

بررسی همگرایی ویژگی‌های رنولوژیکی آمیزه‌های لاستیکی بر پایه NR/BR با نتیجه‌های به‌دست آمده از روش FTIR-ATR

فرشته مطیعی^{۱*} و مریم ناظری^۲

۱- استادیار شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

دریافت: شهریور ۱۳۹۱، بازنگری: مهر ۱۳۹۱، پذیرش: آبان ۱۳۹۱

چکیده: با توجه به این که تغییر در فرمولاسیون آمیزه‌های لاستیکی، به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و همچنین طیف FTIR به‌دست آمده از آن‌ها اثرگذار است، شناسایی آمیزه‌ها و ترکیب‌های الاستومری متفاوت و یافتن رابطه منطقی بین ویژگی‌های رنولوژیکی آمیزه‌های لاستیکی بر پایه NR/BR و رفتار طیفی آن‌ها در گستره زیر قرمز جهت پیش‌بینی و تحلیل ویژگی‌های رنولوژیکی آمیزه‌ها در صنعت تایر حائز اهمیت است. در این مطالعه از ۱۱ آمیزه‌های لاستیکی پخت نشده بر پایه NR/BR طیف FTIR گرفته شد و با مقایسه طیف نمونه‌های ساخته شده ۲ پیک شاخص انتخاب شده و در نهایت براساس شاخص‌های به‌دست آمده از طیف IR، مدل ریاضی برای پیش‌بینی ویژگی‌های رنولوژیکی آمیزه‌های لاستیکی بر پایه NR/BR ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: NR/BR، رفتار طیفی، FTIR-ATR، ویژگی‌های رنولوژیکی

مقدمه

شناسایی یک الاستومر مشخص یا مخلوطی از الاستومرهاست که می‌تواند برای تعیین غلظت یک نمونه یا تعیین ترکیب آمیزه‌های پلیمری به‌کار برود [۷ تا ۱۴]. همچنین در برخی از مطالعات با استفاده از نسبت جذب‌ها به تجزیه کمی لاستیک طبیعی و لاستیک سنتزی پرداخته شده است [۱۵].

گزارش‌های زیادی پیرامون تجزیه کمی و محاسبه نسبت آمیزه‌های بر پایه NR/SBR و NR/BR به کمک روش‌های TGA [۱۶ و ۱۷] و FTIR [۱۸ تا ۲۱] توسط پژوهشگران ارائه شده است. وارکی^۲ و همکارانش نیز در ۱۹۹۵ به بررسی ویژگی‌های فیزیکو-مکانیکی و ویژگی‌های رنولوژیکی آمیزه‌های پلیمری بر پایه‌ی کائوچوی طبیعی (NR) پرداختند [۲۲]. همچنین در سال ۲۰۰۳، شیلد و همکارانش از روش FTIR، برای تعیین ترکیب آمیزه‌های پلیمری دوتایی و سه‌تایی

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آمیزه‌های لاستیکی به تغییرهای کوچک در مقدار و نوع پلیمرهای خاص به‌کار رفته حساس است و ترکیب دو یا چند پلیمر، سبب تغییر در ویژگی‌های آمیزه می‌شود، بنابراین، نیاز به توسعه ابزارهای تجزیه‌ای متنوع برای بررسی رفتار کیفی ترکیب آمیزه‌هاست [۱]. روش‌های زیادی برای شناسایی یک الاستومر مشخص یا مخلوطی از الاستومرها در ترکیب‌های لاستیکی وجود دارد. برخی از این روش‌ها عبارتند از: تجزیه گرمایی^۱، کروماتوگرافی گازی، طیف‌سنجی جرمی و طیف‌سنجی زیر قرمز که اکثر آن‌ها روی آمیزه پخت نشده انجام می‌شوند [۲ تا ۶].

طیف‌سنجی زیر قرمز (FTIR) از گسترده‌ترین روش‌ها برای

1. Thermal Analysis

2. Varkey

در این راستا عده‌ای از پژوهشگران، با استفاده از طیف‌سنجی زیر قرمز به تجزیه تغییرات شیمیایی مولکول‌های الاستومری و فراورده‌های ناشی از تخریب آن‌ها نظیر گروه‌های آلدهیدی، کتونی، الکی و استری پرداختند. [۳۷ تا ۴۱]. تاکنون بررسی همگرایی ساختار-ویژگی‌های آمیزه‌های لاستیکی با روش FTIR-ATR انجام نشده است.

در این پژوهش به بررسی همگرایی ساختار-ویژگی‌های ۱۱ آمیزه لاستیکی پخت نشده بر پایه NR/BR با شاخص‌های به‌دست آمده از بررسی نمودارهای جذبی و عبوری FTIR-ATR آن‌ها پرداخته شده است. نتیجه‌ها حاکی از همگرایی قابل قبول بین ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌ها با دو شاخص به‌دست آمده و در نتیجه پیش بینی ویژگی‌های رئولوژی به کمک شاخص‌های مذکور است.

بخش تجربی

مواد

مواد شیمیایی به کار رفته در این پروژه عبارتست از: SMR-20، BR Cis-122، گوگرد ۹۹٫۷٪، آنتی‌ازنانت IPPD، دوده گرید N-۳۳۰، شتاب دهنده HB، استتاریک اسید، شتاب دهنده CBS، روی اکسید ۹۸٪ و پارافین وکس است (جدول ۱). از آنجایی که هر نوع تغییر در فرمولاسیون، طیف‌های FTIR را تحت تأثیر قرار خواهد داد، همه اجزای نمونه‌ها بجز درصد NR در آمیزه‌های لاستیکی بر پایه NR/BR ثابت نگه داشته شد. NR و BR در شرایط متغیر در گستره صفر تا ۱۰۰ phr با هم مخلوط شدند.

جدول ۱ فرمولاسیون آج لاستیک بر پایه آمیزه NR/BR

Components	phr	Company
NR	۱۰۰	Thaihua, Tailand
BR (Cis-1220)	۱۰۰	Arak Petrochemical, Iran
CBS	۱	Laxess
Sulphur	۱٫۳	Tesduck, Iran
Wax	۲	Rhein chemie, Germany
IPPD (Pilfex 13)	۱٫۵	Nacil, India
HB	۱	Laxess, Belgium
Stearic Acid	۳	Acid chem, Malaysia
ZnO	۴	Shekohieh, Iran
Carbon black N-330	۴۵	Pars, Iran

1. Gunasekaran

2. Rohana Yahya

3. Parts hundred in Rubber

PVC، SBR و NBR استفاده کردند [۲۳ تا ۲۵]. از دیگر کارهای پژوهشی در این زمینه، می‌توان به مطالعه‌ی هم‌زمان دو روش TGA و FTIR برای تعیین نسبت آمیزه در مخلوط NR/BR و NR/SBR اشاره کرد که گزارش‌های زیادی در این مورد در دسترس است [۲۶ و ۲۷].

