

Mechanical and Morphological Properties of Short Nylon Fiber Reinforced Acrylonitrile-Butadiene Rubber Composites

S.H. Mohseniyan¹, G.R. Bakhshandeh², G. Naderi^{*2}, and S. Soltani²

1. Islamic Azad University, South Tehran Unit, P.O. Box: 19395-4158

2. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14965-115, Tehran, Iran

Received 2 August 2010, accepted 18 September 2010

ABSTRACT

Acrylonitrile butadiene rubber (NBR) composites are prepared from waste nylon 66 short fiber using a two-roll mill mixer. The effects of fiber content and bonding agent on the mechanical and morphological properties of the composites are studied. The curing characteristics of the composites have been studied by using cure rheometer. The cure and scorch time of the composites decrease while cure rate is increased when short fiber content is increased. The mechanical properties of the composites show improvement in both longitudinal and transverse directions with increase in short fiber content. The adhesion between the fiber and rubber is enhanced by using a dry bonding system consisting of resorcinol, hexamethylenetetramine and hydrated silica (HRH). The swelling behavior of the composites in N,N-dimethylformamide is tested to find the effect of bonding agent on adhesion strength of the matrix and fibers. Fracture surface morphology of composites is studied by scanning electron microscopy. The restriction to swelling is higher for composites containing bonding agent, especially, in the longitudinal direction. The morphology of the fracture surface shows less fiber pull out when the bonding agent is introduced.

Key Words:

acrylonitrile butadiene rubber (NBR), short nylon fiber, compatibilizer agent, physical-mechanical properties, morphology

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: g.naderi@ippi.ac.ir

خواص مکانیکی و شکل شناسی لاستیک آکریلونیتریل بوتادی ان تقویت شده با الیاف کوتاه نایلون

شهره سادات محسنیان^۱، غلامرضا بخشنده^۲، قاسم نادری^{۲*}، صدیقه سلطانی^۲

۱- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، صندوق پستی ۴۱۵۸-۱۹۳۹۵

۲- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

دریافت: ۸۹/۵/۱۱، پذیرش: ۸۹/۶/۲۷

چکیده

کامپوزیت های لاستیک آکریلونیتریل بوتادی ان (NBR) با مقادیر مختلف الیاف کوتاه ضایعاتی نایلون ۶۶ با استفاده از غلتک آزمایشگاهی تهیه شده اند. اثر مقدار الیاف و عامل سازگارکننده بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شکل شناسی کامپوزیت های تهیه شده مطالعه شده است. مشخصات پخت آمیزه ها به وسیله دستگاه ریومتر مطالعه شده است. نتایج نشان می دهد، با افزایش مقدار الیاف زمان پخت و برستگی کاهش، ولی سرعت پخت افزایش می یابد. خواص مکانیکی آمیزه های یاد شده با افزایش ترکیب درصد الیاف کوتاه در دو جهت طولی و عرضی افزایش نشان می دهد. هم چنین، چسبندگی الیاف به ماتریس لاستیکی با افزودن عامل سازگارکننده هگزامتیلن تتراآمین، رزورسینول و سیلیکای آبدار (HRH) افزایش می یابد. برای مطالعه اثر عامل سازگارکننده بر چسبندگی ماتریس به الیاف، رفتار تورمی کامپوزیت ها در حلال N,N-دی متیل فرمامید و هم چنین شکل شناسی سطح شکست آمیزه ها به وسیله میکروسکوپ الکترون پویشی بررسی شده است. مقدار تورم برای کامپوزیت های شامل سازگارکننده به ویژه در جهت طولی کاهش داشته و تصاویر میکروسکوپی سطح شکست نمونه ها نشان می دهد، عامل سازگارکننده از بیرون کشیده شدن الیاف از ماتریس NBR جلوگیری می کند.

واژه های کلیدی

لاستیک آکریلونیتریل بوتادی ان

(NBR)،

الیاف کوتاه نایلون،

عامل سازگارکننده،

خواص فیزیکی و مکانیکی،

شکل شناسی

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

مقدمه

لاستیک‌ها به دلیل خاصیت کشسانی، انعطاف پذیری و مقاومت به ضربه اهمیت زیادی دارند. اما، کاربرد آنها در برخی زمینه‌ها به علت ضعف در استحکام و سفتی محدود شده است. به منظور جبران این ضعف، می‌توان لاستیک‌ها را با الیاف کوتاه تقویت کرد، به طوری که در صنایع مختلف و کالاهای مهندسی به دلیل نسبت استحکام به وزن زیاد کاربرد بسیاری پیدا کرده‌اند [۵-۱]. خواص کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف کوتاه به عوامل زیادی از جمله نوع و مقدار الیاف، جهت گیری الیاف، توزیع الیاف پس از اختلاط، طول الیاف و درجه چسبندگی بین الیاف و ماتریس بستگی دارد [۱۰-۶]. از الیاف مختلف طبیعی و مصنوعی شامل شیشه، ریون، نایلون، آرامید، سلولوز، کنف و ابریشم می‌توان به عنوان تقویت کننده در ماتریس‌های لاستیکی استفاده کرد [۱۳-۱۱].

یکی از عوامل مهم در تولید این کامپوزیت‌ها دست‌یابی به چسبندگی کافی بین ماتریس و الیاف است. چسبندگی بین الیاف و ماتریس باید در حدی باشد که وقتی کامپوزیت زیر بار قرار گرفت، ابتدا بار به الیاف و سپس به ماتریس انتقال یابد و فرایند شکست به جای فصل مشترک در ماتریس رخ دهد. انواع مختلف سازگارکننده شامل رزورسینول، هگزامتوکسی متیل ملامین (HMMM)، هگزامتیلن تترا آمین - رزورسینول - سیلیکای آب دار (HRH)، فرمالدهید (RFL) و رزین اپوکسی می‌توانند در کامپوزیت‌ها استفاده شوند. از متداول‌ترین آنها می‌توان سامانه سه تایی هگزامتیلن تترا آمین، رزورسینول و سیلیکای آب دار (HRH) را نام برد [۱۵، ۱۴].

