوزیت های لاستیکی تقویت شده با الیاف کوتاه در تحقیق و توسعه و زمینه های صنعتی اهمیت زیادی پیدا کرده اند [۱-۵]. این امر به دنبال کاربرد موفقیت آمیز تقویت کننده الیاف بلند در بیشتر کالاهای لاستیکی است که باعث استحکام لاستیک بدون از دست رفتن انعطاف پذیری در آن شده است. لاستیک به دلیل خواصی چون کشسانی، خمش پذیری و جهندگی زیاد در بسیاری از کاربردهای دینامیکی استفاده می شود، اما به دلیل استحکام و سفتی کم در برخی از کاربردها با الیاف کوتاه تقویت می شود. در واقع تقویت لاستیک با الیاف کوتاه ترکیبی از کشسانی لاستیک و استحکام و سفتی الیاف را به دست می دهد.

به تازگی لاستیک های تقویت شده با این نوع الیاف به دلیل انعطاف پذیری در طراحی، ناهمسانی در خواص مکانیکی، سفتی، میرایی و اقتصادی بودن فرایند اهمیت زیادی یافته اند. بدین ترتیب، فراروش کامپوزیت های الیاف کوتاه با تجهیزات فرایند لاستیک معمولی انجام می شود و تقویت کردن با الیاف بلند نیاز به فنون ویژه ای دارد [۶-۹]. با به کار بردن این الیاف در ماتریس های لاستیکی علاوه بر کاهش قیمت، خواص مکانیکی و ترمودینامیکی به طور قابل ملاحظه ای بهبود می یابد. الیاف مصنوعی مختلفی از جمله شیشه، ریون، نایلون، آزیست، آرامید و سلولوز به عنوان تقویت کننده در هر دو ماتریس لاستیک طبیعی و مصنوعی مورد مطالعه قرار گرفته اند [۷-۱۰]. بسیاری از پژوهشگران الیاف کوتاه شیشه را به دلیل مدول و استحکام زیاد و خزش کم برای تقویت لاستیک ها استفاده کرده اند [۷].

Coran و همکاران خواص شکل شناسی و مکانیکی کامپوزیت های لاستیکی تقویت شده با الیاف جهت گیری شده سلولوز را مطالعه کردند [۱۰]. آنها گزارش کردند که نوع ماتریس، غلظت الیاف و نسبت طول به قطر الیاف نقش مهمی در افزایش استحکام و مدول یانگ لاستیک های تقویت شده دارند. Arroyo و Manchado اثر الیاف کوتاه آرامید، شیشه و سلولوز را بر رفتار فرایندی، چگالی اتصالات عرضی و خواص مکانیکی لاستیک طبیعی، SBR و EPDM بررسی کردند [۳]. نتایج پژوهش آنها نشان داد که هر سه نوع الیاف باعث تقویت خواص مکانیکی و چگالی اتصالات عرضی لاستیک شده اند، ولی الیاف آرامید نسبت به دو نوع دیگر موجب تقویت بیشتری در خواص شده است. مطالعات اخیر درباره الیاف طبیعی نشان می دهد که امکان دست یابی به آمیزه هایی با خواص مکانیکی مطلوب به وسیله تقویت کننده های گفته شده نیز وجود دارد [۱۱-۱۴]. این الیاف به علت ماهیت تجدیدپذیر، ارزانی، سهولت دسترسی به آنها و آسانی اصلاح شیمیایی و مکانیکی

باعث کاهش مصرف لاستیک زیست تخریب ناپذیر در محصول می شوند. این ترکیبات با نسبت منظر (L/D) در محدوده ۲۰۰-۱۰۰ در پلیمرها حین اختلاط بدون شکست پراکنده شده و ضمن فرایند جهت گیری می کنند. در نهایت، می توان عوامل مؤثر بر طراحی یک کامپوزیت لاستیکی تقویت شده با الیاف کوتاه را به نسبت طول به قطر الیاف، جهت گیری و پراکنندگی الیاف، وجود فصل مشترکی قوی بین الیاف و لاستیک و نوع الیاف به کار رفته در ماتریس مربوط دانست [۱۵، ۱۶]. نقش فصل مشترک در تقویت لاستیک ها با فنون و عوامل پیوند متفاوت بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۷-۲۱].

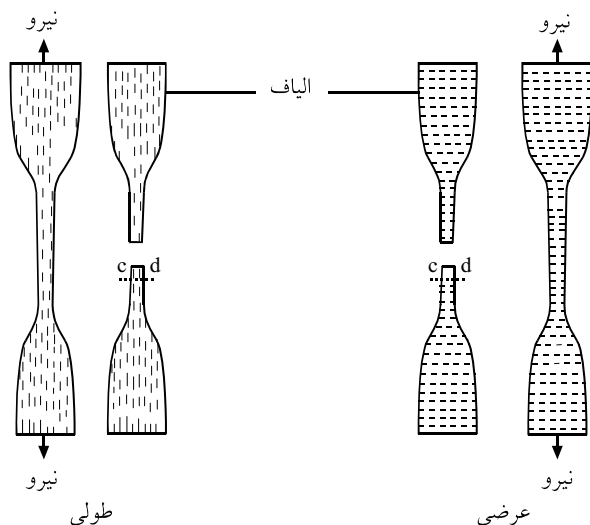
در دهه اخیر، استفاده از الیاف ضایعاتی توجه پژوهشگران را جلب کرده است. زیرا، افزون بر استفاده مجدد از این ضایعات که مشکلات زیست محیطی را تا حدی برطرف می کند، از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه است [۱۲، ۲۲]. بنابراین در پژوهش فعلی سعی شده است، از الیاف ضایعاتی به دست آمده از کارخانه های لاستیک سازی استفاده شود تا با توجه به جدید بودن موضوع کاربرد الیاف ضایعاتی نگرشی نوین بر این موضوع داشته و حاصل پژوهش در این زمینه منتشر شود.

