

آمیزه‌سازی آلیاژهای فنولی - نیتریل: ۱- اثر رزین فنولی

The Compounding of Phenolic Nitrile Blends: I- Effect of Phenolic Resin

محمدحسین بهشتی*، سیدکمال افصلی و قاسم نادری

بزرگسازان پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دو پست: ۸۰/۳۱۶۰، پذیرش: ۸۰/۷۱۶۴

چکیده

لاستیک آکریلونیتریل بوتادی-ان به دلیل داشتن خواص مکانیکی خوب و همچنین مقاومت زیاد در برابر روغنهای غیرقطبی یکی از الاستومرهای پر مصرف در صنعت لاستیک است. این ویژگیها همراه با انعطاف پذیری خوب توجه روز افزونی را به این الاستومر جلب کرده است. آلیاژ این الاستومرها با رزینهای فنولی که یکی از رزینهای ارزان و پایدار گرمایی است، کاربردهای زیاد آن را در چسبها، عایقها و همچنین سیرهای گرمایی و مواد فدا شونده موجب شده است.

در این مقاله، نقش رزین فنولی نوع نووالاک و میزان آن بر خواص گرمایی لاستیکهای نیتریل بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که افزودن رزین فنولی به لاستیک نیتریل سبب جامدایی دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) به دماهای بالاتر، افزایش مدول ذخیره و کاهش افت آن در محدوده رسی از دما می‌شود. نتایج آزمونهای گرمایی نشانگر افزایش پایداری گرمایی قابل توجه این آمیزه‌ها در اثر افزودن رزین فنولی است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌های فنولی - نیتریل با افزایش درصد رزین فنولی افزایش می‌یابد، ولی ضریب انبساط گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژهای آنها تقریباً مستقل از میزان رزین فنولی است.

واژه‌های کلیدی: لاستیک نیتریل، رزین فنولی، پایداری گرمایی، ضریب انبساط گرمایی

Key Words: NBR, phenolic resin, heat stability, expansion coefficient

مقدمه

داشتن گروه CN ساختاری شدت قطبی دارد. آلیاژ این الاستومر با رزینهای فنولی که یکی از رزینهای ارزان و پایدار گرمایی است [۳] کاربردهای قابل توجه آن را در چسبها، عایقها و همچنین سیرهای گرمایی و مواد فدا شونده موجب شده است.

آلیاژ کردن پلیمرها روشی است که برای تولید مواد جدید با خواص ترکیبی از پلیمرهای اولیه بکار می‌رود. آلیاژهای لاستیک نیتریل و رزین فنولی در اوایل دهه ۵۰ در صنعت هوافضا برای اتصال ساختاری فلزها بکار گرفته شده و توسعه یافته است. نیتریل -

الاستومرهای آکریلونیتریل بوتادی-ان که به اختصار به آنها لاستیک نیتریل یا NBR اطلاق می‌شود، به دلیل داشتن خواص استحکامی خوب و همچنین مقاومت زیاد در برابر روغنها و سایش و نفوذ پذیری در برابر گازها یکی از الاستومرهای پر مصرف در صنعت لاستیک است. مقاومت خوب در برابر روغنهای غیر قطبی و انعطاف پذیری قابل توجه سبب افزایش کاربرد این الاستومر شده است [۱، ۲]. این کوپلیمر به دلیل

*ستون مکانات، پیام‌نگار: M.Beheshti@proxy.ipi.ac.ir

جدول ۱- مشخصات رزین فئولی نووالاک مصرفی.

مقدار	ویژگی
۹۷/۵<	میزان رزین (%)
۰	میزان خاکستر (%)
۹۰-۱۱۰	دامنه ذوب (°C)
۱۱۵-۱۲۵	زمان B* (ثانیه)
۳۵-۴۵	حریان بایی* (mm)
۸/۵-۹	میزان هگزا (%)
۱>	فول آزاد (%)
۹۰	دانه بندی (µm)

* وزن نمونه ۵ گرم بوده است.