در سال ۲۰۰۶ فرناندز و همکارانش به مطالعه‌ی ویژگی‌های ترکیب الاستومری NR/SBR و شناسایی کیفی آمیزه در فرمولاسیون تأیر به کمک روش TG-DTG پرداختند [۲۸] و در همان سال ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی مشتقات لاستیکی NR/EPDM و NR/NBR به وسیله‌ی محاسبه‌ی فرکانس‌های ارتعاشی میان گروه‌های متیل و متیلن به‌دست آمده از طیف‌سنجی زیرقرمز توسط گوناسکاران^۱ و همکارانش، مورد بررسی قرار گرفت [۲۹].

در پژوهشی که توسط تقوایی و همکارانش صورت گرفت، تأثیر زمانمندی روی آمیزه‌ی پخت نشده‌ی NR/BR با استفاده از روش TG-DTG بررسی شد و همگرایی بین ویژگی‌های رئولوژی و فیزیکی-مکانیکی و عامل‌های گرماسنجی با زمانمندی آمیزه‌های پخت نشده مطالعه شد [۳۰]. همچنین بررسی همگرایی ساختار-ویژگی‌های آمیزه‌های پخت نشده NR/BR با رفتار گرمایی آن‌ها، از دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه توسط این پژوهشگران بود [۳۱].

عده‌ای از پژوهشگران در سال ۲۰۰۸ با کمک تکنیک طیف‌سنجی FTIR و TGA فراورده‌های ناشی از فرایند تخریب پلیمری را به وسیله‌ی فرایند فوتو-فتون پلی کلروپرن / لاستیک طبیعی (PCP/NR) شناسایی کردند [۳۲ و ۳۳]. در پروژه‌ی پژوهشی روحانا یجیا^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ به بررسی تأثیر سامانه‌های متفاوت پخت بر روی رفتار تخریب حرارتی آمیزه‌های لاستیکی بر پایه‌ی NR پرداخته شد و با استفاده از روش FTIR به حضور الکل، آمیدها و گروه‌های کربونیلی پی برده شد [۳۴]. همچنین رین و همکارش در همان سال، از این روش جهت تعیین غلظت استایرن در کوپلیمر استایرن بوتادین رابر (SBR) استفاده کردند [۳۵]. در سال‌های اخیر پژوهشگران یک مدل جدید برای پیش بینی فاز انتخابی فیلر سیلیکا برای مخلوط سه تایی NR، SBR و NR با استفاده از همین روش ارائه کردند [۳۶].

دستگاه‌ها

جدول ۲ ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی برپایه NR/BR برحسب درصد NR

%NR	MH dN.m	ML dN.m	TS ₂ Sec	TC ₉₀ Sec	CRI Sec ⁻¹
۰	۱۲,۴۱۵	۴,۴۱۴	۳۰۲	۵۸۹	۱۶,۲۱
۱۰	۱۰,۴۸۴	۳,۰۳۵	۲۹۱	۵۹۹	۱۶,۹۴
۲۰	۱۲,۸۲۹	۲,۷۵۹	۲۴۲	۵۱۷	۱۸,۵۰
۳۰	۱۱,۸۶۴	۲,۳۴۵	۲۰۲	۴۹۶	۱۹,۴۵
۴۰	۹,۳۸	۲,۴۸۳	۲۵۷	۵۳۳	۱۹,۷۱
۵۰	۸,۹۶۷	۲,۳۴۵	۲۴۲	۴۹۳	۲۰,۰۷
۶۰	۱۰,۴۸۴	۲,۷۵۹	۲۱۴	۴۵۳	۲۱,۲۸
۷۰	۱۱,۱۷۴	۲,۸۹۷	۱۸۸	۳۹۷	۲۵,۲۰
۸۰	۱۰,۳۴۶	۲,۶۲۱	۱۸۱	۳۸۱	۲۵,۳۸
۹۰	۹,۳۸	۲,۲۰۷	۱۷۰	۳۶۸	۲۸,۰۹
۱۰۰	۹,۳۸	۲,۰۶۹	۱۶۱	۳۶۱	۲۷,۲۴

بررسی طیف‌سنجی FTIR-ATR آمیزه‌های لاستیکی

برای بررسی رفتار طیفی آمیزه‌های لاستیکی، از نمونه‌های پخت نشده پس از پیرولیز، طیف‌های جذبی و عبوری IR گرفته شد. به منظور انجام پیرولیز نمونه، مقداری از آن را در لوله آزمایش تا دمای ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد گرما داده تا بخارات پلیمر در ناحیه ابتدای لوله سرد شده و به صورت قطره ظاهر شود. سپس قطره‌ای از پیرولیت به‌دست آمده را روی قرص KBR ریخته و آن را روی سل ATR قرار داده تا طیف FTIR آن اخذ شود. با توجه به طیف زیر قرمز هر نمونه، پیک‌های مناسب و شاخص برای شناسایی هر ترکیب انتخاب شدند، به طوری که هیچ هم پوشانی با پیک‌های دیگر نداشته باشد.

طیف‌گیری از آمیزه‌ها، مطابق با استاندارد ASTM D 3677 انجام پذیرفت. با مقایسه طیف‌های FTIR به‌دست آمده از ۱۱ آمیزه لاستیکی ساخته شده بر پایه NR/BR، با طیف‌های مربوط به آمیزه‌های لاستیکی NR₁₀₀ و BR₁₀₀، پیک‌های ۸۸۷ cm⁻¹ برای NR و ۹۹۱ cm⁻¹ برای BR به عنوان پیک شاخص انتخاب شدند. با تغییر درصد NR، شدت پیک‌های شاخص نیز افزایش و یا کاهش می‌یابند.

- ۱- میل دو غلتکی نیم صنعتی مدل SYM-6 ساخت کشور تایوان
- ۲- دستگاه رئومتر (Moving Die Rheometer) مدل HIWA ساخت شرکت HIWA کشور ایران
- ۳- دستگاه پرس هیدرولیکی آزمایشگاهی مدل PTP 60
- ۴- دستگاه طیف‌سنجی زیر قرمز با سل ATR ساخت شرکت BRUKER آلمان

ساخت آمیزه‌های لاستیکی

به منظور مخلوط‌سازی اجزای آمیزه (جدول ۱)، از میل دوغلتکی نیم صنعتی مدل SYM-6 استفاده شد. از آنجایی که NR ویسکوزیته بالاتری نسبت به BR دارد، در ابتدا افزوده شد. با شکستن زنجیرهای پلیمری NR به تدریج گرانی کمی شده سپس BR به همراه سایر اجزای آمیزه که شامل دوده، اکسید روی، آنتی‌ازونان و آنتی‌اکسیدان هستند، در مرحله بعدی اضافه شده، شتاب دهنده و گوگرد نیز در آخر افزوده شدند. در حین عمل اختلاط، زمان، دما و تعداد برش‌ها به‌طور دقیق کنترل شدند و دما در حدود ۷۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. همچنین تمامی نمونه‌ها تحت شرایط یکسان آمیزه‌سازی تهیه شدند.