در مقاله حاضر، اثر مقدار الیاف کوتاه نایلون نو و ضایعاتی ۶۶ بر خواص فیزیکی و مکانیکی لاستیک طبیعی و هم چنین ویژگی های پخت آمیزه ها با عامل سازگار کننده سه جزئی HRH بررسی شده است. یادآور می شود، انواع عوامل مختلف سازگار کننده شامل رزورسینول، هگزا متوکسی متیل ملامین (HMMM)، هگزامتیلن تترا آمین - رزورسینول - سیلیکای آب دار (HRH)، فرمالدهید (RFL) و رزین اپوکسی برای این نوع آمیزه ها استفاده می شود. در این مطالعه نوع HRH انتخاب شده است [۷].

## تجربی

## مواد

در این پژوهش، از لاستیک طبیعی (SMR-20) با گرانروی مونی ۶۵ تولید کشور مالزی و الیاف نایلون ۶۶ به شکل نخ با چگالی  $1/4 \text{ g/cm}^3$  و طول ۶ mm محصول شرکت Saba Fiber استفاده شده است. الیاف ضایعاتی با طول ۶ mm و قطر  $0/17 \text{ mm}$  از شرکت ریکلیم یزد تهیه شد. عامل سازگار کننده شامل رزورسینول با چگالی  $2/36 \text{ g/cm}^3$ ، هگزا متیلن تترا آمین با چگالی  $1/33 \text{ g/cm}^3$ ، سیلیکای رسوبی با نام تجاری ولکاسیل S و چگالی  $2 \text{ g/cm}^3$  و عوامل پخت شامل روی اکسید (ZnO)، شتاب دهنده سیکلو هگزیل بنزوتیازول سولفونامید



شکل ۱ - نمونه های تهیه شده برای آزمون کشش.

استاندارد ASTM D 3616 به مدت ۴۸ h در دمای محیط درون تولوئن قرار گرفتند [۱۴].

### روش ها

#### آمیزه سازی

آمیزه ها با استفاده از غلتک آزمایشگاهی براساس فرمول بندی جدول ۱ تهیه شدند. سرعت غلتک ها ۵۰ rpm و فاصله بین آنها ۴ mm در نظر گرفته شد.

(cyclohexyl benzothiazole sulfonamide, CBS) و گوگرد

محصول شرکت Bayer استفاده شد.

### دستگاه ها

برای اختلاط آمیزه ها، از غلتک آزمایشگاهی مدل ۲۰۰L Polymix ساخت آلمان با سرعت ۵۰ rpm و دمای اختلاط ۵۰°C استفاده شد. پخت آمیزه ها به وسیله پرس هیدرولیک ۲۵ تن ساخت شرکت Davenport (انگلستان) در دمای ۱۵۰°C و فشار ۱۸۰ kg/cm<sup>۲</sup> انجام شد. مشخصات پخت کامپوزیت ها به وسیله رئومتر مدل ۴۳۰۸ ساخت شرکت Zwick آلمان در دمای ۱۵۰°C معین شد. سختی نمونه ها با دستگاه سختی سنج در مقیاس shore A ساخت شرکت Zwick آلمان طبق استاندارد ASTM D 2240 اندازه گیری شد.

مقدار سایش آمیزه ها نیز به کمک دستگاه Frank Abrasion Tester مطابق استاندارد ASTM D 5963 به دست آمد. مقدار جهندگی نمونه ها نیز به وسیله دستگاه Resilience Tester Frank مطابق ASTM D1054 معین شد. خواص کششی نمونه ها مطابق شکل ۱ در دو جهت طولی و عرضی به کمک دستگاه Tensile Testing Machine Hiwa مطابق استاندارد ASTM D 412 در سرعت کشش ۵۰۰ mm/min به دست آمد.

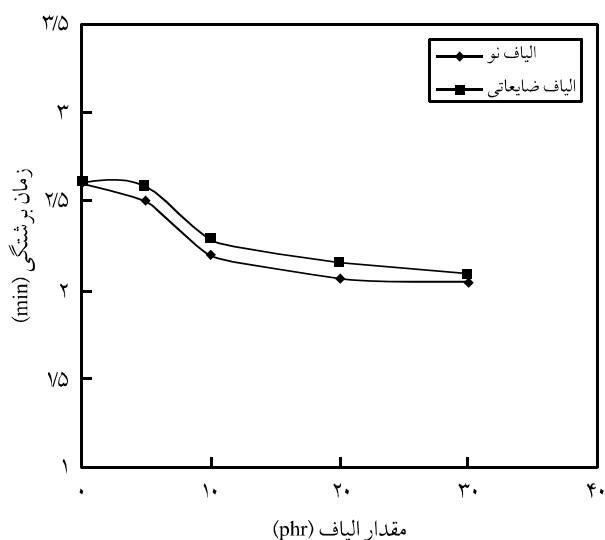
برای آزمون زمان مندی، آمیزه های شامل الیاف ضایعاتی مطابق استاندارد ASTM D573 به مدت ۴۸ h در دمای ۷۰°C در گرم خانه معمولی قرار گرفتند. برای مطالعه مقدار تورم، نمونه ها به شکل مستطیل با ابعاد ۱×۲/۵×۲ mm در جهت طولی تهیه و توزین شدند، سپس طبق

جدول ۱ - فرمول بندی آمیزه ها.