Wazzen و همکاران درباره جنبه‌های مختلف چسبندگی الیاف کوتاه به لاستیک در مجاورت عامل سازگارکننده HRH مطالعاتی انجام دادند. آنها مشاهده کردند، با افزایش مقدار الیاف در مجاورت عامل سازگارکننده HRH خواص مکانیکی آمیزه‌ها افزایش می‌یابد [۱۷، ۱۶]. Seema و Kutty در باره اثر عامل سازگارکننده رزین اپوکسی بر مشخصات پخت و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های NBR با الیاف کوتاه نایلون مطالعه و گزارش کردند، عامل سازگارکننده نقش مهمی در افزایش استحکام این کامپوزیت‌ها دارد [۱۸]. Kumar و همکاران مطالعاتی روی کامپوزیت‌های لاستیک SBR تقویت شده با الیاف کوتاه سلولوزی انجام داده و مشاهده کردند که طول الیاف، جهت گیری آن و عامل سازگارکننده پارامترهای تعیین کننده در تقویت خواص است [۱۹]. رزاقی روی کاربرد الیاف کوتاه آرامید در ماتریس آمیزه ترد تایر به بهبود خواص چنگ زنی و کاهش مقاومت غلتشی این آمیزه اشاره کرده است [۲۰].

در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای، در زمینه حل مشکلات ناشی از لاستیک‌های پخت شده ضایعاتی، که به آسانی تخریب نمی‌شوند، انجام شده است. الیاف ضایعاتی نوع دیگری از مشکلات زیست محیطی را به وجود آورده‌اند که فرایند بازیافت آنها هزینه‌های سنگینی را شامل

می‌شود. گزارش شده است که در فرایند بازیافت تایر حدود ۱۰٪ تا ۱۵٪ الیاف ضایعاتی به دست می‌آید. بنابراین، فرایندی که بتوان از این ضایعات مجدداً استفاده کرد نه تنها مشکلات زیست محیطی را تا حدی برطرف می‌کند، بلکه از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است [۲۲، ۲۱]. در حال حاضر، بسیاری از پژوهشگران از این مواد به عنوان پرکننده فعال در لاستیک استفاده کرده‌اند. Guoqiang و همکاران در زمینه کاربرد الیاف ضایعاتی تایر در بتن پژوهش‌هایی انجام داده و نشان دادند که استحکام بتن تقویت شده با الیاف ضایعاتی بهبود یافته است [۲۳].

با توجه به مطالعات گسترده در زمینه کاربرد الیاف کوتاه در ماتریس‌های لاستیکی، کاربرد الیاف ضایعاتی (حاصل از کارخانه‌های نساجی و تایر سازی) در این نوع ماتریس‌ها موضوع تازه‌ای است که هنوز پژوهشگران نتایجی را در این باره منتشر نکرده‌اند. بنابراین، در پژوهش حاضر سعی شده که از الیاف ضایعاتی حاصل از کارخانه‌های تایر سازی که عمدتاً نایلون ۶۶ است، استفاده شود و اثر مقدار این الیاف بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شکل شناسی لاستیک آکریلونیتریل بوتادی ان با سازگارکننده سه جزئی رزورسینول، هگزامتیلن تترا آمین و سیلیکا (HRH) مطالعه شود. در ضمن، از الیاف نو نایلون ۶۶ نیز در آمیزه‌ها استفاده شد تا مقایسه‌ای بین خواص این دو نوع الیاف به دست آید.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از لاستیک آکریلونیتریل بوتادی ان 3345L دارای ۳۳٪ آکریلونیتریل ساخت تایوان و الیاف نایلون ۶۶ نو به شکل نخ با قطر ۰/۱۸ mm، چگالی ۱/۱۴ g/cm^۳ و طول ۶ mm محصول شرکت الیاف صبا استفاده شد. الیاف نایلون ضایعاتی با طول ۶ mm و قطر ۰/۶۸ mm از شرکت ریکلیم یزد تهیه شد. عامل سازگارکننده شامل رزورسینول با چگالی ۲/۳۶ g/cm^۳، هگزامتیلن تترا آمین با چگالی ۱/۳۳ g/cm^۳ و سیلیکای رسوبی با نام تجاری ولکاسیل S با چگالی ۲ g/cm^۳ و عوامل پخت شامل روی اکسید، استتاریک اسید و شتاب دهنده مرکاپتوبنزوتیازول دی سولفید (MBTS) و تترامیتل تیورام دی سولفید (TMTD)، ضد اکسند ۲،۱- دی هیدرو ۲،۲-تری متیل کوئینولین (HS) و گوگرد محصول شرکت Bayer استفاده شد.

دستگاه‌ها

برای اختلاط آمیزه‌ها از غلتک آزمایشگاهی مدل Polymix 200 L ساخت آلمان با سرعت ۵۰ rpm، دمای اختلاط ۴۰°C تا ۵۰°C استفاده شد.

روش‌ها

آمیزه‌سازی

آمیزه‌ها با استفاده از غلتک آزمایشگاهی بر اساس فرمول بندی جدول ۱ تهیه شدند. سرعت غلتک ۵۰ rpm و فاصله بین آنها ۳ mm در نظر گرفته شد. برای هر آمیزه کل زمان اختلاط بر اساس مقدار الیاف مصرفی بین ۲۰ تا ۲۵ min متغیر بوده است. زمانی که دمای غلتک به ۴۰°C رسید، کائوچوی خام به مدت ۲ min غلتک‌کاری شد، سپس به ترتیب استئاریک اسید، روی اکسید، ضد اکسنده ۲۰۱-دی‌هیدرو ۴،۲،۲-تری‌متیل کوئینولین در دقیقه سوم اضافه شد. عوامل سازگار کننده به ترتیب رزورسینول، هگزامیلن تتراآمین و سیلیکا در دقیقه ششم و الیاف در دقیقه دهم اضافه شدند. در انتها نیز مواد پخت در دقیقه پانزدهم اضافه شد. سپس، فاصله بین دو غلتک به ۱ mm کاهش یافت تا اطمینان حاصل شود که عمدتاً جهت‌گیری الیاف در جهت غلتک (طولی) انجام شده است.