بررسی ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌ها

ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی از زمان شروع پخت تا پخت نهایی، توسط دستگاه رئومتر MDR مدل HIWA 900 مطابق استاندارد ASTM D 5289 بررسی شد و عامل‌های پخت که شامل MH، ML، TS₁، TS₂، TC₉₀ و CRI هستند، با بررسی نمودار خروجی از دستگاه رئومتر که نتیجه رسم تغییرات گشتاور برحسب زمان است، به‌دست آمد. جدول ۲ تأثیر افزایش درصد کائوچوی طبیعی NR٪ بر روی گشتاورهای Min و CRI، TC₉₀، Max، TS₂، را نشان می‌دهد.

نتیجه‌ها و بحث

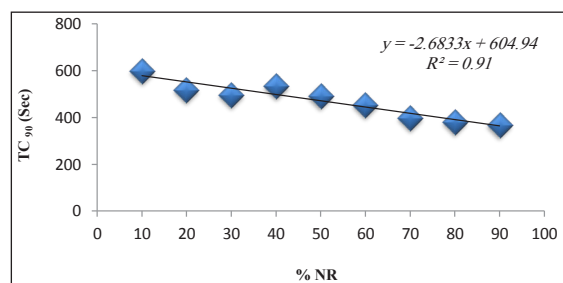
نخست همگرایی ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌ها با درصد NR مورد بررسی قرار گرفت. از رسم شاخص‌های رئولوژی آمیزه‌های ساخته شده برحسب درصد NR رابطه‌ی بین NR با CRI و TC_{90} و TS_2 به صورت خطی بوده و رابطه‌ی بین نقاط با ضرایب همبستگی مناسب ۰٫۹۲ و ۰٫۹۱ و ۰٫۹۰ نشان دهنده‌ی این است که ویژگی‌های رئولوژی TC_{90} ، CRI و TS_2 تابعی از درصد NR است (نمودارهای ۱ تا ۳). نتیجه‌ها نشان می‌دهد که همگرایی قابل قبولی بین MH و ML با NR٪ وجود ندارد.

با توجه به همبستگی بین درصد NR با ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی ذکر شده، به منظور بررسی رابطه بین رفتار طیفی آمیزه‌های پخت نشده با ویژگی‌های مذکور، پس از انتخاب جذب 887 cm^{-1} برای NR و 991 cm^{-1} برای BR به عنوان پیک شاخص، از رسم نمودارهای نسبت جذب و عبور ۵ مدل به‌دست آمد. ابتدا رابطه این مدل‌ها با درصد NR مورد مطالعه قرار گرفت. ضریب همگرایی در همه موارد بررسی شد (جدول ۳) که با توجه به معادله‌ی درجه یک و شیب خط به‌دست آمده، از بین چند شاخص ارایه شده بالاترین همگرایی بین دو مدل $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ ($R^2 = 0.94$) و $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$ ($R^2 = 0.95$) با درصد NR مشاهده شد. (نمودارهای ۴ و ۵) بنابراین، این ۲ مدل به عنوان بهترین مدل برای مطالعه‌ی همگرایی احتمالی با ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی در گستره‌ی زیرقرمز در نظر گرفته شدند تا به‌وسیله‌ی آن به کمک طیف IR بتوان ترکیب درصد و ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی را پیش‌بینی کرد. همچنین این دو مدل به عنوان شاخصی برای برقراری همگرایی ساختار-ویژگی‌ها برای آمیزه‌های لاستیکی ساخته شده بر پایه NR/BR مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ۴ تأثیر افزایش درصد NR با شاخص‌های به‌دست آمده از بررسی منحنی‌های FTIR جذبی و عبوری را نشان می‌دهد.

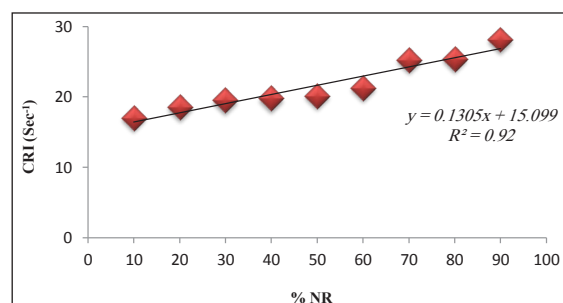
جدول ۳ مدل‌های به‌دست آمده از بررسی رفتار طیفی آمیزه‌ها و ضریب همگرایی به‌دست آمده از همگرایی بین ۵ مدل با درصد NR

ردیف	Model	R^2
۱	$\frac{A_{NRx}}{A_{BR(100-x)}}$	۰٫۹۱
۲	$\frac{(A_{NRx})/(A_{NR100})}{A_{BR(100-x)}/A_{BR100}}$	۰٫۸۷
۳	$\frac{T_{NRx}}{T_{NR100}}$	۰٫۸۶
۴	$\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$	۰٫۹۴
۵	$\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$	۰٫۹۵

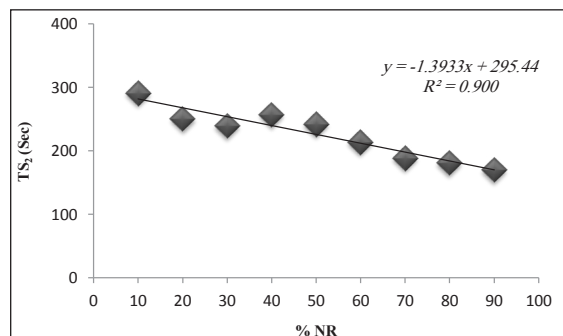
A: میزان جذب (برای NR در 887 cm^{-1} و برای BR در 991 cm^{-1})
T: میزان عبور (برای NR در 887 cm^{-1} و برای BR در 991 cm^{-1})