طراحی فرمول *									اجزا
NR-BWF30	NR-BWF20	NR-BWF10	NR-BWF5	NR-BF30	NR-BF20	NR-BF10	NR-BF5	NR-BFo	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	NR
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	روی اکسید
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	استتاریک اسید
۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	رزورسینول
۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶	۱/۶	هگزامین
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	سیلیکا
۳۰	۲۰	۱۰	۵	۳۰	۲۰	۱۰	۵	۰	الیاف
۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	CBS
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	گوگرد

\*B: عامل سازگارکننده، F: الیاف نو، WF: الیاف ضایعاتی و اعداد نشان دهنده مقدار الیاف نو و ضایعاتی در آمیزه است.

نشان می دهد. زمان برشتهگی آمیزه با وارد شدن مقدار ۱۰ phr از الیاف روند کاهشی زیادی نشان می دهد، ولی با افزایش مقدار الیاف به ۲۰ و ۳۰ phr کاهشی مشاهده نمی شود. قابل ملاحظه است که روند کاهش زمان برشتهگی در آمیزه های شامل الیاف نو نسبت به الیاف ضایعاتی بیشتر است. زمان برشتهگی آمیزه خام (بدون الیاف) برابر با ۲/۶۱ min است و برای آمیزه های شامل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ phr الیاف به ترتیب به مقدار ۲/۲۰، ۲/۰۷ و ۲/۰۵ min کاهش یافته است. دلیل کاهش زمان برشتهگی را پژوهشگران به وجود نایلون ربط داده اند که واکنش پخت را تسریع می کند [۹]. کوتاه شدن زمان برشتهگی می تواند مربوط به تولید گروه های آمینی از الیاف نایلون باشد که باعث افزایش سرعت زمان برشتهگی شده است. شکل ۴ تغییر زمان پخت آمیزه ها را با افزایش ترکیب درصد الیاف نو و ضایعاتی نشان می دهد. زمان پخت آمیزه ها با افزایش الیاف کاهش می یابد. زمان پخت برای آمیزه بدون الیاف ۸/۸۵ min است، در حالی که برای آمیزه شامل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ phr الیاف نو به ترتیب ۸/۵۱، ۸ و ۷/۸ min است. کاهش زمان پخت مانند کاهش زمان برشتهگی مربوط به گروه های آمینی آزاد شده از الیاف نایلون است [۹]. هم چنین، برای آمیزه های دارای الیاف ضایعاتی نیز چنین روندی مشاهده می شود. ولی، کاهش زمان پخت برای آمیزه های دارای الیاف نو بیشتر از آمیزه های دارای الیاف ضایعاتی است. در شکل ۵ تغییر سرعت پخت آمیزه ها با ترکیب درصد الیاف نشان داده شده است. نتایج گویای این مطلب است که با افزایش ترکیب درصد الیاف سرعت پخت نیز افزایش می یابد که در واقع کاهش زمان برشتهگی و پخت را تأیید می کند.



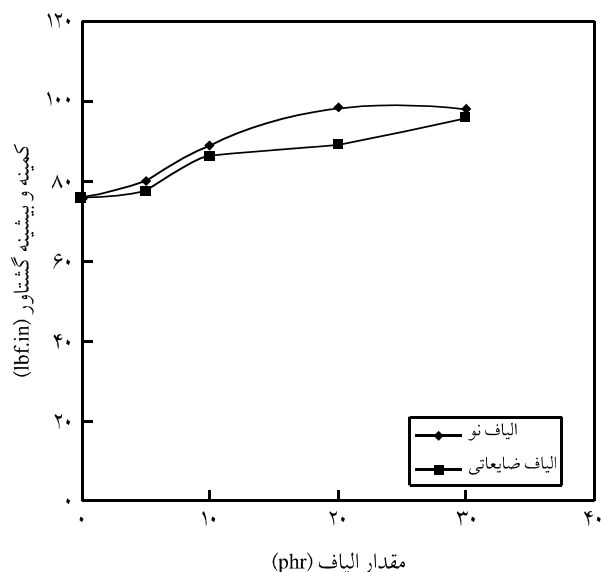
شکل ۳ - تغییرات زمان برشتهگی آمیزه های تهیه شده با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

زمانی که دمای غلتک به  $30^{\circ}\text{C}$  رسید، کائوچوی خام به مدت ۲ min غلتک کاری شد و سپس فاصله دو غلتک کاهش یافت و به ترتیب استتاریک اسید و ZnO به مدت ۵ min به آمیزه اضافه شد. رزورسینول، HMTA هر کدام به مدت ۱ min، ولکاسیل S به مدت ۲ min و الیاف به مدت ۳ min اضافه شدند. در انتها مواد پخت به مدت ۲ min به آمیزه افزوده شد. فاصله بین دو غلتک به ۰/۶ mm کاهش یافت، تا اطمینان حاصل شود که جهت گیری الیاف در جهت غلتک انجام شده است. لازم به ذکر است که دمای غلتک ها در انتهای آمیزه سازی به  $50^{\circ}\text{C}$  افزایش یافت.

