

بررسی تجربی ویژگی‌های مکانیکی، رئولوژیکی و سایش نانوکامپوزیت‌های کائوچوی طبیعی / نانورُس، تهیه شده با روش اختلاط مذاب

Experimental Study of Mechanical and Rheological Properties and Abrasion of Natural Rubber/Organo clay Nanocomposites, Prepared by Melt Mixing Method

چکیده:

در این پژوهش تهیه و بررسی ویژگی‌های نانوکامپوزیت کائوچوی طبیعی/ نانورُس در حضور سازگارکننده‌ی مالیئکه مورد بررسی قرار گرفته است. آمیزه‌ها توسط مخلوطکن داخلی و غلتک آزمایشگاهی تهیه شده است. آزمون رئومتر روی نمونه‌ها نشان داد که حضور سازگارکننده سبب افزایش اختلاف گشتاور پخت و همچنین کاهش زمان پخت می‌شود. اندازه‌گیری مقدار پیوندهای عرضی در نمونه‌ها و بررسی ویژگی‌های مکانیکی، سایش، رفتار رئولوژیکی و ریخت‌شناسی نمونه‌ها بیانگر آن بود که استفاده از ۸ پارت سازگارکننده منجر به بهینه شدن ویژگی‌ها می‌شود. در واقع سازگارکننده از راه قرار گرفتن در سطح مشترک ماتریس و صفحه‌های نانورُس موجب بهبود چسبندگی بین سطحی شده و از این طریق و همچنین به دلیل افزایش چگالی پیوندهای عرضی، این تغییرها را سبب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت‌های پلیمری، کائوچوی طبیعی، استحکام کششی، سایش.

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه:

بنابراین انتظار می‌رود که نانوکامپوزیت کردن کائوچوها با این نانوپرکننده‌ی فعال، سبب کاهش مقدار مصرف مواد تقویت‌کننده که به طور معمول از چگالی بالاتری نسبت به کائوچو برخوردار است بشود و این خود کاهش وزن فرآورده را به همراه داشته باشد. وزن مولکولی زیاد در کائوچوها سبب ایجاد گراندروی بالای آمیزه هنگام اختلاط و آمیزه‌سازی می‌شود، که به واسطه‌ی آن، تنش‌های برشی بالا به صورت موضعی بر نره‌های

در صنایع پلیمری، دستیابی به ویژگی‌های مهندسی مطلوب و طراحی شده، مستلزم استفاده از مواد تقویت‌کننده با به کارگیری روش مناسب آمیخته‌سازی است. در این راستا نانوکامپوزیت‌های پلیمری با ماتریس‌های پلاستیک و کائوچو که نره‌های خاک‌رُس در آن‌ها نقش تقویت‌کنندگی دارد بسیار مورد توجه هستند. از آنجایی که با استفاده از مقدار کمی نانورُس دستیابی به ویژگی‌های مورد نیاز امکان‌پذیر است،

مهسانعت الهی^(۱)، اعظم جلالی آرانی^{(۱)*}، کریم گلزار^(۲)

۱- دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۲- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

* عهده دار مکاتبات:

ajalali@aut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۴

تاریخ بازنگری: ۹۳/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۲۲

“ته و همکاران” [۳] اثر سازگارکنندگی کائوچوی طبیعی اپوکسیده شده (ENR) به مقدار ۱۰ phr در نانوکامپوزیت کائوچوی طبیعی/نانو رس را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتیجه‌ی پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که ENR50 ویژگی‌های کششی و پارگی بهتری در مقایسه با ENR25 نشان می‌دهد. افزودن گروه اپوکسید باعث افزایش سفتی نانوکامپوزیت می‌شود که این امر به دلیل اثر گروه‌های اپوکسی روی فرایند فعال‌سازی شبکه‌ی شدن از طریق واکنش با عامل‌های آمین در نانو رس اصلاح شده یا فعال‌کننده است. افزودن ENR50 به‌عنوان سازگارکننده، استحکام کششی، درصد ازدیاد طول پارگی و مقاومت پارگی را به ترتیب ۵۳، ۳۹ و ۴۱ درصد افزایش می‌دهد. این نتیجه‌ها به‌عنوان دلیلی برای پراکنش خوب نانو رس در بستر پلیمری و چسبندگی قوی صفحه‌های نانو رس اصلاح شده به بستر کائوچو گزارش شده است.