ایتالیایی Enichem CO تهیه شده است. مواد افزودنی مصرفی دیگر از نوع تجاری مورد استفاده در صنعت لاستیک است. برای بررسی نقش رزین فئولی بر خواص آمیزه‌های NBR آمیزه پایه‌ای به شرح جدول ۲ تهیه شد و سپس رزین فئولی در مقادیر مختلف به آن اضافه گردید.

دستگاهها و روشها

رفتار پخت و تغییرات گرمای ویژه نمونه‌ها به کمک گرماسنجی پویسی تفاضلی (DSC) و تجزیه گرماوزنی (TGA) با دستگاه STA مدل ۶۲۵ طبق استاندارد ASTM D۳۸۹۵ و تجزیه گرمایی میکابکی دینامیکی (DMTA) با دستگاه DMTA-PL طبق استاندارد ASTM D۵۰۲۶ بررسی شد. ضریب رسانایی گرمایی طبق استاندارد ASTM D۶۹۶ اندازه‌گیری شد. همچنین از دستگاه میکروسکوپ الکترون پویسی ۳۲۶۰ - Cambridge جهت بررسی شکل‌شناسی آمیزه‌ها استفاده شد. عمل نرم کردن لاستیک و مخلوط کردن اجزای آمیزه، روی غلظت انجام شد. برای این منظور از مخلوط کن دو غلظتی ساخت آلمان با نام Polymix مدل ۲۰۰L استفاده شد.

ابتدا، لاستیک NBR روی غلظتک به مدت ۲ دقیقه نرم شده، سپس رزین فئولی و روغن به آن اضافه شده و در مرحله بعد افزودنیهای دیگر (ضد اکسند روی اکسید و استاریک اسید) به آن افزوده و این آمیزه به مدت ۵ دقیقه مخلوط شده تا آمیزه‌ای یکواخت حاصل شود. سپس، سیستم پخت (گوگرد و شتاب دهنده) به آمیزه اضافه گردید و آمیزه به مدت ۳ دقیقه دیگر روی غلظتک مخلوط شده تا آمیزه‌ای به صورت یکواخت حاصل شود.

پس از آمیزه‌سازی، برای تهیه نمونه‌های مورد نیاز جهت آزمایشهای مختلف، با توجه به نتایج رلومتری آمیزه‌ها به صورت قالبگیری فشاری در دمای ۱۶۰°C به مدت ۲۰ دقیقه در فشار ۱۵ atm در یک قالب صفحه‌ای به ضخامت ۲mm پخت شدند.

جدول ۲- میزان اجزای بکار رفته در آمیزه NBR

میزان (phr)	نوع مواد
۱۰۰	لاستیک NBR ۴۰
۵	روی اکسید فعال
۱	استاریک اسید
۲	ضد اکسند
۱۰	روغن
۳	شتاب دهنده
۱/۵	گوگرد
۱۲۲/۵	جمع کل