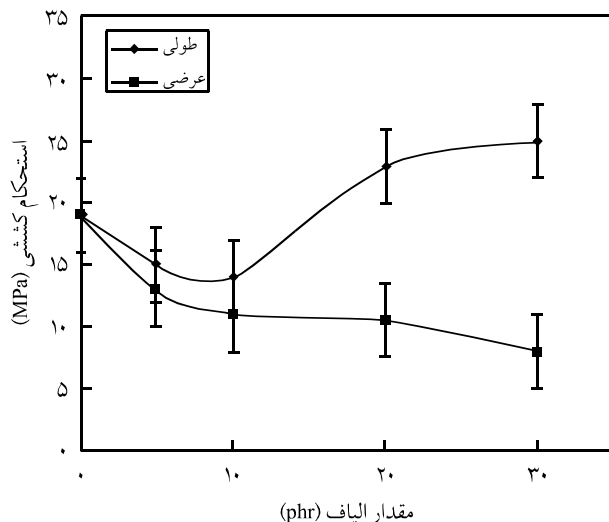
## نتایج و بحث

### مشخصات پخت

شکل ۲ تغییرات تفاوت بیشینه و کمینه گشتاور آمیزه های تهیه شده با ترکیب درصد مختلف الیاف نو و ضایعاتی نایلون ۶۶ را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش الیاف (نو و ضایعاتی) تغییرات گشتاور آمیزه افزایش نشان می دهد. این افزایش گشتاور ناشی از ازدیاد گرانشی آمیزه هاست که در اثر برهم کنش بین الیاف و ماتریس لاستیکی است. مقدار افزایش گشتاور در آمیزه های شامل الیاف ضایعاتی به دلیل اتصالات کمتر بین الیاف ضایعاتی و ماتریس لاستیکی، کمتر است. شکل ۳ تغییرات زمان برشتهگی آمیزه ها را با مقدار الیاف



شکل ۲ - تغییرات تفاوت بیشینه و کمینه گشتاور آمیزه های تهیه شده با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.



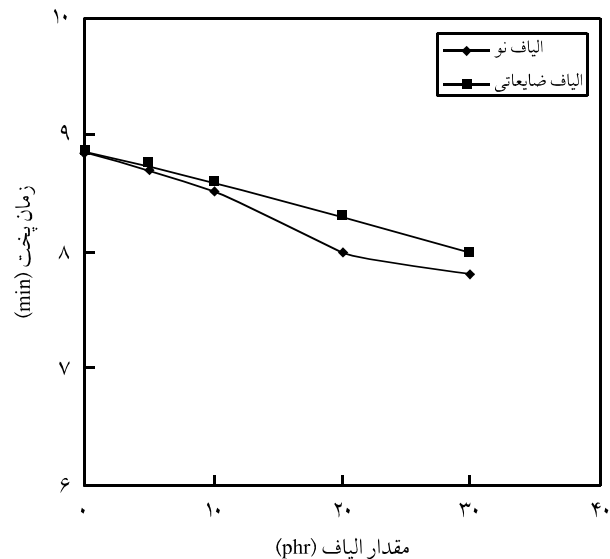
شکل ۶- تغییرات استحکام کششی آمیزه های شامل الیاف نو با ترکیب درصد های مختلف الیاف.

نشدن ماتریس با مقدار ناکافی الیاف، استحکام کششی آمیزه کمتر از لاستیک خام است [۵]. به عبارت دیگر، کاهش اولیه در غلظت کم الیاف به این دلیل است که ماتریس با این مقدار الیاف نه تنها تقویت نشده بلکه نقاط وضعی در آن ایجاد می شود که حتی با اعمال تنش کم، الیاف از ماتریس جدا شده و استحکام کششی کاهش می یابد [۴، ۵، ۱۲]. شکل ۶ نشان می دهد که استحکام کششی آمیزه ها در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی است. در واقع در حالتی که الیاف در جهت عرضی قرار گرفته اند، رشد ترک در اثر اعمال تنش راحت تر رخ می دهد [۱۲].

شکل ۷ استحکام کششی آمیزه های شامل الیاف ضایعاتی را با ترکیب درصد های مختلف نشان می دهد. روند تغییرات مشابه آمیزه های شامل الیاف نو است، با این تفاوت که استحکام کششی آمیزه های شامل ۲۰ و ۳۰ phr الیاف، مشابه آمیزه بدون الیاف است.

در شکل ۸ مشاهده می شود که مقدار ازدیاد طول تا پارگی برای تمام آمیزه ها با اضافه کردن الیاف نو کاهش می یابد. افزودن ۲۰ phr الیاف نو به آمیزه باعث کاهش بسیار زیاد مقدار ازدیاد طول شده ولی با افزایش ۳۰ phr الیاف نو، مقدار کاهش تقریباً ثابت باقی می ماند. نکته قابل ذکر دیگر این است که مقدار تغییرات ازدیاد طول تا پارگی در حالت عرضی کمتر از طولی است. شکل ۹ مقدار ازدیاد طول تا پارگی آمیزه های با ترکیب درصد های مختلف الیاف ضایعاتی را نشان می دهد. در باره آمیزه های ضایعاتی نیز دیده می شود که با افزایش الیاف مقدار ازدیاد طول روند کاهشی نشان می دهد.