مقایسه‌ی اثر سازگارکنندگی ENR50 و پلی بوتادین مالئیکه شده (PB-gr-MA) (کوپلیمری حاوی ۸۳ درصد کائوچوی بوتادین و ۱۷ درصد مالئیک انیدرید) بر ویژگی‌های نانوکامپوزیت کائوچوی طبیعی/نانو رس حاوی ۲ phr کلوزیت B 30 توسط “دوگان و همکاران” [۴] مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه‌ی مطالعه‌ی آن‌ها نشان‌دهنده‌ی بهبود ویژگی‌های نانوکامپوزیت‌های سازگار شده توسط این سازگارکننده‌های قطبی‌ست. با استفاده از هر دو سازگارکننده، استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست افزایش پیدا می‌کند، اما مقدار افزایش ویژگی‌ها در حضور سازگارکننده‌ی ENR بیشتر از سازگارکننده‌ی مالئیکه است؛ به‌طوری‌که استحکام کششی نانوکامپوزیت در حضور ۵۴ درصد کائوچوی اپوکسیده شده و ۱۹ درصد PB-gr-MA، افزایش نشان می‌دهد. آن‌ها با محاسبه‌ی فاصله‌های بین لایه‌ی صفحه‌های رس به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از گروه‌های اپوکسی مانع از تجمع صفحه‌های نانو رس شده و در مقایسه با PB-gr-MA،

نانو وارد شده و باعث جدایی و پراکنش آن‌ها می‌شود. این پراکنش منجر به بهبود ویژگی‌های قطعه‌ی نهایی می‌شود. کاهش وزن فراورده‌های لاستیکی به‌ویژه در صنعت تایرسازی، باعث بهبود چشم‌گیر برخی ویژگی‌ها از جمله مقاومت غلتشی، مقاومت سایشی و کاهش مصرف سوخت می‌شود. البته بهبود ویژگی‌های ناشی از حضور نره‌های نانویی در بستر پلیمری زمانی قابل‌توجه است که برای پراکنش بیشتر نره‌ها از سازگارکننده استفاده شود. سازگارکننده‌های مورد‌استفاده که بیشتر پلیمری نیز هستند، به بهبود ویژگی‌های نهایی نانوکامپوزیت کمک شایانی می‌کنند [۱].

در میان کائوچوهای مورد‌استفاده، کائوچوی طبیعی به دلیل فراوانی، طبیعی بودن منبع تولید و همچنین ویژگی‌های کشسانی قابل‌توجهی که ارائه می‌دهد، بسیار مورد استقبال پژوهش‌گران و صنایع مختلف قرار گرفته است؛ به‌طوری‌که در زمینه‌ی تولید نانوکامپوزیت‌های الاستومری با استفاده از کائوچوی طبیعی مطالعه‌های بسیاری انجام شده و پژوهشگران به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت کائوچوی طبیعی پرداخته‌اند. برای مثال “توکلی و همکاران” [۲] برای سازگارسازی نانوکامپوزیت بر پایه‌ی کائوچوی طبیعی/نانو رس از کائوچوی طبیعی اپوکسید شده (ENR50) و اتیلن پروپیلن دی ان مونومر مالئیکه شده (EPDM-gr-MA) به‌عنوان سازگار کننده استفاده کرده‌اند. گزارش آن‌ها بیان‌گر عملکرد بهتر EPDM-gr-MA نسبت به ENR است، به‌طوری‌که آن‌ها در مقاله‌ی خود این‌چنین گزارش کرده‌اند که افزایش استحکام کششی در نقطه‌ی شکست در حضور سازگارکننده‌ی مالئیکه ۳۲ درصد است درحالی‌که ENR استحکام کششی را ۱۶ درصد افزایش می‌دهد. آن‌ها همچنین بهبود رفتار پخت را به برهمکنش شیمیایی بین گروه‌های عاملی آمینی در ساختار نانو رس و گروه‌های قطبی موجود در ساختار سازگارکننده نسبت داده‌اند.

قالب‌گیری شد.

تعیین مشخصات نانوکامپوزیت‌های تهیه شده رئومتر دیسک نوسانی

به‌منظور تعیین مشخصات پخت نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM D2084، از رئومتر دیسک نوسانی مدل (ODR 100S) ساخت شرکت Monsanto در دمای 155°C استفاده شد.

تعیین مقدار چگالی پیوندهای عرضی با آزمون تورم برای اندازه‌گیری چگالی پیوندهای عرضی، از آزمون تورم استفاده شد. از هر یک از نمونه‌های پخت شده نمونه‌یی به بعدهای $20 \times 20 \times 2 \text{ mm}^3$ تهیه شد. نمونه‌ها وزن شد و به مدت ۷۲ ساعت در تولوئن قرار داده شد. پس از این زمان نمونه‌ها از حلال خارج و وزن شد. با داشتن وزن نمونه‌ها پیش و پس از تورم در حلال، و همچنین استفاده از معادله‌ی فلوری-رینر (رابطه‌ی ۱)، مقدار چگالی یا دانسیته‌ی پیوندهای عرضی محاسبه شد.

(۱)

$$1/M_c = 1/2\rho V_0 / [((\ln(1-V_R) + V_R + \chi V_R^2)/(V_R^{1/3} - 1/2V_R))]$$

که در این رابطه، M_c وزن مولکولی بین دو پیوند عرضی متوالی، V_0 حجم مولی تولوئن (1.06 g/cm^3)، ρ چگالی پلیمر، V_R کسر حجمی الاستومر در نمونه‌ی متورم شده و χ معادل (0.33033) و عامل برهم‌کنش پلیمر-حلال است.