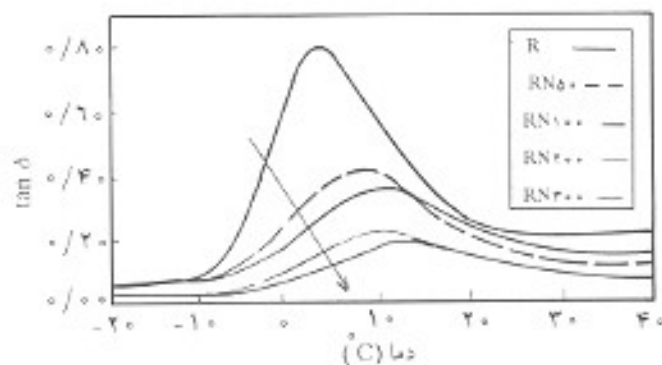
تجزیه

مواد

فئولها به عنوان چسب کاربرد زیادی یافته‌اند [۴] غایبهای موتور راکت از پخت آلیاز رزین فئولی و لاستیک نیتریل در مجاورت سایر افزودنیها ساخته می‌شود [۵]. آلیاز فئولی - نیتریل به عنوان غایب گرمایی و به ویژه غایبهای فداشونده مقاوم در برابر خوردگی گازهای احتراق و مقاوم در برابر زغال‌گذاری برای حفظ جعبه موتور راکت در برابر گازهای داغ احتراق بکار می‌رود. انعطاف‌پذیری لازم برای اینکه غایب بتواند حرکت دیواره‌های محفظه راکتور را که بعد از اشتعال اتفاق می‌افتد دنبال کند، به دلیل جزء لاستیک آلیاز تامین می‌شود [۶]. از آلیازهای فئولی - نیتریل در بسیاری از قسمتهای اتومبیل و صنایع هوافضا استفاده می‌شود و همچنین این آلیازها در تولید محصولات قالبگیری چتره مقاوم در برابر گرما و سایش، واشرها، درزگیرها، کابلها و غیره کاربرد یافته‌اند [۴].

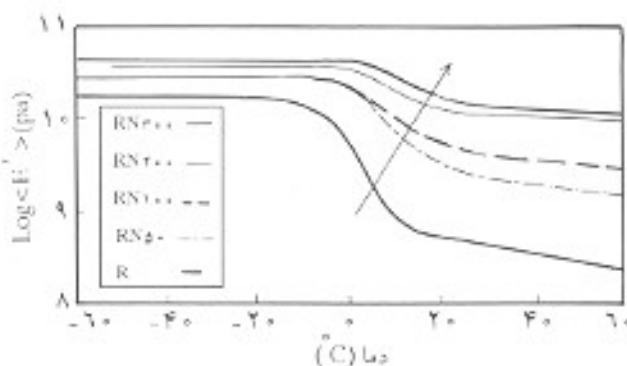
با توجه به اهمیت و کاربرد آمیزه‌های فئولی - نیتریل، در مقاله قبل [۷] تاثیر رزین فئولی و میزان آن بر شرایط فرآوری و خواص میکابکی مورد بحث قرار گرفت. در این مقاله، نقش رزین فئولی نوع نووالاک که میزان آن از صفر تا ۶۵ درصد وزنی متغیر بوده است بر پایداری گرمایی لاستیکهای نیتریل و همچنین ضریب گرمایی و ضریب انبساط گرمایی آنها بررسی می‌شود.

رزین فئولی مورد استفاده در این پژوهش، رزین فئولی بودزی نوع نووالاک از شرکت رزبان است. مشخصات این رزین برابر برگه مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. الاستومر نیتریل مصرفی، الاستومر European 4040 دارای ۴۰ درصد آکریلونیتریل از شرکت



شکل ۲- تغییرات $\tan \delta$ آمیزه‌های فنولی - نیتریل با دما (جهت کم‌ان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

منحنیهای DMTA در شکل ۱، تغییرات میزان میرایی در شکل ۲ و تغییرات مدول ذخیره‌ی ماده‌ی مادر مقادیر مختلف رزین فنولی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج استخراج شده از این منحنیها در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که این جدول و شکلها نشان می‌دهد با افزایش میزان رزین فنولی مدول و T_g فاز لاستیکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. هیچ نشانه‌ای مربوط به T_g فاز فنولی در منحنیهای DMTA مشاهده نشد. احتمالاً میزان میرایی ($\tan \delta$) کاهش می‌یابد (شکل ۲) و سطح زیر منحنیهای $\tan \delta$ بر حسب دما کمتر می‌شود، ضمن اینکه پهنای منحنیهای $\tan \delta$ (که نشان دهنده محدوده دمایی با فرکانسی اتلاف انرژی است) تغییرات چندانی نمی‌کند. بنابراین، در مجموع با افزایش رزین فنولی قابلیت اتلاف انرژی شدت کاهش می‌یابد که این کاهش در درصدهای پایینتر رزین فنولی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. انتقال از فاز لاستیک به دماهای بالاتر و افت $\tan \delta$ با افزایش رزین فنولی می‌تواند ناشی از سازگار شدن بهتر فازها باشد که این احتمالاً به علت مشارکت بیشتر رزین فنولی در شبکه‌ای کردن فاز لاستیک است. البته، باید به این



شکل ۳- تغییرات مدول ذخیره‌ی آمیزه‌های آلیزهای فنولی - نیتریل با دما (جهت کم‌ان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

جدول ۳- آمیزه‌های در نظر گرفته شده برای بررسی نقش رزین فنولی.