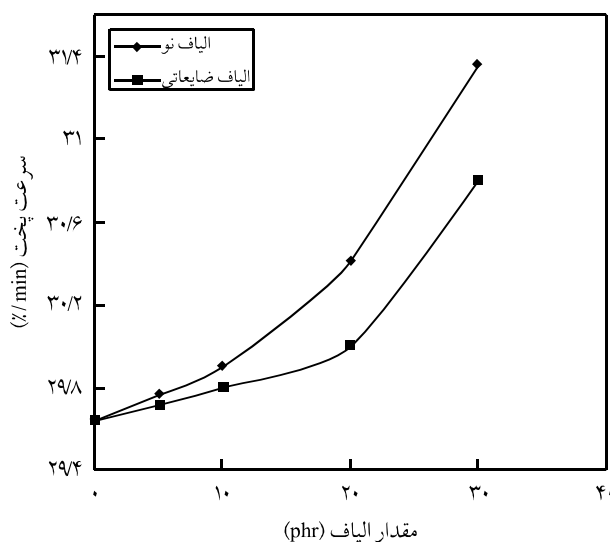
شکل ۱۰ نشان می دهد که مقدار جهندگی آمیزه ها با افزودن الیاف کاهش یافته، ولی با افزایش الیاف به مقدار ۲۰ و ۳۰ phr مقدار جهندگی



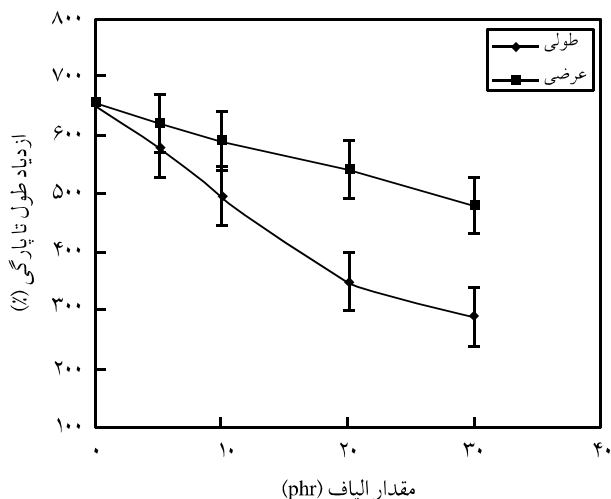
شکل ۴- تغییرات زمان پخت نسبت به ترکیب درصد های مختلف الیاف نو ضایعاتی.

### خواص مکانیکی

شکل ۶ تغییرات استحکام کششی آمیزه ها را نسبت به ترکیب درصد الیاف نو نشان می دهد. استحکام کششی آمیزه ها با افزودن ۱۰ phr الیاف نو در ابتدا کاهش یافته ولی در مقادیر ۲۰ و ۳۰ phr افزایش نشان می دهد. لاستیک طبیعی خام به دلیل بلورینگی تنش القایی (stress induced crystallization) استحکام کششی بسیار زیادی نشان می دهد، ولی در مقادیر کم الیاف (۱۰ phr) به دلیل تمرکز تنش و تقویت



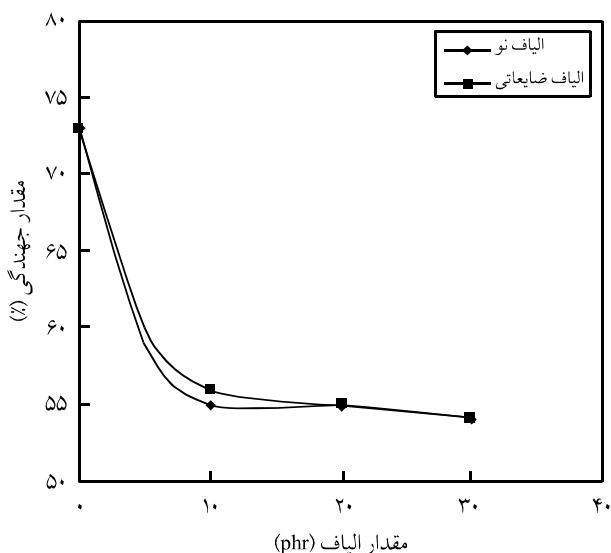
شکل ۵- تغییرات سرعت پخت آمیزه های شامل الیاف نو و ضایعاتی با ترکیب درصد های مختلف الیاف.



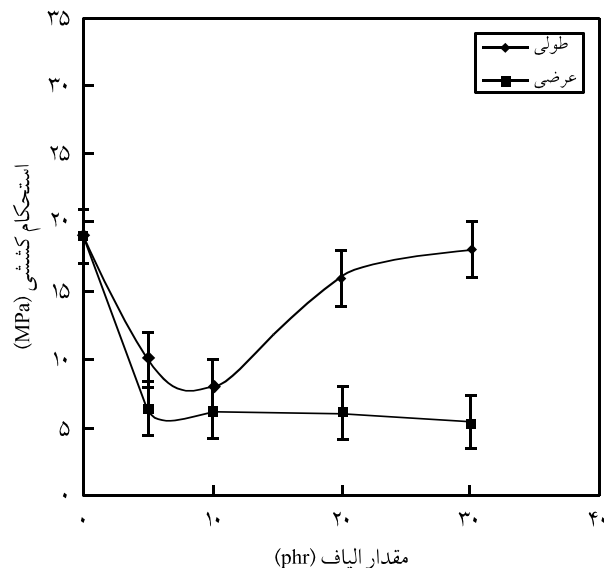
شکل ۹ - تغییرات ازدیاد طول تا پارگی با ترکیب درصدهای مختلف الیاف ضایعاتی.