حال، چگالی پیوندهای عرضی (n) با استفاده از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$n = 1/(2M_c) \quad (2)$$

آزمون کشش

آزمون کشش طبق استاندارد ASTM D412 با استفاده از دستگاه Galdabini سری Sun 2500 با سرعت کشش 500 mm/min

فاصله‌ی بین لایه‌یی را به‌دلیل آسانی نفوذ زنجیرهای پلیمری، بیشتر افزایش می‌دهد. تأثیر انواع سازگارکننده روی ویژگی‌های نانوکامپوزیت طبیعی/نانورس به‌طور جزئی‌تر در مرجع [۵] گزارش شده است.

در این مطالعه، نانوکامپوزیت کائوچوی طبیعی/نانو رس با استفاده از روش اختلاط مذاب تهیه شد. کائوچوی مالئیکه به‌عنوان سازگارکننده به آن افزوده شد. ترکیب درصد نمونه‌ها در جدول (۱) آمده است. پس از تهیه‌ی نمونه‌ها و پخت آن‌ها، رفتار پخت، ویژگی‌های مکانیکی و ریخت شناسی نمونه‌های تهیه شده مورد ارزشیابی قرار گرفت.

جدول ۱- مقدار phr اجزای تشکیل دهنده‌ی نمونه‌ها

NR/OC/M12	NR/OC/M8	NR/OC/M4	NR/OC	NR	
100	100	100	100	100	کائوچوی طبیعی
5	5	5	5	5	اکسید روی
2	2	2	2	2	اسید استئاریک
3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	گوگرد + شتاب‌دهنده
5	5	5	5	5	نانورس
12	8	4	-	-	سازگار کننده

تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌ها

تهیه‌ی نمونه

برای تهیه‌ی آمیزه‌ها از مخلوط‌کننده‌ی داخلی آزمایشگاهی با حجم ۶۰ cc ساخت شرکت برابندر آلمان و نیز غلتک آزمایشگاهی استفاده شد. اختلاط کائوچو و نانو رس در مخلوط‌کننده‌ی داخلی و در دمای 100°C انجام شد. مواد پخت روی غلتک به نمونه‌ها افزوده شد.

برای تهیه‌ی نمونه‌ی پخت شده به‌منظور انجام آزمون‌های مکانیکی، هر یک از آمیزه‌ها در قالبی به بُعدهای $180 \times 130 \times 2 \text{ mm}^3$ به‌وسیله‌ی دستگاه پرس در دمای 155°C و بر اساس زمان بهینه‌ی پخت به‌دست آمده از آزمون رئومتری

در دمای اتاق انجام شد.

جدول (۲) ارائه شده است.

آزمون سایش

به منظور بررسی مقدار مقاومت نمونه‌ها در برابر سایش، از یک دستگاه آزمون سایش ساخت شرکت Karl Frank GMBH از کشور آلمان استفاده شده است. بدین منظور، نمونه‌هایی دیسکی شکل به ضخامت یک سانتی‌متر تهیه شد و در معرض ۴۰ متر سایش روی یک رول چرخشی قرار گرفت که مقدار زبری سنباده سطح ۶۰ بود و وزنه‌ی ۵ نیوتنی روی نمونه اعمال شد. در ضمن این آزمون در دمای محیط انجام و برای هر نمونه، سه مرتبه تکرار شد.

آزمون میکروسکوپی الکترونی

زبری سطح، ریخت‌شناسی و مقدار توزیع ذره‌های نانو رُس و همچنین ذره‌های پودر لاستیک با عکس‌برداری‌های به‌دست آمده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM مدل MV 2300) موجود در دانشگاه تهران مورد ارزشیابی قرار گرفت.

رفتار رئولوژیکی

رفتار رئولوژیکی مذاب نمونه‌های پخت نشده (مدول نخیره، مدول اتلاف و گرانیوی مرکب) به کمک دستگاه اسپکترومتر رئومکانیکی (RMS) مدل UDS 200 (Austria) با صفحه‌های موازی با قطر ۲۵ میلی‌متر در دمای ۱۶۰ °C در ناحیه‌ی ویسکوالاستیک خطی (یک درصد) اندازه‌گیری شد.

بحث و نتیجه‌گیری

مشخصات پخت

نتیجه‌های آزمون رئومتری نمونه‌ها برای دستیابی به ویژگی‌های پخت آمیزه‌های NR و نانوکامپوزیت‌های آن، در

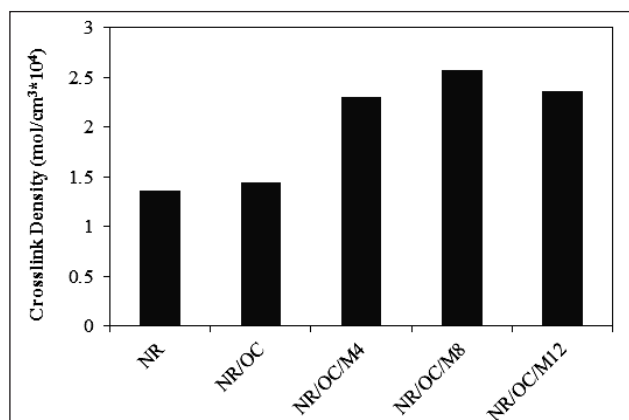
جدول ۲- مشخصات پخت آمیزه‌ی NR و نانوکامپوزیت‌های آن