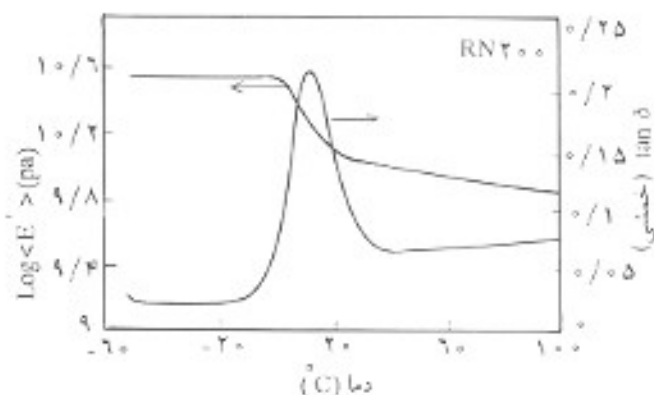
کد آمیزه	میزان لاستیک (phr)	میزان رزین فنولی %	R
R	۱۵۸/۵	۰	
RN ۵۰	۱۵۸/۵	۵۰	
RN ۱۰۰	۱۵۸/۵	۱۰۰	
RN ۲۰۰	۱۵۸/۵	۲۰۰	
RN ۳۰۰	۱۵۸/۵	۳۰۰	

سپس، نمونه‌ها برای آزمون به وسیله فشار از این ورق بریده شده و جهت اطمینان از پخت کامل آنها در دمای 100°C به مدت ۷۲ ساعت در بک آون با چرخه هوا پس پخت شدند.

نتایج و بحث

برای بررسی اثر میزان رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های فنولی - نیتریل، پنج آمیزه به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شد. در این پنج آمیزه کلیه اجزای بکار رفته در فاز لاستیک ثابت و برابر مقادیر ذکر شده در جدول ۲ است و فقط میزان رزین فنولی تغییر کرده است. رزین فنولی مصرفی در این آمیزه‌ها، بودری از نوع نووالاک است. همان طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، میزان رزین فنولی در این آمیزه‌ها از صفر تا 300 phr (با 65% درصد وزنی) تغییر کرده است.

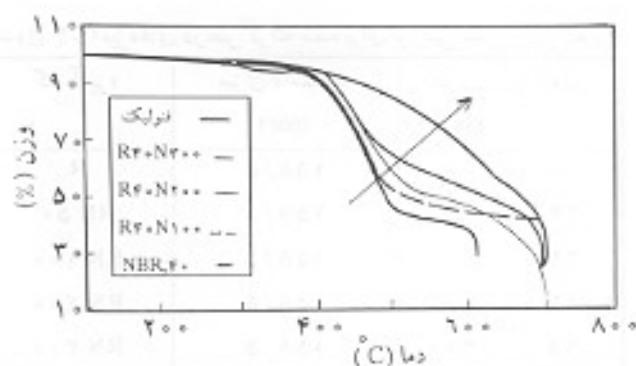
برای بررسی سازگاری و همچنین پایداری گرمایی آمیزه‌های ساخته شده آزمون تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) روی نمونه‌ها صورت گرفت و میزان میرایی به صورت $\tan \delta$ و میزان مدول ذخیره به صورت $\log E'$ بر حسب دما معین گردید. بک نمونه از



شکل ۴- نمودار DMTA آمیزه فنولی - نیتریل با ۵۶ درصد رزین فنولی (RN200).

جدول ۴ - مقادیر حدی $\log E'$ و T_g آلیاژهای مختلف فنولی - نیتریل.