الیاف نو و ضایعاتی مشابه یک دیگر است. شکل ۱۲ نشان می دهد که با افزایش الیاف نو و ضایعاتی، سختی آمیزه های نیز افزایش یافته است. افزایش سختی را می توان به مقدار زیاد اتصالات بین الیاف با ماتریس لاستیکی ربط داد.

شکل ۱۳ نتایج مربوط به تورم آمیزه ها را با ترکیب درصد الیاف نو و ضایعاتی نشان می دهد. با اضافه کردن ۱۰ phr الیاف، مقدار تورم کاهش قابل ملاحظه ای نشان داده است. ولی، با افزایش الیاف به مقدار ۲۰ تا ۳۰ phr این مقدار کاهش تقریباً ثابت باقی می ماند. کاهش تورم را می توان به میزان



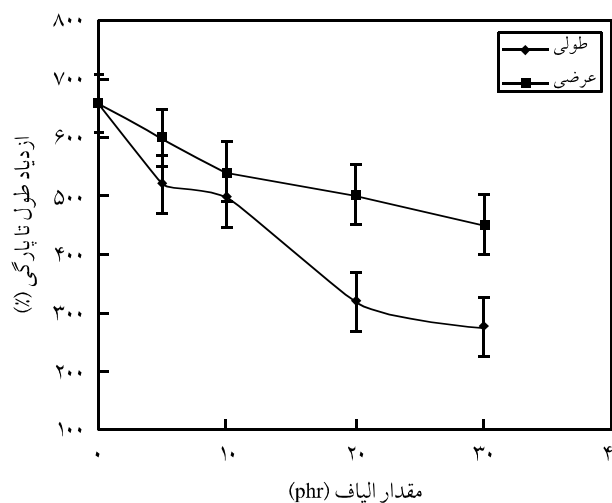
شکل ۱۰ - تغییرات مقدار جهندگی آمیزه ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.



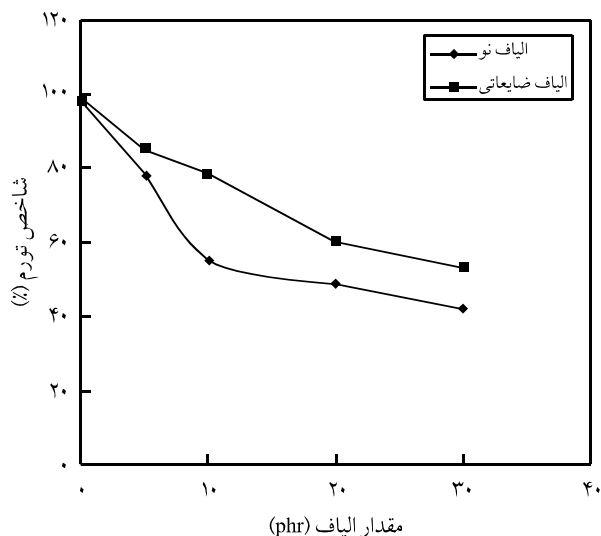
شکل ۷ - تغییرات استحکام کششی آمیزه های شامل الیاف ضایعاتی با ترکیب درصدهای مختلف الیاف.

ثابت باقی می ماند. این روند کاملاً برای آمیزه های دارای الیاف نو و ضایعاتی یکسان است. در شکل ۱۱ تغییرات مقدار سایش آمیزه ها با مقادیر مختلف الیاف نشان داده شده است. هم چنان که مشاهده می شود، مقدار مقاومت سایش نمونه ها با افزایش ترکیب درصد الیاف بهبود می یابد.

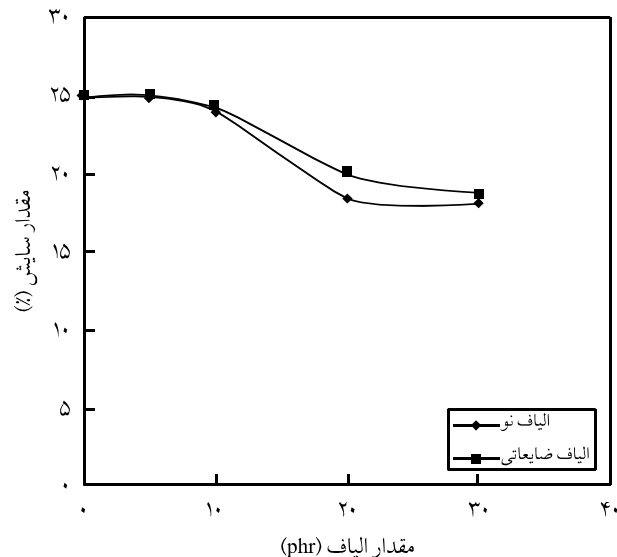
ایجاد اتصالات قوی بین الیاف و ماتریس عامل افزایش مقاومت سایشی گزارش شده است [۱۵]. روند تغییرات سایش آمیزه های شامل



شکل ۸ - تغییرات مقدار ازدیاد طول تا پارگی با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو.