نمونه	اختلاف گشتاور (dN.m)	زمان بهینه‌ی پخت (s)
NR	۳۲	۷۲۰
NR/OC	۳۵	۵۴۹
NR/OC/M4	۳۶	۵۱۰
NR/OC/M8	۴۰	۴۳۸
NR/OC/M12	۳۳	۵۷۰

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، با افزودن ۵ پارت نانو رُس اصلاح شده به ماتریس NR، اختلاف گشتاور کمینه و بیشینه که به‌نوعی بیان‌گر مقدار چگالی پیوندهای عرضی [۶] نانوکامپوزیت است به‌دلیل وجود صفحه‌های نانورس، افزایش پیدا می‌کند و نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که نانو رُس سبب افزایش تعداد پیوندهای عرضی می‌شود. درحقیقت وجود گروه‌های آمینی موجود در بین لایه‌های نانورس با شرکت در واکنش پخت، سبب افزایش در مقدار پیوندهای عرضی می‌شود [۷ تا ۹]. از دیگر مشخصات پخت که در آمیزه‌های لاستیکی بسیار حائز اهمیت است زمان بهینه‌ی پخت است. با افزودن نانورُس اصلاح شده و در نتیجه افزایش میزان گروه‌های آلکیل آمین (مربوط به اصلاح‌کننده‌های نانورس) در محیط، زمان بهینه‌ی پخت به‌شدت کاهش پیدا می‌کند که این مشاهده با نتیجه‌های گزارش شده توسط تعدادی از پژوهش‌گران در تطابق است [۱۰ تا ۱۴]. گروه‌های آلکیل آمین موجود در ساختار نانولایه‌ها می‌تواند به‌عنوان شتاب‌دهنده عمل کرده و زمان پخت را کاهش دهد [۱۵ تا ۱۷]. همچنین تشکیل یک ترکیب واسطه از اکسید روی، گوگرد و گروه‌های آلکیل آمین عامل‌های اصلاح‌کننده‌ی سطح خاک رُس، منجر به تسریع در تشکیل گوگرد اتمی و سرعت بخشیدن به واکنش

پخت می‌شود (شکل ۱).

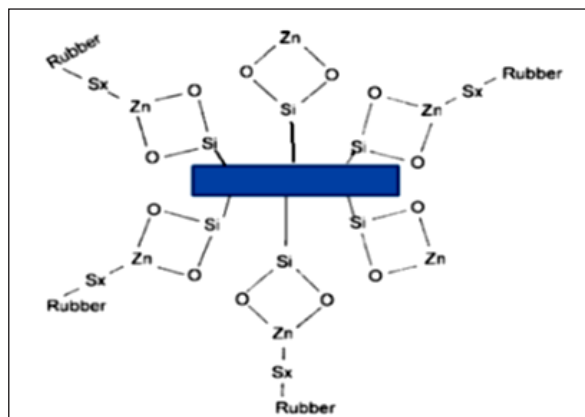
و مولکول‌های کائوچوی طبیعی باشد. همچنین باید اشاره کنیم که روند به‌دست آمده از چگالی پیوندهای عرضی، توافق خوبی با روند تغییر اختلاف گشتاور به‌دست آمده از مرحله‌ی پخت دارد.



شکل ۲- نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون تورم

نتیجه‌های آزمون کشش

مقدار استحکام کششی، درصد کشش تا نقطه‌ی شکست، مدول ۱۰۰ درصد و ۳۰۰ درصد مربوط به نمونه‌ی NR خالص و نانوکامپوزیت‌های NR/OC در جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که از عددهای موجود در این جدول مشهود است، مقدار افزایش استحکام کششی، مدول ۱۰۰ درصد و ۳۰۰ درصد نانوکامپوزیت سازگار نشده به ترتیب در حدود ۶۳ درصد، ۸۰ درصد و ۷۰ درصد بیشتر از نمونه‌ی NR خالص است. این در حالی‌ست که مقدار افزایش درصد کشش در نقطه‌ی شکست قابل‌توجه نیست. در این نانوکامپوزیت‌ها بعد از پخت، زنجیرهای NR وارد فضای بین لایه‌های خاک‌رُس شده



شکل ۱- تشکیل ترکیب واسطه از اکسید روی، گوگرد و گروه‌های

آلکیل آمین موجود بر سطح خاک‌رُس اصلاح شده [۱۴]