T_g (°C)	$\log \langle E' \rangle_f$ (Pa)	$\log \langle E' \rangle_0$ (Pa)	میزان رزین فنولی	کد نمونه
۴/۴	۸/۱۳	۱۰/۲۴	۰	R
۷/۲	۹/۰۰	۱۰/۴۰	۲۴	RN ۵۰
۸/۵	۹/۳۰	۱۰/۴۵	۳۹	RN ۱۰۰
۱۰/۸	۹/۸۵	۱۰/۵۶	۵۶	RN ۲۰۰
۱۳/۵	۹/۹۵	۱۰/۶۲	۶۵	RN ۳۰۰



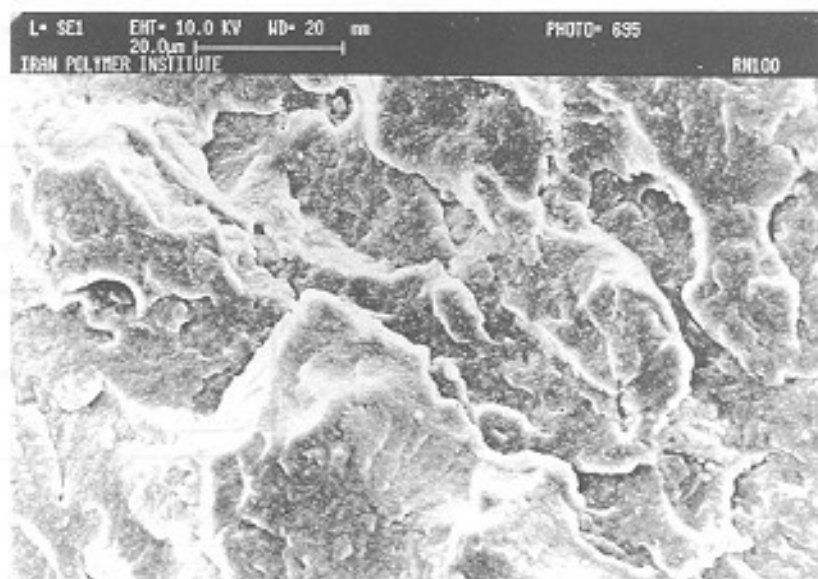
شکل ۴ - منحنیهای TG آمیزه R، رزین فنولی و آمیزه‌های دارای مقادیر مختلف رزین فنولی (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

فنولی بر پایداری گرمایی به کمک آزمون گرما وزنی (TG) نیز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ای از نتایج این بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل گرمانگاشت‌های لاستیک خالص (آمیزه R) و رزین فنولی و همچنین آمیزه‌های فنولی - نیتریل مورد آزمایش، ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، افزایش رزین فنولی به لاستیک نیتریل، پایداری گرمایی آن را به میزان قابل توجهی بویژه در دماهای بالا افزایش می‌دهد. شروع تخریب گرمایی آمیزه دارای رزین فنولی از دمای 411°C شروع می‌شود که 20°C بیشتر از آمیزه لاستیک خالص است. نکته قابل توجه دیگر کاهش سرعت تخریب آمیزه‌های دارای رزین فنولی در دماهای بالاست و با افزایش میزان رزین فنولی سرعت تخریب این آمیزه‌ها نیز کاهش می‌یابد که این ویژگی در

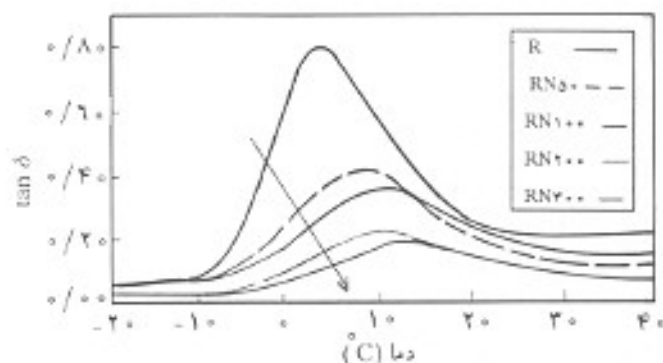
نکته نیز توجه داشت که وجود قطعات سخت رزین فنولی می‌تواند حرکت قطعات نرم فاز لاستیک را تا حدی محدود کند، که این مسئله نیز باعث افزایش T_g و کاهش $\tan \delta$ می‌شود.