شکل ۱۳ - تغییرات درصد تورم آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.



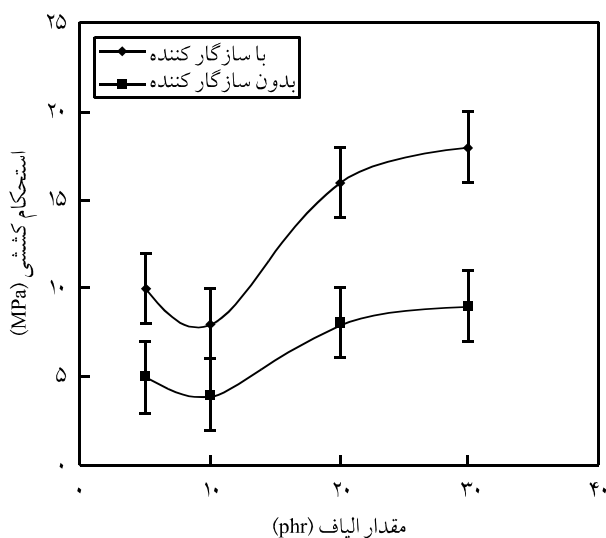
شکل ۱۱ - تغییرات مقدار سایش آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

ماتریس را افزایش داده و در نتیجه مقدار تنش از ماتریس به الیاف به راحتی قابل انتقال است. در نهایت مقدار استحکام کششی افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که همین روند برای آمیزه‌های دارای الیاف نو نیز مشاهده می‌شود.

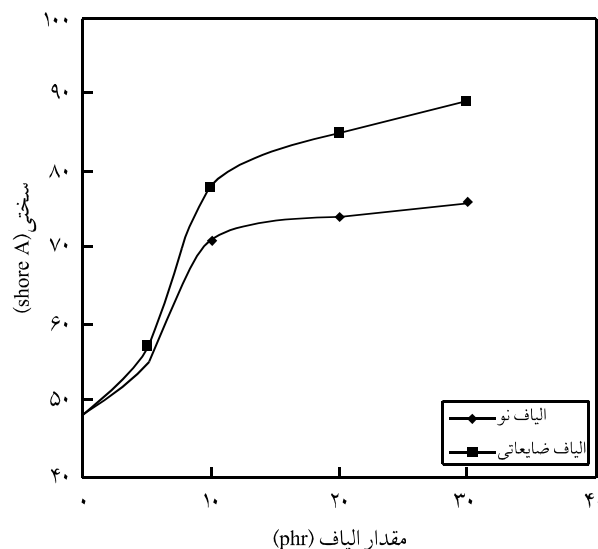
در جدول ۲ خواص مکانیکی آمیزه‌های شامل الیاف ضایعاتی پیش و پس از زمان مندی ارائه شده است. هم‌چنان که از جدول ۲ قابل ملاحظه است، تغییرات استحکام کششی آمیزه‌ها با افزایش درصد الیاف افزایش

زیاد اتصالات الیاف و ماتریس، افزایش مقاومت فصل مشترک آنها و هم‌چنین به مقدار پخش الیاف در ماتریس نسبت داد که مانع از ورود حلال به داخل آمیزه می‌شود.

در شکل ۱۴ اثر عامل سازگارکننده روی آمیزه‌های حاوی الیاف ضایعاتی در جهت طولی مورد مطالعه قرار گرفته است. از این شکل کاملاً دیده می‌شود که عامل سازگارکننده نقش مهمی در افزایش خواص مکانیکی آمیزه‌ها ایفا می‌کند، زیرا اتصالات بین الیاف و



شکل ۱۴ - تغییرات استحکام کششی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف ضایعاتی با عامل سازگار کننده و بدون آن.



شکل ۱۲ - تغییرات سختی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

استحکام ماتریس کم می شود و در نتیجه اثر زمان مندی نیز با افزایش درصد الیاف بیشتر می شود.

جدول ۲ - خواص مکانیکی آمیزه های تهیه شده با الیاف ضایعاتی پیش و پس از آزمون زمان مندی.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت های بر پایه لاستیک طبیعی با الیاف کوتاه نو و ضایعاتی نایلون ۶۶ بررسی شد. مطالعات نشان می دهد که مقدار الیاف و عامل سازگار کننده نقش مهمی در بهبود خواص مکانیکی آمیزه ها دارد. زمان پخت و برستگی برای آمیزه های شامل الیاف نو و ضایعاتی به مقدار حدود ۲۰ درصد کاهش می یابد. خواص مکانیکی آمیزه با افزایش الیاف (در ترکیب درصدی بیش از ۱۰ phr) بهبود می یابد. با استفاده از عامل سازگار کننده HRH، خواص مکانیکی آمیزه های شامل الیاف ضایعاتی به طور قابل توجهی افزایش نشان می دهد. هم چنین، با افزایش درصد الیاف ضایعاتی، تغییرات خواص مکانیکی آمیزه ها در اثر زمان مندی افزایش می یابد.