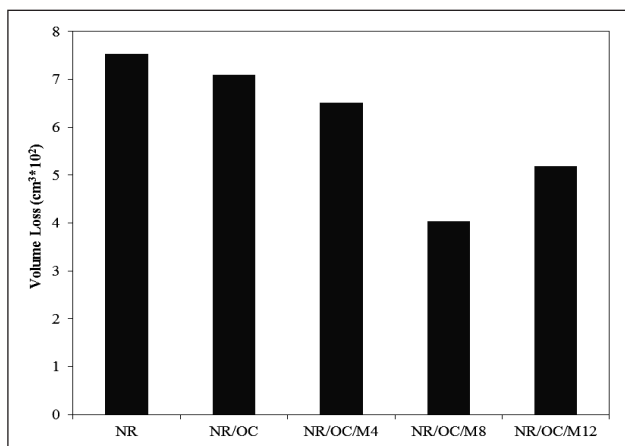
چگالی پیوندهای عرضی

به‌منظور تعیین چگالی پیوندهای عرضی، از روش تورم در حلال تولوئن استفاده شد. نتیجه‌ی به‌دست آمده از انجام این آزمون در شکل (۲) دیده می‌شود. می‌توان مشاهده کرد که با افزودن نانورس به ماتریس NR، مقدار پیوندهای شبکه افزایش پیدا می‌کند. افزودن نانوخاک‌رُس اصلاح شده به ماتریس همانند افزودن شتاب‌دهنده عمل می‌کند و موجب افزایش سرعت واکنش پخت و مؤثرتر شدن سیستم پخت می‌شود. تغییر به‌دست آمده در تعداد پیوندهای عرضی برای نمونه‌های سازگار شده بیشتر قابل لمس است، که این موضوع می‌تواند ناشی از سازگاری بیشتر صفحه‌های نانو خاک رُس با گروه‌های عاملی موجود در ساختار سازگارکننده و تشکیل پیوندهای شیمیایی اضافی مابین سطح نانوزره‌های

جدول ۳- ویژگی‌های کششی نمونه‌ی NR خالص و نانوکامپوزیت‌های آن

NR/OC/M12	NR/OC/M8	NR/OC/M4	NR/OC	NR	مشخصات
۲۵,۱	۲۷,۹	۲۵,۴	۲۳,۶	۱۴,۵	استحکام کششی (N/mm ²)
۵۸۷	۵۹۳	۵۸۳	۵۸۰	۵۶۸	درصد ازدیاد طول در نقطه‌ی شکست (%)
۵	۵,۱	۴,۸	۴,۳	۲,۵	مدول ۳۰۰ درصد (N/mm ²)

عرضی نسبت به نمونه‌ی سازگار نشده است.



نمودار ۳- نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون سایش

تصویرهای میکروسکوپ الکترونی

به‌منظور مطالعه‌ی بیشتر ریزساختار نمونه‌های نانوکامپوزیتی تهیه شده بر پایه‌ی کائوچوی طبیعی و نانوخاک رس، سطح‌های شکست آمیزه‌های پخت گوگردی شده به‌وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار گرفت. شکل (۴) تصویرهای سطح شکست نمونه‌ی NR خالص و نانوکامپوزیت‌های آن را نشان می‌دهد. از آنجایی که انرژی چسبندگی اندکی در حین شکست نمونه‌ی سازگار نشده وجود داشته، شکل (۴) جمع صفحه‌های نانو رُس را نشان می‌دهد که زنجیرهای کائوچو نتوانسته‌اند بین نانو لایه‌های خاک رُس نفوذ کرده و آن‌ها را از هم جدا کنند، چنین رفتاری در کار مطالعاتی "پوتی یاراج" [۱۹] نیز مشاهده شده است. اما در دیگر تصویرها به‌دلیل حضور سازگارکننده‌ی این تجمع‌ها در اندازه‌های متفاوت شکسته شده، لایه‌ها از یکدیگر باز شده، در سطح ماتریس پراکنده شده و برهمکنش‌های سطحی قوی به وجود می‌آید و تشکیل ساختار بین لایه‌ی می‌دهد. به‌ویژه در مورد نمونه‌ی حاوی ۸ پارت سازگارکننده، که صفحه‌های نانو رُس تشکیل ساختار ورقه‌ی می‌دهد و همچنین توزیع یکنواختی از نانوصفحه‌ها دیده

و آن‌ها را به‌صورت جزئی لایه‌ی کرده‌اند و به‌دلیل افزایش سطح ناشی از پراکنش این صفحه‌ها، برهمکنش‌های فیزیکی شدیدی بین زنجیرهای پلیمر و صفحه‌های نانوخاک رُس اصلاح شده ایجاد می‌شود که این پدیده موجب افزایش قابل‌توجه در استحکام کششی نانوکامپوزیت‌ها می‌شود [۱۵ تا ۱۷]. همچنین با انجام سازگارسازی، مقدار برهمکنش‌های سطحی افزایش می‌یابد و مولکول‌های سازگارکننده با عوامل آمینی و قطبی روی سطح نانوزره‌ها واکنش می‌دهد و از این راه موجب پیوند دو فاز ماتریس و نانوخاک رُس می‌شود و بخش زیادی از صفحه‌های رُسی را به‌صورت ورقه‌ی درمی‌آورد که این موضوع افزایش بیشتری را در ویژگی‌های این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌ی سازگار نشده سبب می‌شود.