از آنجا که الاستومرهای نیتریل با میزان آکریلونیتریل بیشتر T_g بالاتری دارند [۱۰،۲] می‌توان این گونه استنتاج کرد که به جای استفاده از الاستومرهای با میزان بیشتر آکریلونیتریل می‌توان با افزایش رزین فنولی به یک الاستومر با میزان آکریلونیتریل کمتر به پلاستیک دست یافت. قبلاً [۷] نیز اشاره شد که افزودن رزین فنولی سبب افزایش مدول الاستیک و همچنین بهبود و آسانتر شدن شرایط فرآوری نیز می‌شود که این امر در صورت استفاده از الاستومرهای نیتریل با میزان آکریلونیتریل بیشتر میسر نیست.

نکته قابل توجه آن است که افزایش رزین فنولی سبب می‌شود (شکل ۳) که میزان کاهش مدول ذخیره در محدوده وسیعی از دما ناچیز باشد که این بیانگر افزایش پایداری گرمایی این آمیزه‌هاست. تاثیر رزین



شکل ۵ - تصویر میکروسکوپ الکترون پوششی سطح شکست آمیزه فنولی - نیتریل دارای ۳۹ درصد رزین فنولی.



شکل ۲- تغییرات $\tan \delta$ آمیزه‌های فنولی - نیتریل با دما (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

منحیبه‌های DMTA در شکل ۱، تغییرات میران میرایی در شکل ۲ و تغییرات مدول ذخیره با دما در مقادیر مختلف رزین فنولی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج استخراج شده از این منحیبه‌ها در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که این جدول و شکلها نشان می‌دهد با افزایش میزان رزین فنولی مدول و T_g فاز لاستیکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. هیچ نشانه‌ای مربوط به T_g فاز فنولی در منحیبه‌های DMTA مشاهده نشد. احتمالاً میزان میرایی ($\tan \delta$) کاهش می‌یابد اشکل ۱۲ و سطح زیر منحیبه‌های $\tan \delta$ بر حسب دما کمتر می‌شود، ضمن اینکه پهنای منحیبه‌های $\tan \delta$ (که نشان دهنده محدوده دمایی یا فرکانسی اتلاف انرژی است) تغییرات چندانی نمی‌کند. بنابراین، در مجموع با افزایش رزین فنولی قابلیت اتلاف انرژی شدت کاهش می‌یابد که این کاهش در درصدهای پایینتر رزین فنولی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. انتقال T_g فاز لاستیک به دماهای بالاتر و افت $\tan \delta$ با افزایش رزین فنولی می‌تواند ناشی از سازگار شدن بهتر فازها باشد که این احتمالاً به علت مشارکت بیشتر رزین فنولی در شبکه‌ای کردن فاز لاستیک است. البته، باید به این

جدول ۳- آمیزه‌های در نظر گرفته شده برای بررسی نقش رزین فنولی.

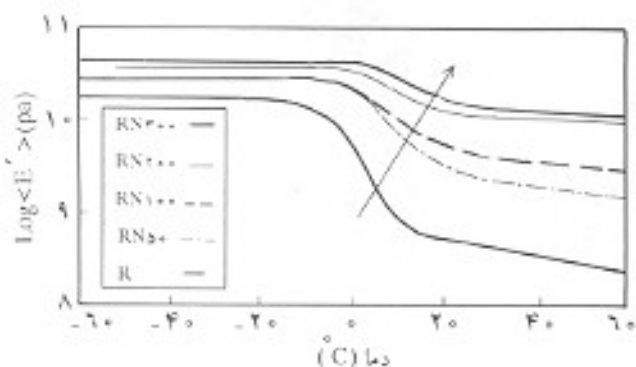
کد آمیزه	میزان لاستیک (phr)	میزان رزین فنولی %	R
R	۱۵۸/۵	۰	
RN ۵۰	۱۵۸/۵	۵۰	
RN ۱۰۰	۱۵۸/۵	۱۰۰	
RN ۲۰۰	۱۵۸/۵	۲۰۰	
RN ۳۰۰	۱۵۸/۵	۳۰۰	

سپس، نمونه‌ها برای آزمون به وسیله فشار از این ورق بریده شده و جهت اطمینان از پخت کامل آنها در دمای 100°C به مدت ۷۲ ساعت در بک آون با چرخه هوا پس پخت شدند.