نتایج و بحث

مشخصات پخت

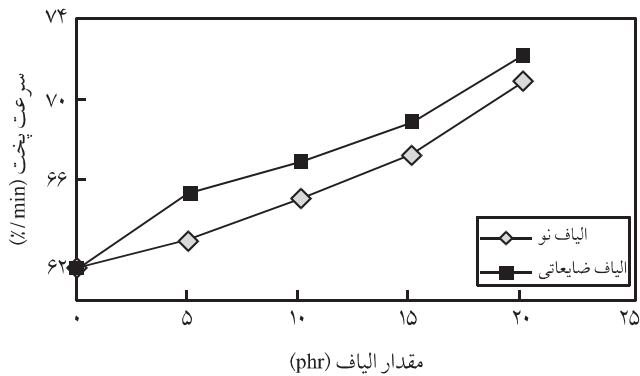
شکل ۱ تغییرات زمان پخت آمیزه‌ها را با مقدار الیاف نو و ضایعاتی نشان

پخت آمیزه‌ها به وسیله پرس هیدرولیک ۲۵ تن ساخت شرکت Davenport انگلستان در دمای ۱۶۰°C و فشار ۲۰۰ kg/cm^۲ انجام شد. مشخصات پخت کامپوزیت‌ها به وسیله ریومتر مدل ۴۳۰۸ ساخت Zwick آلمان در دمای ۱۶۰°C معین شد. سختی نمونه‌ها با دستگاه سختی‌سنج در مقیاس Shore A ساخت Zwick آلمان طبق استاندارد ASTM D2240 اندازه‌گیری شد. مقدار سایش آمیزه‌ها نیز به کمک دستگاه Frank Abrasion Tester طبق استاندارد ASTM D5963 و جهندگی نمونه‌ها نیز به وسیله دستگاه Resilience Tester Frank مطابق ASTM D1024 معین شد. مقدار مانایی فشاری به وسیله قالب آن مطابق استاندارد ASTM D395-3 انجام شد. خواص کششی نمونه‌ها روی دمبل‌های تهیه شده در دو جهت طولی و عرضی به کمک دستگاه Tensile Testing Machine Hiwa مطابق استاندارد ASTM D412 به دست آمد. برای مطالعه جهت‌گیری الیاف، نمونه‌هایی به شکل مستطیل با ابعاد ۱×۲/۵×۰/۲ cm در دو جهت طولی و عرضی تهیه و مطابق استاندارد ASTM D3616 به مدت ۴۸h در دمای محیط درون حلال N,N-دی‌متیل فرمامید متورم شدند. آزمون‌های خواص فیزیکی و مکانیکی روی سه نمونه از هر آمیزه انجام شد. شکل‌شناسی سطح شکست نمونه‌ها به وسیله دستگاه Tescan-Vaga مدل Vaga/Lmu ساخت کشور چک مشاهده شد.

جدول ۱ - فرمول بندی آمیزه‌ها.

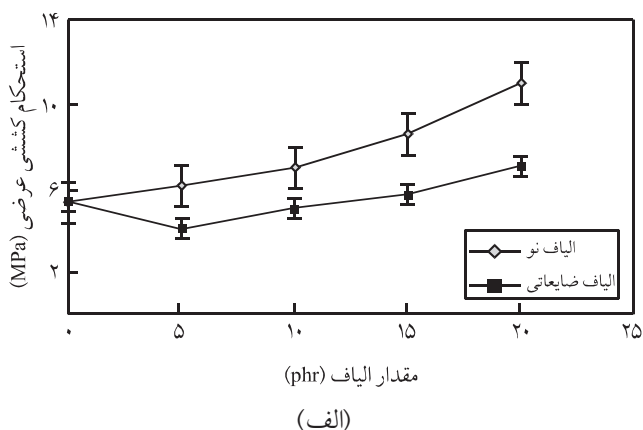
کد نمونه‌ها*											مواد
NBoWF ₂₀	NBWF ₂₀	NBWF ₁₅	NBWF ₁₀	NBWF ₅	NBoF ₂₀	NBF ₂₀	NBF ₁₅	NBF ₁₀	NBF ₅	NBF ₀	
(11)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	NBR
۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	روی اکسید
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	استئاریک اسید
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲۰۱-دی‌هیدرو ۴،۲،۲-تری‌متیل کوئینولین
۰	۵	۵	۵	۵	۰	۵	۵	۵	۵	۵	رزورسینول
۰	۳	۳	۳	۳	۰	۳	۳	۳	۳	۳	هگزامین
۰	۷	۷	۷	۷	۰	۷	۷	۷	۷	۷	سیلیکا
۲۰	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲۰	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	الیاف
۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	تترا متیل تیورام دی سولفید
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	مرکاپتوبنزوتیازول دی سولفید
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	گوگرد

*NBR :N عامل سازگار کننده، F الیاف نو، WF الیاف ضایعاتی و اعداد نشان‌دهنده مقدار الیاف نو و ضایعاتی در آمیزه است.