همان‌گونه که می‌توان از این جدول برداشت کرد بهترین مقدار سازگارکننده از نقطه نظر اثر بر ویژگی‌های کششی، ۸ پارت است و با افزایش مقدار سازگارکننده به ۱۲ پارت، مقدار استحکام کششی کاهش می‌یابد که می‌توان این کاهش را مربوط به تجمع زره‌های نانورس دانست که در تصویرهای میکروسکوپی نیز قابل‌مشاهده است.

سایش

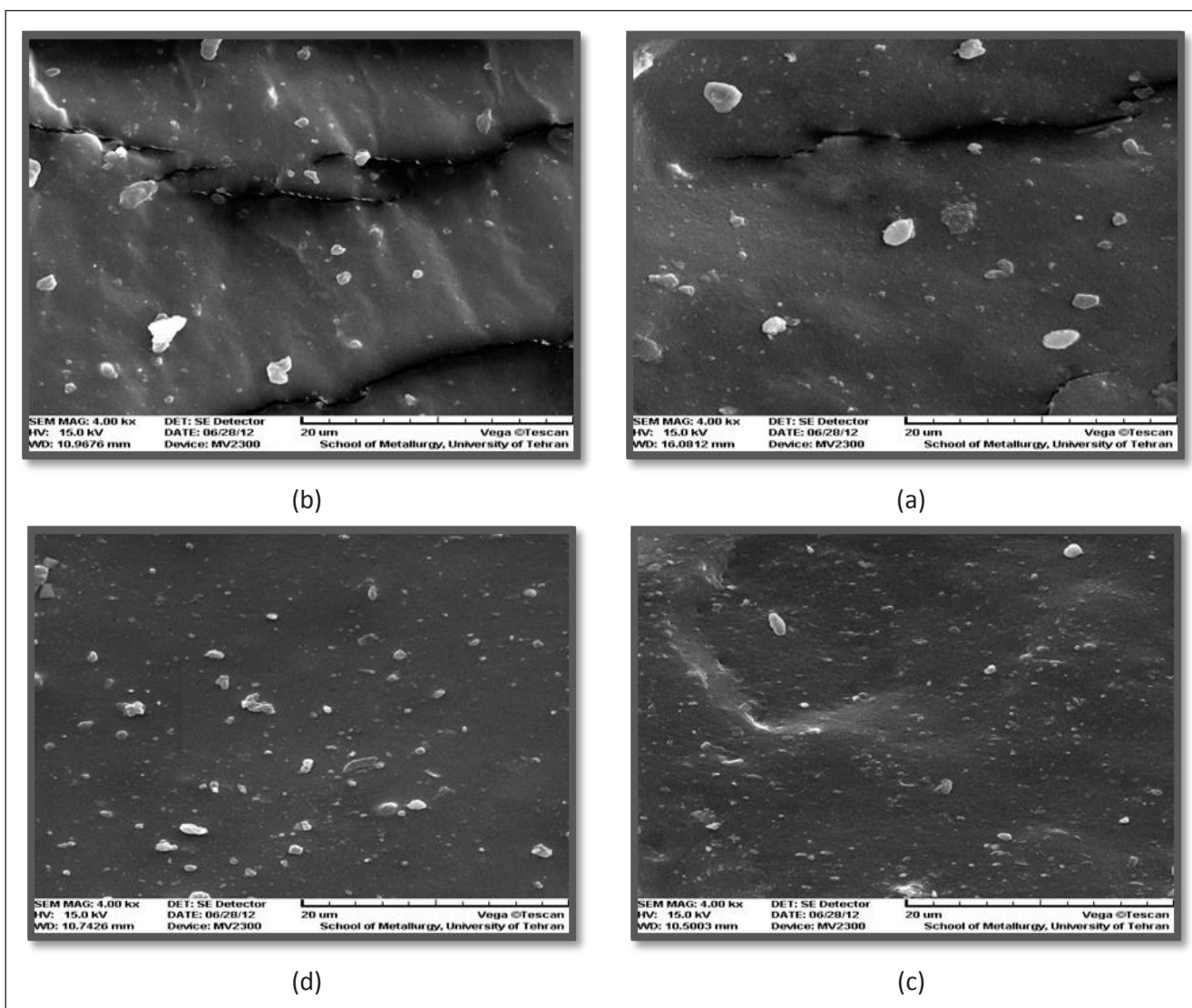
از آنجایی‌که کائوچوی طبیعی یکی از مهم‌ترین الاستومرهای مورداستفاده در صنعت تایر است و سایش یکی از پارامترهایی است که برای بقای عمر تایر تعریف می‌شود، در این مطالعه مقدار کاهش حجم ناشی از سایش نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. کاهش حجم ناشی از سایش نمونه‌ها در شکل (۳) دیده می‌شود. با افزودن ۵ پارت نانو رُس اصلاح شده به مخلوط NR، اتلاف سایشی کاهش می‌یابد و این کاهش در حضور سازگارکننده بیشتر است [۱۸]. کاهش اتلاف سایشی در نانوکامپوزیت‌های سازگار شده به علت برهمکنش قوی زنجیرهای پلیمری با لایه‌های نانورس، نفوذ به داخل فضایی آن‌ها و نیز افزایش چگالی پیوندهای