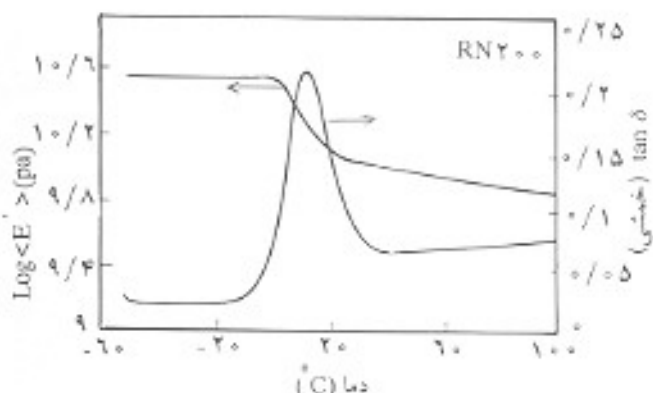
نتایج و بحث

برای بررسی اثر میزان رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های فنولی - نیتریل، پنج آمیزه به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شد. در این پنج آمیزه کلیه اجزای بکار رفته در فاز لاستیک ثابت و برابر مقادیر ذکر شده در جدول ۲ است و فقط میزان رزین فنولی تغییر کرده است. رزین فنولی مصرفی در این آمیزه‌ها، بودری از نوع نوا لاک است. همان طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، میزان رزین فنولی در این آمیزه‌ها از صفر تا ۳۰ phr (با ۰ تا ۶۵ درصد وزنی) تغییر کرده است.

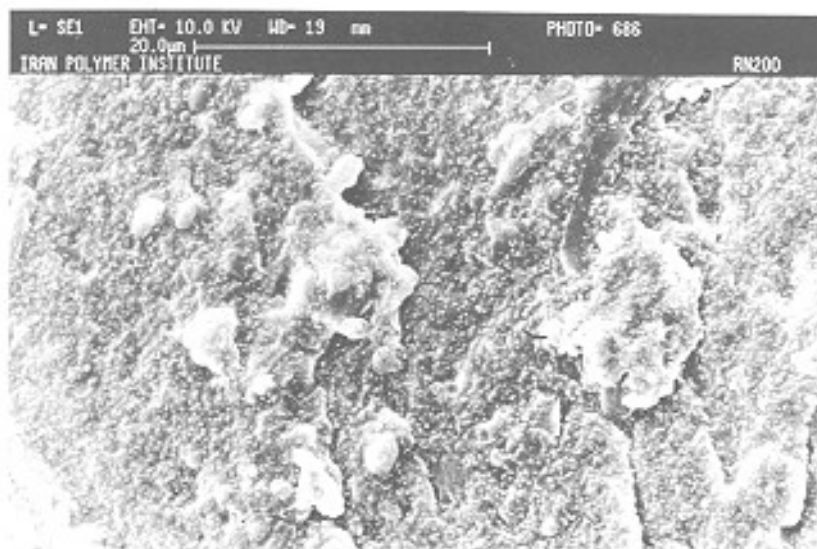
برای بررسی سازگاری و همچنین پایداری گرمایی آمیزه‌های ساخته شده آزمون تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) روی نمونه‌ها صورت گرفت و میزان میرایی به صورت $\tan \delta$ و میزان مدول ذخیره به صورت $\log E'$ بر حسب دما معین گردید. یک نمونه از



شکل ۳- تغییرات مدول ذخیره آمیزه‌های آلیاژهای فنولی - نیتریل با دما (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).



شکل ۴- نمودار DMTA آمیزه فنولی - نیتریل با ۵۶ درصد رزین فنولی (RN200).



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی سطح شکست آمیزه فنولی - نیتریل دارای ۵۶ درصد رزین فنولی.