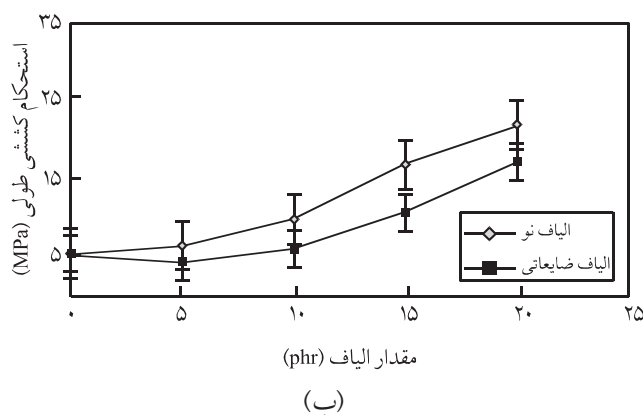


شکل ۳ - تغییرات سرعت پخت آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

مختلف الیاف نو و ضایعاتی نشان می‌دهد. اغلب پژوهشگران گزارش کرده‌اند، افزایش استحکام کششی در مقادیر کمتر از ۱۰ درصد الیاف، ناچیز است و جهت گیری الیاف در هر دو جهت طولی و عرضی نیز قابل ملاحظه نیست. بنابراین، تفاوت زیادی در افزایش استحکام کششی در

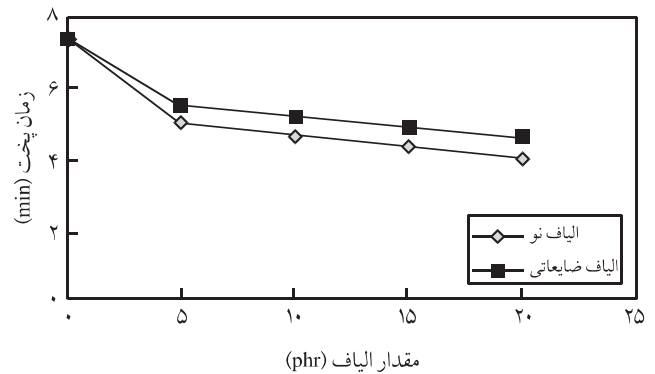


(الف)



(ب)

شکل ۴ - تغییرات استحکام کششی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی در جهت: (الف) طولی و (ب) عرضی.



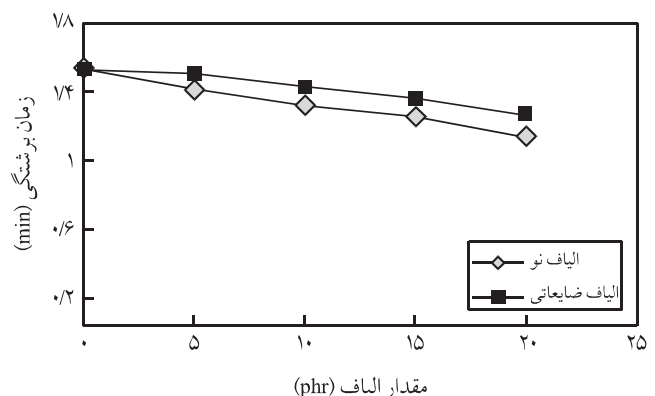
شکل ۱ - تغییرات زمان پخت آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

می‌دهد. زمان پخت با وارد شدن ۵ phr از هر دو نوع الیاف روند کاهشی شدید و سپس یکنواختی نشان داده است. شکل ۲ زمان برشتگی آمیزه را نشان می‌دهد که با افزایش مقدار الیاف کاهش یافته است. پژوهشگران علت کاهش زمان برشتگی و پخت را به گروه‌های آمینی آزاد شده از الیاف نایلون نسبت داده‌اند که باعث قلیایی تر شدن سامانه پخت شده است [۲۴].

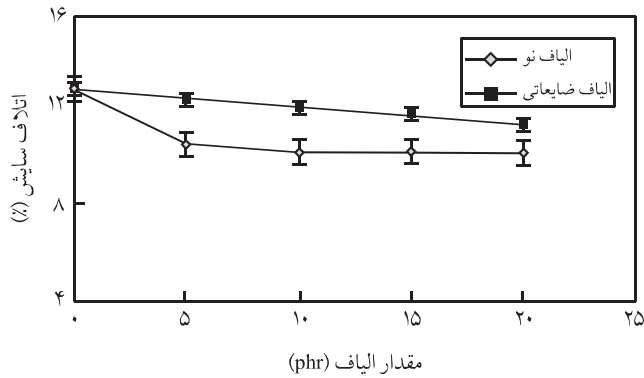
شکل ۳ تغییرات سرعت پخت آمیزه‌ها (بیشینه شیب منحنی پخت که به کمک دستگاه ریومتر پخت محاسبه شده) را با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش ترکیب درصد الیاف سرعت پخت افزایش می‌یابد که در واقع کاهش زمان پخت و برشتگی را تأیید می‌کند. روند کاهش زمان پخت و افزایش سرعت آن برای آمیزه‌های دارای الیاف نو بیشتر از آمیزه‌های دارای الیاف ضایعاتی است. به عبارت دیگر، الیاف نو گروه آمینی بیشتری را نسبت به الیاف ضایعاتی آزاد می‌کنند.

خواص مکانیکی

شکل ۴ - تغییرات استحکام کششی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای



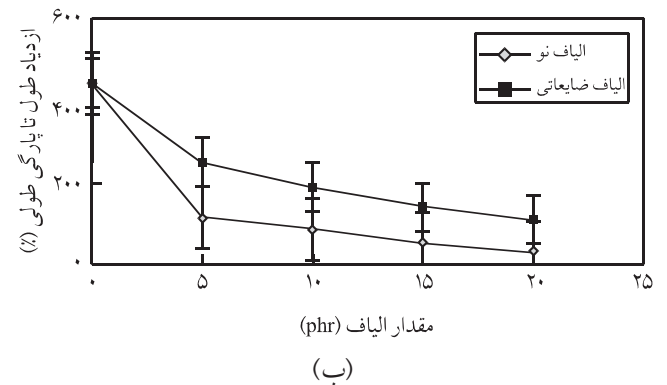
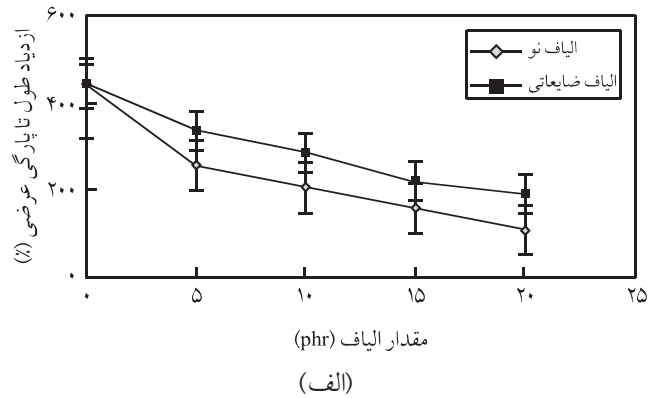
شکل ۲ - تغییرات زمان برشتگی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.



شکل ۷ - تغییرات اتلاف سایش آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

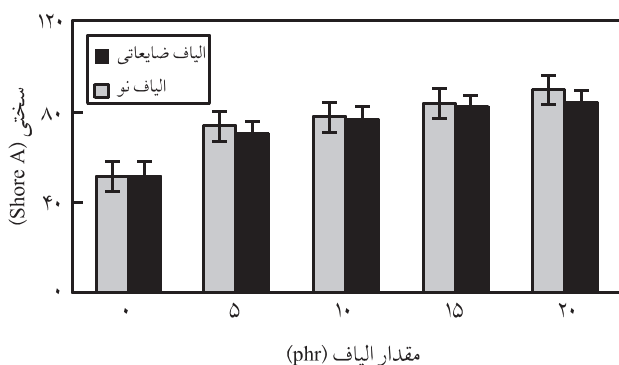
استحکام کششی در جهت طولی نیز بیشتر از جهت عرضی است. زیرا در حالت جهت‌گیری عرضی الیاف، رشد ترک به آسانی در فصل مشترک ماتریس - الیاف اتفاق می‌افتد. بنابراین، استحکام کششی کمتری را نشان می‌دهد [۲۱]. روند افزایشی استحکام کششی الیاف ضایعاتی از الیاف نو کمتر است. به طوری که استحکام کششی در مقدار ۲۰ phr الیاف ضایعاتی معادل ۱۵ phr الیاف نو است. علت این اختلاف ممکن است قطر بیشتر الیاف ضایعاتی نسبت به الیاف نو (L/D کمتر الیاف ضایعاتی) و چسبندگی ضعیف‌تر این الیاف با ماتریس باشد، به دلیل این که قبلاً پوشش داده شده‌اند.

شکل ۵ مقدار ازدیاد طول تا پارگی را برای تمام آمیزه‌های الیاف نو و ضایعاتی نشان می‌دهد. برای ۵ phr الیاف ابتدا کاهش سریع است، ولی با افزایش ۱۰ phr الیاف کاهش تقریباً ثابت می‌ماند. مقدار تغییرات ازدیاد طول تا پارگی در حالت عرضی کمتر از طولی است. شکل ۶ نشان می‌دهد، مقدار جهندگی آمیزه‌ها با افزودن الیاف تا ۱۵ phr کاهش و

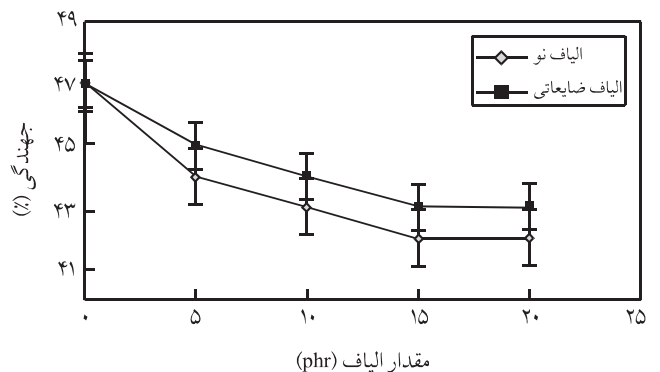


شکل ۵ - تغییرات ازدیاد طول تا پارگی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی در جهت: (الف) عرضی و (ب) طولی.

مقادیر کم الیاف در جهت طولی و عرضی مشاهده نمی‌شود. اما، هر چه مقدار الیاف افزایش یابد به همان نسبت مقدار جهت‌گیری در جهت غلتک (طول) بیشتر می‌شود، در نتیجه تقویت‌کنندگی در این جهت افزایش می‌یابد [۲۵، ۲۶]. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، استحکام کششی در مقدار ۲۰ phr الیاف افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد و مقدار

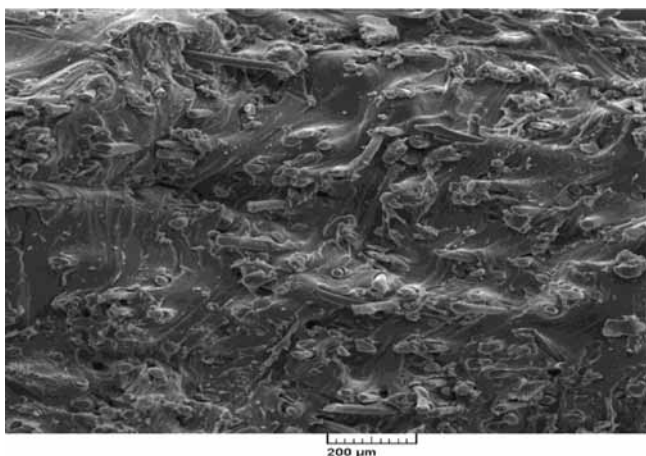


شکل ۸ - تغییرات سختی (Shore A) آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