نمودار ۱ رابطه‌ی بین زمان بهینه‌ی پخت با NR٪



نمودار ۲ رابطه‌ی بین CRI با NR٪



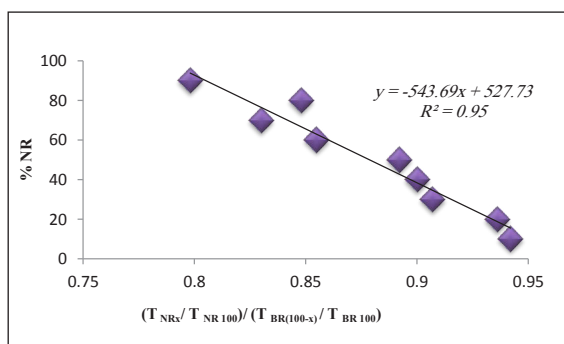
نمودار ۳ رابطه‌ی بین زمان ایمنی پخت با NR٪

جدول ۴ مقدار شاخص‌های به‌دست آمده از منحنی‌های جذبی و عبوری FTIR با توجه به %NR

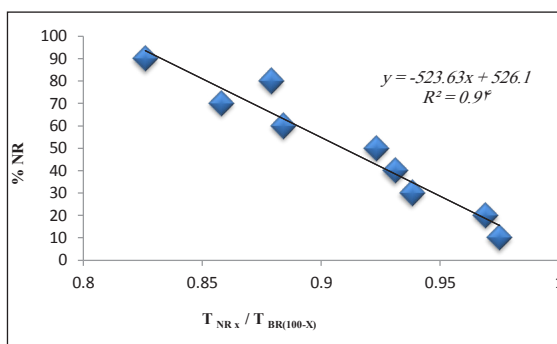
%NR	$\frac{A_{NRx}}{A_{BR(100-x)}}$	$\frac{(A_{NRx})/(A_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/A_{BR100}}$	$\frac{T_{NRx}}{T_{NR100}}$	$\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$	$\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$
۱۰	۱,۲۲۵	۱,۳۷۷	۱,۱۵۴	۰,۹۷۵	۰,۹۴۲
۲۰	۱,۳۰۵	۱,۴۶۳	۱,۱۵۰	۰,۹۶۹	۰,۹۳۶
۳۰	۱,۶۹۰	۱,۹۰۰	۱,۱۲۸	۰,۹۳۸	۰,۹۰۷
۴۰	۲,۴۴۶	۲,۷۴۳	۱,۱۲۶	۰,۹۴۱	۰,۹۱۵
۵۰	۲,۴۵۴	۲,۷۵۹	۱,۱۱۷	۰,۹۲۳	۰,۸۹۲
۶۰	۲,۶۷۳	۳,۰۰۰	۱,۰۴۹	۰,۸۸۴	۰,۸۵۵
۷۰	۳,۰۴۰	۲,۴۰۳	۱,۰۵۲	۰,۸۵۸	۰,۸۳۰
۸۰	۲,۷۲۲	۳,۰۶۰	۱,۰۷۶	۰,۸۷۱	۰,۸۴۱
۹۰	۳,۷۲۰	۴,۱۹۶	۱,۰۱۵	۰,۸۲۶	۰,۷۹۸

T: میزان عبور (برای NR در 887 cm^{-1} و برای BR در 991 cm^{-1})

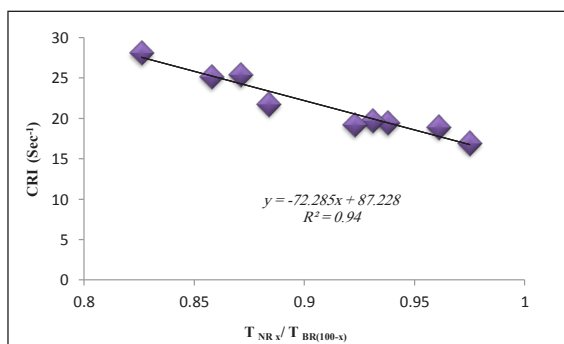
A: میزان جذب (برای NR در 887 cm^{-1} و برای BR در 991 cm^{-1})



نمودار ۵ رابطه‌ی بین شاخص $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$ با %NR



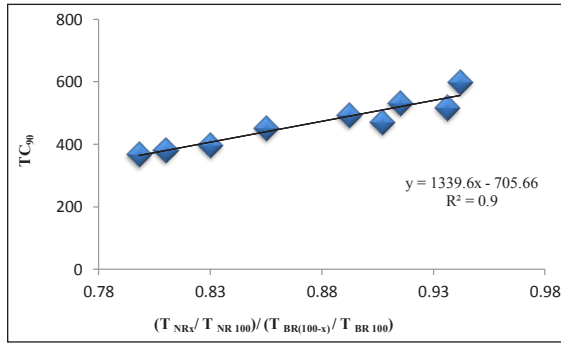
نمودار ۴ رابطه‌ی بین شاخص $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ با %NR



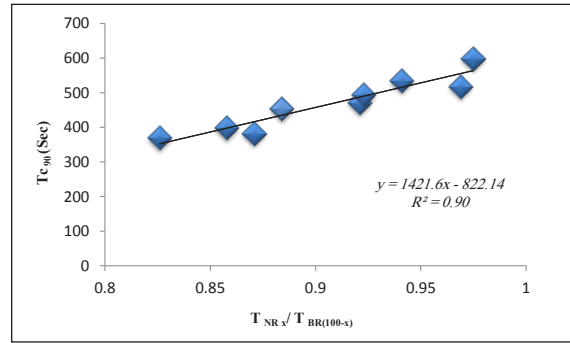
نمودار ۶ رابطه‌ی بین $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ با CRI

در نهایت همگرایی و رابطه‌ی ساختار-ویژگی‌های دو مدل با ویژگی‌های رئولوژی مورد بررسی قرار گرفت. رابطه‌ی بین $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ و ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌ها (TC_{90} , CRI و TS_2) خطی بوده و ضریب همگرایی آن‌ها به ترتیب ۰,۹۰، ۰,۹۴ و ۰,۹۰ است (نمودارهای ۶ تا ۸). در نتیجه می‌توان معادله‌ی ۱ را برای آن در نظر گرفت. براساس این معادله می‌توان ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی را براساس مدل $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ که از شاخص‌های به‌دست آمده از منحنی‌های FTIR به‌دست آمده پیش‌بینی کرد.