نخیره در دمای 160°C برای نمونه‌ها رسم شده است. می‌توان مشاهده کرد که با افزودن نانو خاک رُس به بستر لاستیکی گرانی مذاب افزایش پیدا می‌کند این در حالی‌ست که نانوکامپوزیت‌های سازگار شده در تمامی گستره‌ی بسامد در برابر جریان، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد، ضمن این‌که مدول نخیره‌ی نانوکامپوزیت‌ها نیز در بسامدهای پایین مستقل از بسامد است و رفتار غیرپایانی از خود نشان می‌دهد [۲].

می‌شود، بدین ترتیب تمرکز تنش از روی ماتریس برداشته شده و به نانوصفحه‌ها منتقل می‌شود و همین موضوع منجر به تقویت فصل مشترک بستر کائوچویی- نانو رُس و ارائه‌ی ویژگی‌های بهینه با استفاده از این سازگارکننده می‌شود.

رفتار رئولوژیکی مذاب

در شکل‌های ۵a و ۵b نمودارهای گرانی مذاب و مدول



شکل ۴- تصویرهای SEM از سطح شکست نمونه‌های (a) NR/OC/M4؛ (b) NR/OC/M8؛ (c) NR/OC/M8؛ (d) NR/OC/M12

حاوی سازگارکننده تهیه شد. استفاده از کائوچوی مالیئکه به عنوان سازگارکننده باعث تقویت برهمکنش بین الاستومر و نانو رُس و در نتیجه افزایش مقدار جدایش و پراکنش نانولایه‌ها در بستر کائوچویی شد که می‌توان آن را به افزایش تمایل ترمودینامیکی زنجیرهای الاستومری سازگار شده برای نفوذ به داخل فاصله‌های بین لایه‌ی نانو رُس اصلاح شده مرتبط دانست.

افزایش مقدار مقاومت در برابر ساییش، استحکام کششی و همچنین بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی از جمله بهبودهایی است که در حضور سازگارکننده اتفاق افتاده است. باید اشاره شود که رفتار واکنش پخت نانوکامپوزیت نیز تحت تأثیر قرار گرفته، به‌گونه‌ی که پخت نمونه‌ها با سرعت بیشتری انجام شده است.

همچنین در نمودار منول نخیره برحسب فرکانس، دیده می‌شود که در فرکانس‌های پایین، پاسخ جسم صلب نانوکامپوزیت با ۸ پارت سازگارکننده، قوی‌تر از نانوکامپوزیت‌های حاوی دیگر مقدارهای سازگارکننده است. این رفتار نشانگر برهمکنش بین سطحی بیشتر و جدایش بیشتر و پراکنش بهتر نانولایه‌های نانورس است. رفتار ویسکوالاستیک خطی نمونه‌های نانوکامپوزیتی سازگار شده بسیار شبیه به رفتار سامانه‌های نانوکامپوزیتی نارای ریخت‌شناسی بین لایه‌ی شده بالا، یا به‌طور جزئی ورقه‌ی شده، است که می‌توان این رفتار را به نوع ریزساختار شبکه‌ی به‌دست آمده بین نانولایه‌های نانو رُس یا صفحه‌ها آن مرتبط دانست [۷ و ۸].

نتیجه‌گیری

در این مطالعه نانوکامپوزیت‌های کائوچوی طبیعی/ نانو رُس

مراجع

1. Hakim, R.N, and Ismail, H., Cure characteristics, tensile properties and morphology of natural rubber/organoclay nanocomposites: effect of maleated natural rubber, Polym-Plast. Technol. 48: 910-918, 2009.
2. Tavakoli, M., Katbab, A. A., and Nazockdast, H., Effectiveness of maleic anhydride grafted EPDM rubber (EPDM-g-MAH) as compatibilizer in NR/organoclay nanocomposites prepared by melt compounding, J. Macromol. Sci. Phys., 50, 1270-1284, 2011.
3. Teh P. L., Mohd Ishak Z. A., Hashim A. S., Kocsis J. K., Ishiaku U. S., "Physical Properties of Natural Rubber/Organoclay Nanocomposites Compatibilized with Epoxidized Natural Rubber", J. Appl. Polym. Sci., 100, 1083-1092, 2006.
4. Doğan, M., Oral, D. D., Yılmaz, B., Savu, M., Karahan, S., Bayramlı, E., Physical properties and cure characteristics of natural rubber/nanoclay composites with two different compatibilizers, J. App. Sci., 121, 1530-1535, 2011.
5. Nematollahi, M., Jalali-Arani, A., Golzar, K., Studying the Effect of Compatibilizer on Structure and Mechanical Properties of the Nanocomposites Based on Natural Rubber/Nanoclay. Iranian Rubber Magazine, 73, 11-20, 2014.
6. Varghese S., Kocsis J. K., "Natural rubber-based nanocomposites by latex compounding with layered silicates", Polym., 44, 4921-4927, 2003.
7. Zheng H., Zhang Y., Peng Z., Zhang Y., "Influence of clay modification on the structure and mechanical properties of EPDM/montmorillonite nanocomposites", Polym. Testing., 23, 217-223, 2004.
8. Chattopadhyay P. K., Basuli U., Chattopadhyay S., "Studies on Novel Dual Filler Based Epoxidized Natural Rubber Nanocomposite", Polym. Composites., DOI 10.1002/pc.20866, 2010.