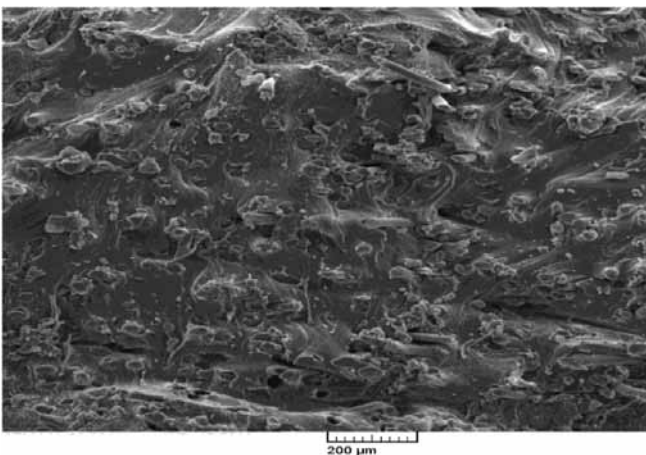


شکل ۶ - تغییرات جهندگی آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

کاملاً برای الیاف نو و ضایعاتی مشابه یک دیگر است. شکل ۷ تغییرات مقدار سایش آمیزه‌ها را نشان می‌دهد. با افزایش درصد الیاف مقدار سایش بهبود می‌یابد. ایجاد اتصالات قوی بین الیاف و ماتریس عامل افزایش مقاومت سایشی است [۲۳-۲۵]. روند تغییرات مقدار سایش آمیزه‌های شامل الیاف نو و ضایعاتی پس از ۵phr الیاف مشابه یک دیگر است. شکل ۸ نشان می‌دهد، با افزایش الیاف نو و ضایعاتی سختی آمیزه‌ها نیز افزایش یافته است. این افزایش سختی را می‌توان به زیاد بودن سختی الیاف نایلون ۶۶ ارتباط داد. در شکل ۹ با افزایش مقدار الیاف نو و ضایعاتی مانایی فشاری در دمای محیط افزایش یافته است که

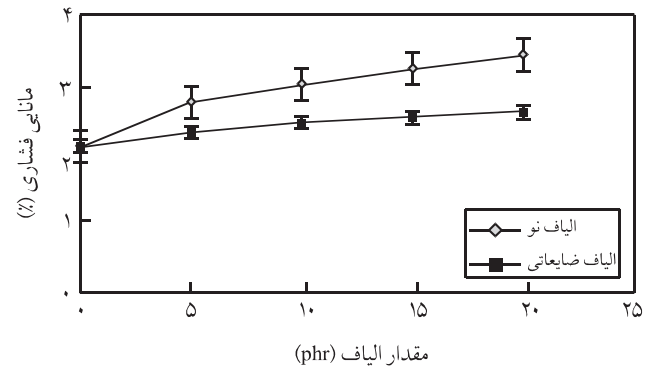


(الف)



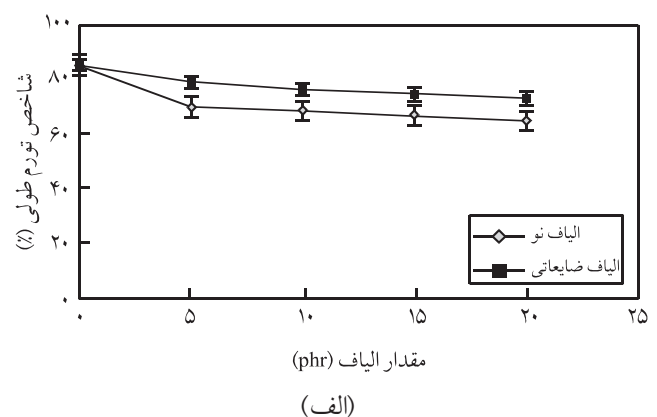
(ب)

شکل ۱۱ - تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست کامپوزیت‌های با: (الف) الیاف نو و (ب) الیاف ضایعاتی دارای عامل سازگارکننده در جهت طولی.

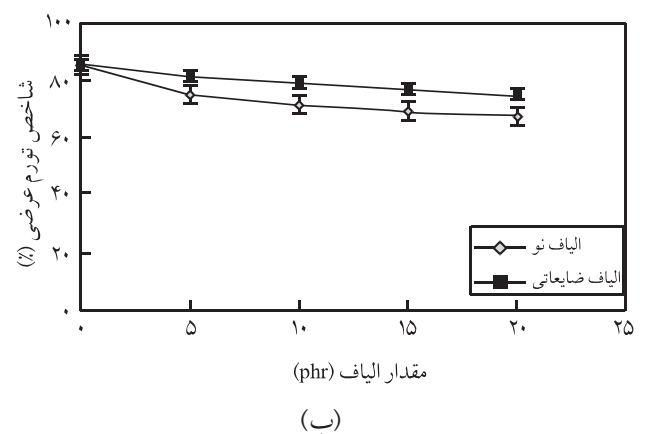


شکل ۹ - تغییرات مانایی فشاری آمیزه‌ها با ترکیب درصد‌های مختلف الیاف نو و ضایعاتی.

سپس ثابت مانده است. علت کاهش جهندگی تا ۱۵phr الیاف را می‌توان به اتلاف انرژی بیشتر در فصل مشترک بین ماتریس و الیاف نسبت داد که با افزایش بیشتر الیاف این مقدار اتلاف انرژی ثابت است. این روند

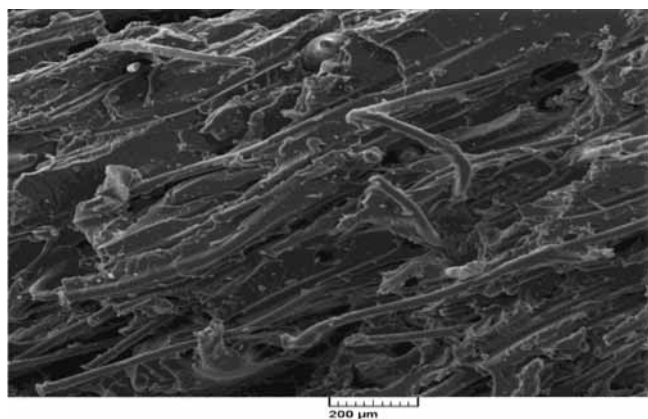


(الف)



(ب)

شکل ۱۰ - درصد شاخص تورم آمیزه‌ها با ترکیب درصد‌های مختلف الیاف نو و ضایعاتی در جهت: (الف) طولی و (ب) عرضی.