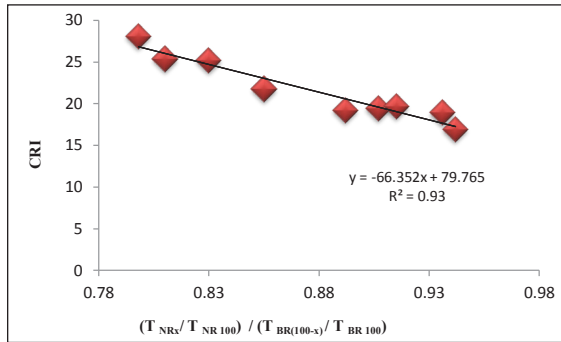
$$(CRI \& TC_{90} \& TS_2) = f\left(\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}\right) \quad (1)$$



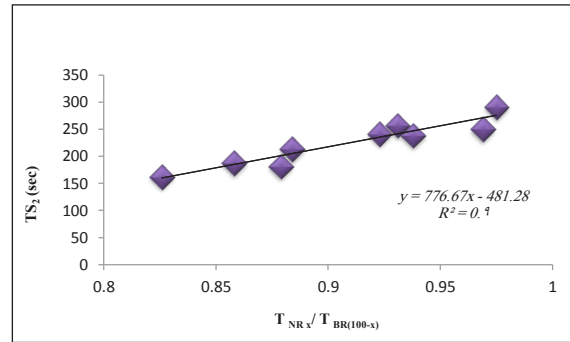
نمودار ۹ رابطه‌ی بین $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$ با TC_{90}



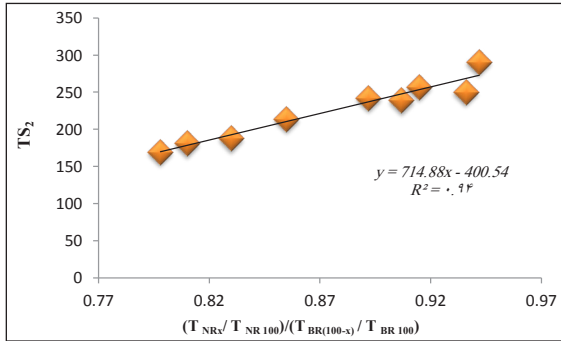
نمودار ۷ رابطه‌ی بین $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ با TC_{90}



نمودار ۱۰ رابطه‌ی بین $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$ با CRI



نمودار ۸ رابطه‌ی بین $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$ با TS_2



نمودار ۱۱ رابطه‌ی بین $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$ با TS_2

از طرف دیگر همگرایی قابل قبولی بین برخی ویژگی‌های رئولوژی نمونه‌ها (TC_{90} ، CRI و TS_2) و مدل انتخابی مشاهده شد. این رابطه به صورت یک معادله‌ی خطی با ضریب همبستگی ۰٫۹۰، ۰٫۹۳ و ۰٫۹۴ است (نمودارهای ۹ تا ۱۱). بر اساس این دو معادله می‌توان ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌های لاستیکی ساخته شده را براساس مدل $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$ که از شاخص‌های به‌دست آمده از منحنی‌های FTIR به‌دست آمده پیش‌بینی کرد (معادله ۲).

$$(CRI \& TC_{90} \& TS_2) = f\left(\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}\right) \quad (2)$$

برای محاسبه‌ی خطای نسبی اندازه‌گیری‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود [۴۲]:

$$\% \text{ Relative Error} = \frac{|\text{Experimental Result} - \text{Predicted results}|}{\text{Experimental Results}} \times 100$$

تحلیل این خطا به این نحو است که:

- چنانچه خطای نسبی زیر ۱۰٪ باشد، سامانه اندازه‌گیری قابل قبول است.
- خطاهای بین ۱۰٪ تا ۳۰٪ بسته به نوع فرایند، ممکن است پذیرفتنی باشد یا باشد.
- چنانچه خطای نسبی بالای ۳۰٪ باشد، سامانه غیر قابل قبول است.

جدول ۵ مقایسه مقادیر واقعی و مقدار پیش بینی شده ویژگی‌های رئولوژیکی TC_{90} ، CRI و TS_2 به کمک مدل $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$

$\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$	CRI, Sec ⁻¹ Experimental	CRI, Sec ⁻¹ Calculated	Error %	TC ₉₀ , Sec Experimental	TC ₉₀ , Sec Calculated	Error %	TS ₂ , Sec Experimental	TS ₂ , Sec Calculated	Error %
۰/۹۷۵	۱۶/۹۴	۱۶/۷۵	۱/۱	۵۹۹	۵۷۸/۱	۳/۵	۲۹۱	۲۷۶/۰	۵/۱
۰/۹۶۹	۱۸/۵۰	۱۷/۱۸	۷/۱	۵۱۷	۵۵۱/۲	۶/۶	۲۵۰	۲۷۱/۳	۸/۵
۰/۹۳۸	۱۹/۴۵	۱۹/۴۲	۰/۲	۴۹۶	۵۲۴/۴	۵/۷	۲۳۹	۲۴۷/۲	۳/۴
۰/۹۳۱	۱۹/۷۱	۱۹/۹۳	۱/۱	۵۳۳	۴۹۷/۶	۶/۶	۲۵۷	۲۴۱/۸	۵/۹
۰/۹۲۳	۲۰/۰۷	۲۰/۵۰	۲/۱	۴۹۳	۴۷۰/۸	۴/۵	۲۴۲	۲۳۵/۶	۲/۶
۰/۸۸۴	۲۱/۲۸	۲۳/۳۳	۹/۶	۴۵۳	۴۴۳/۹	۲/۰	۲۱۴	۲۰۵/۳	۴/۱
۰/۸۵۸	۲۵/۲۰	۲۵/۲۱	۰/۰۴	۳۹۷	۴۱۷/۱	۵/۱	۱۸۸	۱۸۵/۱	۱/۵
۰/۸۷۹	۲۵/۳۸	۲۳/۶۹	۶/۶	۳۸۱	۳۹۰/۲	۲/۴	۱۸۱	۲۰۱/۰	۹/۹
۰/۸۲۶	۲۸/۰۹	۲۵/۱۰	۱۰/۶	۳۶۸	۳۶۳/۴	۱/۲	۱۶۲	۱۶۰/۰	۱/۱

Curve fitting equation: $CRI = -۷۲/۲۸۵ x + ۱۷/۲۲۸$, $R^2 = ۰/۹۴$, $(x = \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$)

Curve fitting equation: $TC_{90} = ۱۴۲۱/۶ x - ۸۲۲/۱۴$, $R^2 = ۰/۹۰$, $(x = \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$)

Curve fitting equation: $TS_2 = ۷۷۶/۶۷ x - ۴۸۱/۲۸$, $R^2 = ۰/۹۰$, $(x = \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$)

جدول ۶ مقایسه‌ی مقادیر واقعی و مقدار پیش بینی شده CRI ، TC_{90} و TS_2 به کمک مدل $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$