9. Alex R., Nah C., "Preparation and Characterization of Organoclay-Rubber Nanocomposites via a New Route with Skim Natural Rubber Latex", *J. Appl. Polym. Sci.*, 102, 3277-3285, 2006.
10. Cataldo F., "Preparation and Properties of Nanostructured Rubber Composites with Montmorillonite", *Macromol. Symp.*, 247, 67-77, 2007.
11. Das A., Jurk R., Stockelhuber K. W., Heinrich G., "Effect of Vulcanization Ingredients on the Intercalation-Exfoliation Process of Layered Silicate in an Acrylonitrile Butadiene Rubber Matrix", *Macromol. Mater. Eng.*, 293, 479-490, 2008.
12. Kim M. S., Kim G. H., Chowdhury S. R., "Polybutadiene Rubber/Organoclay Nanocomposites: Effect of Organoclay With Various Modifier Concentrations on the Vulcanization Behavior and Mechanical Properties", *Polym. Eng. Sci.*, DOI 10.1002/pen.20709, 2007.
13. Madhusoodanan K. N., Varghese S., "Technological and Processing Properties of Natural Rubber Layered Silicate-Nanocomposites by Melt Intercalation Process", *J. Appl. Polym. Sci.*, 102, 2537-2543, 2006.
14. Sahoo N. G., Das C. K., "Nanofiller as Vulcanizing Aid for Styrene-Butadiene Elastomer", *Macromol. Res.*, 10, 369-372, 2002.
15. Mousa A., Kocsis J. K., "Rheological and Thermodynamical Behavior of Styrene/ Butadiene Rubber-Organoclay Nanocomposites", *Macromol. Mater. Eng.*, 4, 286-292, 2001.
16. Lu Y. L., Li Z., Mao L. X., Li Y., Wu Y. P., Liang Y. R., Zhang L. Q., "Impact of Curing Temperature on Microstructures and Properties of Isobutylene-Isoprene Rubber/Clay Nanocomposites", *J. Appl. Polym. Sci.*, 110, 1034-1042, 2008.
17. Lu Y. L., Li Z., Yu Z. Z., Tian M., Zhang L. Q., Mai Y. W., "Microstructure and properties of highly filled rubber/clay nanocomposites prepared by melt blending", *Compos. Sci. Technol.*, 67, 2903-2913, 2007.
18. Tabsan N., Wirasate S., Suchiva K., "Abrasion behavior of layered silicate reinforced natural rubber", *Wear*, 269, 394-404, 2010.
19. Potiyaraj P., Ngamsurat S., Poklong W., "Mechanical Properties of Montmorillonite-filled Natural Rubbers Compatibilized by Epoxidized Natural Rubbers", *Adv. Mater. Res.*, 488, 93-97, 2012.

Experimental Study of Mechanical and Rheological Properties and Abrasion of Natural Rubber/Organo clay Nanocomposites, Prepared by Melt Mixing Method

M. Nematollahi¹, A. Jalali-Arani^{1,*} and K. Golzar²

1. Dep. of Polymer Eng. & Color Tech. Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
2. Dep. of Chemical Eng. Tech. Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: ajalali@aut.ac.ir

Received: September 2015, Accepted: October 2015

Abstract: In this work, preparation and characterization of nanocomposites based on Natural Rubber/Organoclay (NR/OC) in presence of compatibilizer (maleated rubber) are investigated. Compounds were prepared via an internal mixer and a two-roll mill. Results of rheometry test showed that the presence of compatibilizer lead to increment of torque difference ($M_H - M_L$) and reduction of curing time. Crosslink density measurement and evaluation of mechanical properties, abrasion, rheological behavior and morphological study suggested improvement of properties due to use of 8 part of compatibilizer. The presence of compatibilizer at the interface of polymer matrix and nanoclay layers enhanced the interfacial adhesion. This enhancement as well as the increase in crosslink density due to presence of compatibilizer resulted in the improvement of properties.

Keywords: Polymeric nanocomposites, Natural rubber, Tensile strength, Abrasion.