(ب)



(الف)

شکل ۱۲ - تصاویر میکروسکوپی الکترونی سطح شکست کامپوزیت‌ها با: (الف) الیاف نو و (ب) الیاف ضایعاتی بدون عامل سازگار کننده در جهت طولی.

مانده نشان‌دهنده چسبندگی ضعیف بین الیاف و ماتریس است. هم‌چنین در نمونه‌های تهیه شده با الیاف نو و سازگار کننده، چسبندگی بهتری بین ماتریس لاستیک NBR با الیاف نایلون ۶۶ مشاهده می‌شود که تأیید کننده خواص مکانیکی بهتر در این کامپوزیت‌هاست. هم‌چنین، با توجه به تصاویر SEM به دست آمده مشاهده می‌شود، هر دو الیاف نو و ضایعاتی نسبتاً به طور یکنواخت در سرتاسر ماتریس پراکنده شده و با مشاهده تصاویر با بزرگ‌نمایی کمتر اثری قابل ملاحظه‌ای از تجمع الیاف دیده نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخصات پخت، خواص فیزیکی، مکانیکی و شکل‌شناسی کامپوزیت‌های بر پایه لاستیک آکریلونیتریل بوتادی‌ان با الیاف نو و ضایعاتی نایلون ۶۶ بررسی شده است. مطالعات نشان می‌دهد، مقدار الیاف با قطر مشخص به همراه عامل سازگار کننده نقش مهمی در بهبود خواص مکانیکی آمیزه‌ها دارد. زمان پخت و برستگی آمیزه‌ها با افزایش ترکیب درصد الیاف تا ۲۰٪ کاهش نشان داده در حالی که سرعت پخت افزایش یافته است. علت کاهش زمان برستگی و پخت به گروه‌های آمینی آزاد شده از الیاف نایلون نسبت داده شده که باعث قلیایی‌تر شدن سامانه پخت شده است. خواص مکانیکی آمیزه‌ها با افزایش ترکیب درصد الیاف و عامل سازگار کننده HRH بهبود یافته و الیاف در دو جهت طولی و عرضی خواص متفاوت نشان داده‌اند. استحکام کششی آمیزه‌های تهیه شده با الیاف نو و ضایعاتی به همراه

تأییدی بر روند کاهش مقدار جهندگی دارد. افزایش مانایی فشاری در الیاف نو و ضایعاتی روند مشابهی دارند. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، در الیاف نو مقدار آن بیشتر از الیاف ضایعاتی است که به علت قطر بزرگ‌تر الیاف ضایعاتی نسبت به الیاف نو است.

نتایج مربوط به تورم آمیزه‌ها با ترکیب درصدهای مختلف الیاف نو و ضایعاتی را می‌توان در شکل ۱۰ مشاهده کرد. با افزایش درصد الیاف مقدار تورم کاهش یافته است که برای الیاف ضایعاتی این مقدار کاهش بسیار کمتر است. کاهش تورم را می‌توان به مقدار اتصالات قوی بین الیاف و ماتریس، افزایش مقاومت فصل مشترک آنها و هم‌چنین به مقدار توزیع بیشتر الیاف در ماتریس نسبت داد که مانع از ورود حلال به داخل آمیزه می‌شود. در الیاف ضایعاتی به علت چسبندگی ضعیف‌تر این الیاف به ماتریس مقدار تورم بیشتر است [۲۶].

مطالعه شکل‌شناسی

با مطالعه شکل‌شناسی سطح شکست کامپوزیت‌ها به کمک SEM می‌توان به جهت‌گیری الیاف و نیز به اثر عامل سازگار کننده پی برد. کامپوزیت‌های بررسی شده نمونه‌های ۵ و ۱۰ دارای الیاف نو و ضایعاتی به مقدار ۲۰ phr در جهت طولی با عامل سازگار کننده هستند. همان‌طور که در شکل ۱۱ (الف و ب) مشاهده می‌شود، در اثر تنش اعمال شده به دلیل چسبندگی بین الیاف و ماتریس، بخش‌های کوتاه الیاف با انتهای شکسته شده از روی سطح ماتریس بیرون کشیده نشده‌اند، در حالی که اگر از عامل سازگار کننده استفاده نشود (شکل ۱۲) شکل‌شناسی سطح شکست آمیزه‌ها تفاوت دارد. به این ترتیب که بخش‌های بلند الیاف و بیرون کشیده شدن آنها از سطح ماتریس در اثر تنش و حفره‌های به جا

شدن و شکسته شدن الیاف از سطح ماتریس است. در آزمون تورم با مشاهده تفاوت شاخص تورم نمونه‌ها در دو جهت طولی و عرضی نیز می‌توان به جهت‌گیری الیاف در آمیزه‌ها پی برد که عمدتاً در جهت طولی است.