$\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$	CRI, Sec ⁻¹ Experimental	CRI, Sec ⁻¹ Calculated	Error %	TC ₉₀ , Sec Experimental	TC ₉₀ , Sec Calculated	Error %	TS ₂ , Sec Experimental	TS ₂ , Sec Calculated	Error %
۰/۹۴۲	۱۶/۹۴	۱۷/۲۶	۱/۹	۵۹۹	۵۵۶/۲	۷/۱	۲۹۱	۲۷۲/۹	۶/۲
۰/۹۳۶	۱۸/۵۰	۱۷/۶۶	۴/۵	۵۱۷	۵۴۸/۳	۶/۰	۲۵۰	۲۶۸/۵	۷/۴
۰/۹۰۷	۱۹/۴۵	۱۹/۵۸	۰/۷	۴۹۶	۵۰۹/۲	۲/۷	۲۳۹	۲۴۷/۸	۳/۷
۰/۹۱۵	۱۹/۷۱	۱۹/۰۵	۳/۳	۵۳۳	۵۲۰/۱	۲/۴	۲۵۷	۲۵۳/۶	۱/۳
۰/۸۹۲	۲۰/۰۷	۲۰/۵۸	۲/۵	۴۹۳	۴۸۹/۳	۰/۸	۲۴۲	۲۳۷/۰	۲/۱
۰/۸۵۵	۲۱/۲۸	۲۳/۰۳	۸/۲	۴۵۳	۴۳۹/۷	۲/۹	۲۱۴	۲۱۰/۷	۱/۵
۰/۸۳۰	۲۵/۲۰	۲۴/۶۹	۲/۰	۳۹۷	۴۰۶/۲	۲/۳	۱۸۸	۱۹۲/۸	۲/۶
۰/۸۴۱	۲۵/۳۸	۲۳/۹۶	۵/۶	۳۸۱	۴۲۰/۹	۱۰/۰	۱۸۱	۲۰۰/۶	۱۰/۰
۰/۷۹۸	۲۸/۰۹	۲۶/۸۲	۴/۵	۳۶۸	۳۶۳/۳	۱/۳	۱۶۲	۱۶۹/۹	۴/۹

Curve fitting equation: $CRI = -۶۶/۳۵۲ x + ۷۹/۷۶۵$, $R^2 = ۰/۹۳$, $(x = \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$)

Curve fitting equation: $TC_{90} = ۱۳۳۹/۶ x - ۷۰۵/۶۶$, $R^2 = ۰/۹۰$, $(x = \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$)

Curve fitting equation: $TS_2 = ۷۱۴/۸۸ x - ۴۰۰/۵۴$, $R^2 = ۰/۹۴$, $(x = \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$)

الاستومری بر پایه NR/BR استفاده کرد.

برای اطمینان بیشتر از دقت داده‌های به‌دست آمده و به منظور انجام مورد کاوی، دو نمونه‌ی (NR_{45} / BR_{55}) و (NR_{55} / BR_{45}) تحت شرایط یکسان آمیزه‌سازی ساخته شد و آزمون‌های مشابهی

با توجه به نتیجه‌های ارائه شده در جدول‌های ۵ و ۶ و در نظر گرفتن میزان خطای نسبی گزارش شده برای هر یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، می‌توان از دو مدل انتخابی، برای پیش بینی ویژگی‌های رئولوژی (TS_2 و CRI ، TC_{90}) آمیزه‌های

محاسبه شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند (جدول‌های ۹ و ۱۰). نتیجه‌های ارایه شده در جدول ۱۱ حاکی از آن است که دقت هر دو روش به تقریب یکسان بوده و تفاوت قابل توجهی بین داده‌های به دست آمده توسط هر دو مدل وجود ندارد و روش انتخابی قابل قبول است. براساس نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش و با توجه به نتیجه‌های به دست آمده از مورد کاوی (جدول‌های ۷ و ۸) و در نظر گرفتن درصد خطاهای نسبی گزارش شده (خطاهای نسبی زیر ۱۰٪ هستند)، می‌توان نتیجه گرفت که نتیجه‌های به دست آمده از مدل‌های بر پایه ساختار - ویژگی‌های نتیجه شده از بررسی طیف‌های زیر قرمز ۱۱ آمیزه‌ی لاستیکی پخت نشده بر پایه NR/BR و مدل تجربی که در جدول نشان داده شده است، همگرایی مناسبی را داراست و هیچ تفاوت آشکاری بین اطلاعات تجربی با اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها وجود ندارد و با مطالعه طیف‌های IR به دست آمده از آمیزه‌های لاستیکی، می‌توان ویژگی‌های رئولوژی ترکیب‌های لاستیکی را به کمک مدل‌های ساختار - ویژگی، پیش بینی کرد

از آن‌ها به عمل آمد. طیف FTIR این آمیزه‌های پخت نشده گرفته شد و از تحلیل طیف‌های جذبی و عبوری به بررسی شاخص‌ها و مدل‌های بحث شده در بالا پرداخته شد. همگرایی بین رفتار طیفی آمیزه‌ها با ویژگی‌های رئولوژی آن مورد ارزیابی قرار گرفت و مقادیرهای TC_{90} ، CRI و TS_2 اندازه‌گیری شده با مقادیرهای محاسبه شده از رابطه‌ی به دست آمده به کمک دو مدل مقایسه شد (جدول‌های ۷ و ۸). همچنین تمامی محاسبه‌های آماری جهت بررسی دقت و صحت نتیجه‌های به دست آمده از مدل‌ها انجام شد (جدول‌های ۹ و ۱۰).

برای مقایسه‌ی دقت نتیجه‌های به دست آمده از دو مدل ریاضی انتخاب شده از شاخص انحراف معیار نسبی استفاده شده است که عبارتست از نسبت انحراف معیار (S) به میانگین (\bar{X}) که به طور معمول در ۱۰۰ ضرب می‌شود:

$$\% RSD = S/\bar{X}$$

به این منظور مقدار %RSD برای ویژگی‌های رئولوژی TC_{90} ، CRI و TS_2 به وسیله‌ی هر دو مدل با نرم افزار SPSS

جدول ۷ نتیجه‌های مورد کاوی آمیزه‌ی لاستیکی NR_{55} و NR_{45} به کمک مدل $\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$

% NR	CRI, Sec ⁻¹ Measured	CRI, Sec ⁻¹ Calculated	Error %	TC ₉₀ , Sec Measured	TC ₉₀ , Sec Calculated	Error %	TS ₂ , Sec Experimental	TS ₂ , Sec Calculated	Error %
۴۵	۱۹/۱	۲۲/۰۱	۱۵/۰	۵۰۷	۴۸۱/۵	۵/۰۳	۲۶۴	۲۴۷	۶/۴
۵۵	۲۴/۰۶	۲۲/۰۹۹	۴/۴	۴۳۱	۴۵۸/۷	۶/۴۳	۱۸۴	۱۹۷	۷/۶

Curve fitting equation: CRI = $-۷۲/۲۸۵ x + ۸۷/۲۲۸$, $R^2 = ۰/۹۴$, $(x = \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$)