مقدار الیاف ضایعاتی (phr)	استحکام کششی (MPa)		ازدیاد طول تا پارگی (%)	
	پیش از زمان مندی	پس از زمان مندی	پیش از زمان مندی	پس از زمان مندی
۵	۱۰	۱۰/۸(٪۸)	۵۱۰(٪۱۲)	
۱۰	۸	۹/۲(٪۱۵)	۳۹۵(٪۱۹)	
۲۰	۱۶	۱۹(٪۱۸)	۲۸۰(٪۲۰)	
۳۰	۱۸	۲۲(٪۲۲)	۲۰۰(٪۳۰)	

می یابد و در ۳۰ phr به مقدار بیشینه ۲۲ درصد می رسد. همین روند برای مقدار درصد ازدیاد طول تا پارگی نیز مشاهده شد، به طوری که درصد تغییرات با افزایش درصد الیاف افزایش یافته و در مقدار ۳۰ phr الیاف به حدود ۳۰ درصد می رسد. با توجه به این که مقدار اتصالات بین الیاف ضایعاتی با ماتریس نسبت به الیاف نو کمتر است. بنابراین، مقدار

### مراجع

- Derringer G.C., Compounding with Fibers for High Performance Elastomer Compounds, *Rubber World*, 45-50, 1971.
- Goettler L.A. and Shen K.S., Short Fiber Reinforced Elastomers, *Rubber Chem. Technol.*, **56**, 619-638, 1983.
- Manchado M.A.L. and Arroyo M., Short Fibers as Reinforcement of Rubber Compounds, *Polym. Compos.*, **23**, 666-681, 2002.
- Rajesh C., Unnikrishnan G., Purushothaman E., and Thomas S., Cure Characteristics and Mechanical Properties of Short Nylon Fiber-reinforced Nitril Rubber Composite, *J. Appl. Polym. Sci.*, **92**, 1023-1030, 2004.
- Rajeev R.S., Bhowmick A.K., De S.K., and Bandyopadhyay S., Short Melamine Fiber Filled Nitril Rubber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 544-558, 2003.
- Younan A.F., Ismail, M.N., and Yehia A.A., Reinforcement of Natural Rubber with Nylon 6 Short Fibres, *J. Appl. Polym. Sci.*, **45**, 1967-1971, 1992.
- Bhowmick A.K. and Stephens H.I., *Handbook of Elastomers*, Marcel Dekker, New York, Chap. 9, 1988.
- Wazzan A.A., Physico-Mechanical Properties of EPDM/Nylon-6 Short Fiber Composites, *Int. J. Polym. Mater.*, **53**, 59-67, 2004.
- Sreeja T.O., and Kutty. S.K.N., Studies on Acrylonitril Butadiene Rubber-short Nylon Fiber Composites, *J. Elast. Plast.*, **34**, 157-169, 2002.
- Coran A.Y., Boustany K., and Hamed P., The Properties of Oriented Cellulose-fiber Elastomer Composites, *Rubber Chem. Technol.*, **47**, 396-410, 1974.
- Murty V.M. and De S.K., Studies on Short Jute Fiber-reinforced Natural Rubber Composites, *Rubber Chem. Technol.*, **55**, 287-308, 1982.
- Setua D.K. and De S.K., Short Silk Fiber-reinforced Natural Rubber Composites, *Rubber Chem. Technol.*, **56**, 808-826, 1983.
- Varghese S., Kuriakose B., and Thomas S., Stress Relaxation in Short Sisal-fiber Reinforced Natural Rubber Composites, *Appl. Polym. Sci.*, **53**, 1051-1060, 1994.
- Geethamma V.G., Reethamma J., and Thomas S., Short Coir Fiber - reinforced Natural Rubber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 583-599, 1995.
- Seema A., Kutty S.K.N., Effect of an Epoxy- Based Bonding Agent on the Cure Characteristics and Mechanical Properties of Short-nylon Fiber Reinforced Acrylonitrile - Butadiene Rubber



- Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **99**, 532-539, 2006.
16. Hanafi I., Edyham M.R., and Wirjosentone B., Bamboo Fiber Filled Natural Rubber Composites: The Effects of Filler Loading and Bonding Agent, *Polym. Test.*, **21**, 139-144, 2002.
17. Foldi, A.P, Reinforcement of Rubber through Short Individual Filaments, *Rubber Chem. Technol.*, **49**, 379-389, 1976.
18. Grayson M., Encyclopedia of Composite Materials and Components, *Wiley*, New York, 389-390, 1983.
19. Ibarra L. and Chamorro C., Mechanics of Short Fibers in Filled SBR Composites, *Polym. Compos.*, **9**, 198-203, 1988.
20. Geethamma V.G., Kalaprasad G., Groeninckx G., and Thomas S., Dynamic Mechanical Behavior of Short Coir Fiber Reinforced Natural Rubber Composites, *Composites: Part A*, **36**, 1499-1506, 2005.
21. Jacob M., Francis B., and Thomas S., Dynamic Mechanical Analysis of Sisal/Oil Palmhybrid Fiber-Reinforced Natural Rubber Composites, *Polym. Compos.*, **27**, 671-680, 2006.
22. Chandra A.K., Nizar K.M.A., Mukhopadhyay, Studies On The Effect Of Waste Dipped And Calendered Nylon Short Fiber On Farm/Tractor Tyre Tread Formulation *J. Elast. Plast.*, **27**, 56-78, 1995.