عامل سازگارکننده در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی است. خواص ناهمسان‌گردی کامپوزیت‌ها افزون بر چسبندگی قوی بین ماتریس و الیاف در مجاورت عامل سازگارکننده با مطالعه شکل‌شناسی سطح شکست به کمک SEM نیز تأیید شده است. وجود الیاف در ماتریس نوع شکست سطح در اثر تنش را تغییر می‌دهد که شامل بیرون کشیده

مراجع

1. Geethamma V.G., Pothen L.A., Rhao B., Neelakantan N.R., and Thomas S., Tensile Stress Relaxation of Short-Coir-Fiber-Reinforced Natural Rubber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **94**, 96-104, 2004.
2. Abdelmouleh M., Boufi S., Belgacem M.N., and Dufreshe A., Short Natural Fiber Reinforced Polyethylene and Natural Rubber Composite: Effect of Silane and Fiber Loading, *Compos. Sci. Technol.*, **67**, 1627-1639, 2007.
3. Rajesh C., Manoj K.C., Purushothaman E., and Unnikrishnan G., Thermal Characterisation of Short Nylon-6 Fibre Reinforced NBR Composites, *Polym. Polym. Compos.*, **17**, 133-140, 2009.
4. Ibarra L., The Effect of a Diazide as Adhesion Agent on Composite Materials Consisting of an Elastomeric Matrix and Short Polyester Fiber, *J. Appl. Polym. Sci.*, **49**, 1595-1601, 1993.
5. Roy R., Bhowmick A.K., and De S.K., Dynamic Mechanical Properties of Short Carbon Fiber-Filled Styrene-Isoprene-Styrene Block Copolymer, *J. Appl. Polym. Sci.*, **49**, 263-273, 1993.
6. Martins M.A. and Mattoso L.H.C., Short Sisal Fiber- Reinforced Tire Rubber Composites: Dynamic and Mechanical Properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 667-670, 2004.
7. Rajesh C., Manoj K.C., Unnikrishnan G., and Purushothaman E., Investigation on Ageing Characteristics of Short Nylon-6 Fiber Reinforced NBR Composites, *Prog. Rubber Plast. Recyc. Technol.*, **24**, 239-253, 2008.
8. Bernasconi A., Davoli P., and Armani C., Fatigue Strength of a Clutch Pedal Made of Reprocessed Short Glass Fibre Reinforced Polyamide, *Int. J. Fatig.*, **32**, 100-107, 2010.
9. Darwish N.A. and Lawandy S.N., Effect of Bonding Systems on the Adhesion of Nitrile Rubber to Nylon Cord, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **39**, 793-806, 2000.
10. Geetamma V.G., Joseph R., and Thomas S., Short Coir Fiber-Reinforced Natural Rubber Composites: Effects of Fiber Length, Orientation, and Alkali Treatment, *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 583-594, 1995.
11. Jacob M., Thomas S., and Varughese K.T., Mechanical Properties of Sisal/Oil Palm Hybrid Fiber Reinforced Natural Rubber Composites, *Compos. Sci. Technol.*, **64**, 955-965, 2004.
12. Murty V.M. and De S.K., Short Jute Fiber Reinforced Rubber Composites, *Rubber Chem. Technol.*, **55**, 287-308, 1982.
13. Seema A. and Kutty S.K.N., Curing Characteristics and Mechanical Properties of Short Nylon Fiber Neoprene Rubber Composites Containing Epoxy Resin as Bonding Agent, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **44**, 1139-1158, 2005.
14. Rajeev R.S., De S.K., Bhowmick A.K., Kao G.J.P., and Bandyopadhyay S., Atomic Force Microscopy Studies of Short Melamine Fiber Reinforced EPDM Rubber, *J. Mater. Sci.*, **36**, 2621-2632, 2001.
15. Wazzan A.A., Physico-mechanical Properties of EPDM/Nylon Short Fiber Composite, *Int. J. Polym. Mater.*, **53**, 59-67, 2004.
16. Geethamma V.G., Thomas M.K., Lakshminarayanan R., and Thomas S., Composite of Short Coir Fiber and Natural Rubber: Effect of Chemical Modification, Loading and Orientation of Fiber, *Polymer*, **39**, 1483-1491, 1998.
17. Leny M., Sunil K., and Narayanankutt Y., Cure Characteristics and Mechanical Properties of HRH Bended Nylon-6 Short Fiber- Nano Silica- Acrylonitrile Butadiene Rubber Hybrid Composite, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **48**, 75-81, 2009.
18. Prasantha Kumar R., Geethakumari Amma M.L., and Thomas S., Short Sisal Fiber Reinforced Styrene-Butadiene Rubber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **58**, 597-612, 1995.
19. Pedroso A.G., Mei L.H.I., Agnelli J.A.M., and Rosa D.S., Properties that Characterize the Propagation of Cracks of Recycled Glass Fiber Reinforced Polyamide 6, *Polym. Test.*, **18**, 211-215, 1999.
20. Razzaghi Kashani M., Aramid-Short-Fiber Reinforced Rubber

- as a Tire Tread Composite, *J. Appl. Polym. Sci.*, **113**, 1355-1363, 2009.
21. Chandra A.K., Nizar K.M.A., and Mukhopadhyay R., Studies on the Effect of Waste Dipped and Calendered Nylon Short Fiber on Farm/Tractor Tyre Tread Formulation, *J. Elast. Plast.*, 56-78, **27**, 1995.
22. Soltani S., Naderi G., and Ghoreishy M.H.R., Mechanical and Rheological Properties of Short-Nylon Fibre NR/SBR Composites, *J. Rubber Res.*, **13**, 110-124, 2010.
23. Guoqang Li., Gregory G, John E., and Christopher A., Waste Tire Fiber Modified Concrete, *Composites: Part B*, **35**, 305-312, 2004.
24. Sreeja T.D. and Kutty S.K.N., Studies on Acrylonitrile Butadiene Rubber-Short Nylon Fiber Composites, *J. Elast. Plast.*, **34**, 157-169, 2002.
25. Ghoreishy M.H.R., Soltani S., and Naderi G., Studies on Properties of Short Fiber Reinforced Natural Rubber Composites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **21**, 259-267, 2008.
26. Bhowmick A.K. and Stephens H.I., *Handbook of Elastomers*, Marcel Dekker, New York, 241-264, 1994.