Curve fitting equation: TC₉₀ = $۱۴۲۱/۶ x - ۸۲۲/۱۴$, $R^2 = ۰/۹۰$, $(x = \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$)

Curve fitting equation: TS₂ = $۷۷۶/۶۷ x - ۴۸۱/۲۸$, $R^2 = ۰/۹۰$, $(x = \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$)

جدول ۸ نتیجه‌های مورد کاوی آمیزه‌ی لاستیکی NR_{55} و NR_{45} به کمک مدل $\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$

% NR	CRI, Sec ⁻¹ Measured	CRI, Sec ⁻¹ Calculated	Error %	TC ₉₀ , Sec Measured	TC ₉₀ , Sec Calculated	Error %	TS ₂ , Sec Experimental	TS ₂ , Sec Calculated	Error %
۴۵	۱۹/۱۰	۲۱/۴۰	۶/۶	۵۰۷	۴۷۳/۲۰	۶/۷	۲۶۴	۲۵۱	۴/۹
۵۵	۲۴/۰۶	۲۱/۹۸	۸/۶	۴۳۱	۴۶۱/۱۳	۷/۰	۱۸۴	۱۶۹	۸/۲

Curve fitting equation: CRI = $-۶۶/۳۵۲ x + ۷۹/۷۶۵$, $R^2 = ۰/۹۳$, $(x = \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$)

Curve fitting equation: TC₉₀ = $۱۳۳۹/۶ x - ۷۰/۵۶۶$, $R^2 = ۰/۹۰$, $(x = \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$)

Curve fitting equation: TS₂ = $۷۱۴/۸۸ x - ۴۰۰/۵۴$, $R^2 = ۰/۹۴$, $(x = \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR(100)}}$)

نتیجه گیری

در این مطالعه از تجزیه کمی آمیزه‌های لاستیکی بر پایه NR/BR با استفاده از روش FTIR-ATR نتیجه می‌شود هنگامی که همه‌ی اجزای آمیزه ثابت نگه داشته شوند و فقط درصد NR در آمیزه لاستیکی تغییر کند، همگرایی قابل قبولی بین ویژگی‌های رئولوژی نمونه‌ها (CRI, TC₉₀ و TS₂) و شاخص‌های نتیجه شده از طیف‌های FTIR و مدل‌های کاربردی ارائه شده مشاهده شد. در صورتی که چنین همگرایی با ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی به‌دست نیامد. افزون بر آن پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژی آمیزه‌ها به کمک طیف‌های FTIR امکان پذیر است.

همچنین طیف سنجی زیر قرمز به عنوان یک روش سریع در تجزیه کمی مورد توجه قرار می‌گیرد که استفاده از این روش به‌عنوان ابزاری جهت تجزیه کمی، موجب کاهش هزینه و اتلاف وقت و موجب افزایش دقت نتیجه‌های به‌دست آمده نسبت به روش‌های تجزیه‌ای دیگر می‌شود. دقت این روش بستگی زیادی به واکنشگرها، شرایط نمونه سازی، شرایط پیرولیز و روش آزمون رئولوژی دارد که بایستی برای همه نمونه‌ها یکسان باشد.

مراجع

- [1] Park, S.; Choe, Macromol. Res., 13, 297, 2005.
- [2] Shivakumar, E.; Das, C.K.; Pandey, K.N.; Alam, S.; Mathur, G.N.; Macromol. Res., 1, 81, 2005.
- [3] Gedeon, B.J.; Nguyen, R.H.; J. of Rubber World, 1986.
- [4] Sircar, A.K.; Lamond, T.G.; Rubber Chem. Technol., 48, 301, 2000.
- [5] Pausch, J.B.; Lattimer, R.P.; Paper presented at Rubber Division Meeting, American chemical Society, Toronto, Canada, 10-12, 1983.
- [6] Brauer. G.M.; J. Polym. Sci., 8, 3, 1965.
- [7] Shivakumar, E.; Das, C.K.; Pandey, K.N.; Alam, S.; Mathur, G.N.; Macromol. Res., 1, 81, 2005.
- [8] Coleman, M.M.; Painter, P.C.; Infrared-Absorption Spectroscopy, 2nd ed., vol.8, Wiley,

جدول ۹ نتیجه‌های آماری به‌دست آمده برای CRI و TS₂ اندازه گیری شده به

$$\text{کمک مدل } \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$$

properties	Mean	Std. Deviation	N	% RSD
CRI Measured	۲۱/۶۲۴۴	۳/۷۳۰۳۹	۹	-
CRI Calculated	۲۱/۲۳۴۴	۳/۲۲۵۸۸	۹	۱۵/۱۹۲
TC ₉₀ Measured	۴۷۰/۷۸۰۰	۷۷/۴۲۸۶۴	۹	-
TC ₉₀ Calculated	۴۷۰/۷۵۰۰	۷۳/۴۸۴۲۹	۹	۱۵/۶۱۰۰
TS ₂ Measured	۲۲۰/۷۸۰۰	۳۹/۹۶۴۹۲	۹	-
TS ₂ Calculated	۲۲۴/۸۱۰۰	۳۹/۳۹۰۵۳	۹	۱۷/۵۲۱

Curve fitting equation: CRI = $-۷۲/۲۸۵ \left(\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}} \right) + ۸۷/۲۲۸$, $R^2 = ۰/۹۴$

Curve fitting equation: TC₉₀ = $۱۴۲۱/۶ \left(\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}} \right) - ۸۲۲/۱۴$, $R^2 = ۰/۹۰$

Curve fitting equation: TS₂ = $۷۷۶/۶۷ \left(\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}} \right) - ۴۸۱/۲۸$, $R^2 = ۰/۹۰$

جدول ۱۰ نتیجه‌های آماری به‌دست آمده برای CRI و TS₂ اندازه گیری شده به

$$\text{کمک مدل } \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}}$$

properties	Mean	Std. Deviation	N	% RSD
CRI Measured	۲۱/۶۲۴۴	۳/۷۳۰۳۹	۹	-
CRI Calculated	۲۱/۴۰۳۳	۳/۳۵۴۹۵	۹	۱۵/۶۷۵
TC ₉₀ Measured	۴۷۰/۷۸۰۰	۷۷/۴۲۸۶۴	۹	-
TC ₉₀ Calculated	۴۷۲/۵۸۰۰	۶۷/۷۲۸۵۸	۹	۱۴/۳۳۲
TS ₂ Measured	۲۲۰/۷۸۰۰	۳۹/۹۶۴۹۲	۹	-
TS ₂ Calculated	۲۲۸/۲۰۰۰	۳۶/۱۴۰۳۵	۹	۱۵/۸۳۷

Curve fitting equation: CRI = $-۶۶/۳۵۲ \left(\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}} \right) + ۷۹/۷۶۵$, $R^2 = ۰/۹۳$

Curve fitting equation: TC₉₀ = $۱۳۳۹/۶ \left(\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}} \right) - ۷۰۵/۶۶$, $R^2 = ۰/۹۰$

Curve fitting equation: TS₂ = $۷۱۴/۸۸ \left(\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}} \right) - ۴۰۰/۵۴$, $R^2 = ۰/۹۴$

جدول ۱۱ مقایسه‌ی % RSDهای به‌دست آمده برای ویژگی‌های رئولوژیکی به

$$\text{کمک دو مدل } \frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}} \text{ و } \frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}}$$

Properties	% RSD Calculated Using $\left(\frac{T_{NRx}}{T_{BR(100-x)}} \right)$	% RSD Calculated Using $\left(\frac{(T_{NRx})/(T_{NR100})}{T_{BR(100-x)}/T_{BR100}} \right)$
CRI	۱۵/۱۹۲	۱۵/۶۱۰
TC ₉₀	۱۵/۶۷۵	۱۴/۳۳۲
TS ₂	۱۷/۵۲۱	۱۵/۸۳۷

- New York, 69-101, 1986.
- [9] Painter, P.C.; Coleman, M.M.; Koenig, J.L.; The Theory of Vibrational Spectroscopy and its Application to polymeric Materials, John Wiley & Son Inc., New York, 1982.
- [10] Zhou, Qing, Li, Cao, et al.; J. of Applied Polymer Science, 125, 3695-3701, 2012.
- [11] Coz, D.; Baranwal, K.; J. Rubber World, 228, 30, 1999.
- [12] Sultan, Misbah; Zia Khalid Mahmood, et al.; Carbohydrate polymers, 87, issue 1, 397-404, 2012.
- [13] Arockiasamy, A.; Toghiani, H.; et al.; J. Thermal analysis and calorimetry, 111; issue 1, 535-542, 2013.
- [14] Chakraborty, S.; Bandyopadhyay, S.; Ameta, R.; Mukhopadhyay, R.; Deuri, A.S.; J. Polym. Test., 26, 38-41, 2007.
- [15] Zaharescu, T.; J. Polym. Test., 20, 3, 1999.
- [16] Evans, L.R.; Hope, J.C.; Waddell, W.H.; Rubber World, 212, 21, 1995.
- [17] Brazier, D.W.; J. Rubber chemistry and Technology 53, 437, 1980.
- [18] Coz D.; Baranwal, K., Rubber World, 228, 30, 1999.
- [19] Selple, R.; McQuaide, T.; Bicakci, S.; EAR-PC News Letter, 1, 1997.
- [20] Kaushik V.K.; Sharma Y.N.; Polymer book 13, 373, 1985.
- [21] Tyron, M.; et al.; Rubber World, 134, 421, 1956.
- [22] Varkey, J.T.; Thomas, S.; Rao, S.S.; J. Applied Polymer Sci., 56, 451, 1995.
- [23] Ghebreskel, G.N.; Shield, S.R.; Rubber World, 227, 26, 2003.
- [24] Shield, S.R.; Ghebreskel, G.N.; J. Appl. Polym. Sci., 88, 1653, 2003.
- [25] Ghebrehwet, N.G.; Shield, R.S.; J. Rubber World, 46, 26-30, 2003.
- [26] Li, G.Y.; Koenig, J.L.; J. Polym. Degrad. Stab. 81, 377, 2003.
- [27] Bhatt, J.; Roy, B.k.; Chandra, A.K.; Mustafi, S.K.; Mohamed, P.K.; J. Rubber India, 7-10, 2003.
- [28] Fernandez-Berridi, M.J.; Gonzalez, N.; Mugica, A.; Bernicot, C.; J. Termochim. Acta., 444, 65, 2006.
- [29] Gunasekaran, S.; Natarajan, R.K.; Kala, A.; Spectrochimica Acta part A., 68, 323-330, 2006.
- [30] Taghvaei, S.; Motiee, F.; Fotoohi, F.; J. Rubber Chemistry and Technology, 81(2) 297-317, 2008.
- [31] Taghvaei, S.; Motiee, F.; International Journal of. Industrial Chemistry, 2(4) 201-208, 2011.
- [32] Adonilson, R.; Freitas, A., Rubira, F.; Edvani, C.; Muniz, J. Polymer Degradation and Stability., 93, 601-607, 2008.
- [33] Narathichat, M.; Sahakaro, K.; Nakason, C.; Wiley InterScience, 2009.
- [34] Rohana, Yahya.; Azura, R.; Ahmad, Z.; J. Physical Science, 22(2), 1-14, 2011.
- [35] Higgins, F.; Rein, A.; Agilent Technologies Danbury, CT, USA, 2011.
- [36] Le, Hai Hong K., et al.; J. Macromolecular Materials and Engineering, 296, 2011.
- [37] Arup K. Chandra., et al.; Tire Technology International, 2004.
- [38] Dinsmore, H.L.; Smith, D.C.; Rubber Chem. Technol.; 22, 572, 1949.
- [39] Li, S.D.; Yu, H.P.; Peng, Z.; Zhu, C.S.; Li, P.S.; J. Appl. Polym. Sci.; 75, 1339, 2000.
- [40] Jiang, D.D.; Levchik, G.F.; Levchik, S.V.; Dick, C.; Liggat, J.J.; Snape, C.E.; Wilkie, C.A.; J. Polym. Degrad. Stab.; 68, 75, 2000.
- [41] Wang, S.M.; Chang, J.R.; Tsiang, C.C.R.; J. Polym. Degrad. Stab., 52, 51, 1996.
- [42] Chandra, A.; Roy, B.; Mohamed, P.; paper at Tire Technology International Conf, R&D Center, Apollo Tyres Ltd, India, 10-14, 2004.

A study of correlation between rheological properties of rubber compounds based on NR/BR with data obtained by their spectral behavior of them in IR region

F. Motiee^{1,*} and M. Nazeri²

1. Assistant Prof. of Applied Chemistry, Department of Chemistry, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. MSc in Applied Chemistry, Department of Chemistry, Islamic Azad University of Tehran North Branch, Tehran, Iran

Received: September 2012, Revised: October 2012, Accepted: November 2012

Abstract: As the changes of formulation of rubber compounds will affected their properties and FTIR spectra, finding the correlation between rheological properties and spectral behavior of blends would be so important. In this work, according to the data obtained by FTIR spectra of rubber compounds, at last 2 models were demonstrated for predicting the properties of blends, which were correlated with rheological properties.

Keywords: NR/BR, Spectral behavior, FTIR-ATR, Rheological properties