محدوده دمایی 170°C - 140°C نشان می‌دهد. افزودن لاستیک نیتریل به رزین فنولی سبب شده است که پخت از دماهای پایینتر شروع شود و تا دماهای بالاتر ادامه یابد. به عبارت دیگر، لاستیک نیتریل سبب پهن شدن پیک پخت آمیزه‌ها شده، یعنی اثر ضد کانالیزوری داشته است. به بیان دیگر، اجزای آمیزه آثار متقابلی برهم داشته‌اند. این مسئله بیانگر آن است که لاستیک یا دیگر اجزای آمیزه سبب شده‌اند که پخت با سرعت کمتری صورت پذیرد. گرچه مسکن است سطح زیر پیک منحنی پخت تغییر چندانی نکرده باشد، اما پهن شدن آن بیانگر آزاد شدن تدریجی گرمای ناشی از پخت است. این ویژگی سبب طولانی‌تر شدن زمان پخت شده است. لازم به یادآوری است که در این بررسی وزن اولیه کلبه نمونه‌ها تقریباً ثابت و حدود $12/2\text{mg}$ و سرعت گرمادهی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ بوده است.

ضرایب رسانایی گرمایی (K) و انبساط گرمایی خطی (α) و ظرفیت گرمایی ویژه (Cp) از مهمترین ویژگیهای گرمایی این گونه مواد

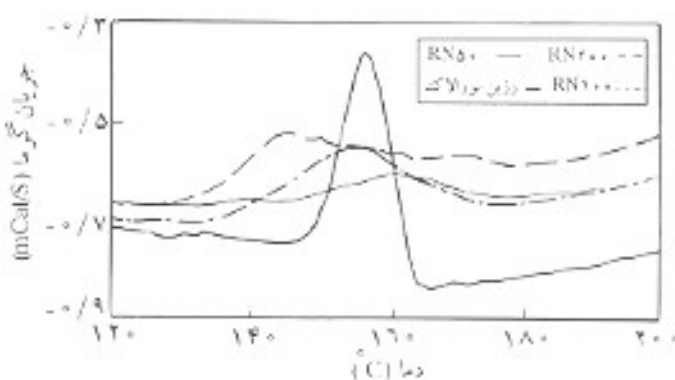
جدول ۵- نتایج آزمونهای DSC آمیزه‌های فنولی - نیتریل.

کد آمیزه	درصد رزین فنولی	دمای پیک ذوب $T_{m,1}$ ($^{\circ}\text{C}$)	دمای پیک پخت $T_{c,1}$ ($^{\circ}\text{C}$)	گرمای پخت ΔH_c (Cal/g)
R	۰	-	۱۷۰	۰/۱۴۲
RN ۵۰	۲۴	۶۷/۲	۱۶۲	۰/۴۱۹
RN ۱۰۰	۳۹	۶۵/۳	۱۵۶	۱/۲۶
RN ۲۰۰	۵۶	۶۵/۱	۱۴۵	۱/۱۶
Rn ۳۰۰	۶۵	۶۵/۹	۱۵۳	۱/۰۷
Phenolic	۱۰۰	۶۹/۶	۱۵۷	۵/۵۶

کاربردهای فداشونده بسیار اهمیت دارد.

شکل‌شناسی این آمیزه‌ها نیز به کمک میکروسکوپ الکترون پوشی بررسی شده است که نمونه‌ای از نتایج آن برای آمیزه دارای ۳۹ درصد رزین فنولی و آمیزه دارای ۵۶ درصد رزین فنولی به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. این بررسیها بیانگر سیستم با سازگاری خوب و درهم پیوسته و به صورت شبکه‌ای در هم نفوذکننده (IPN) است. همچنین، افزایش رزین فنولی سبب بهبود بیشتر سازگاری این آمیزه‌ها شده است.

اثر رزین فنولی بر شرایط پخت لاستیک نیتریل به کمک دستگاه DSC بررسی شده است. نتایج حاصل از این بررسی در شکل ۷ و جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که گرمانگاشتهای DSC نشان می‌دهد، رزین فنولی نوالاکت بک پیک باریک پخت در



شکل ۷- گرمانگاشتهای DSC آمیزه‌های مختلف فنولی - نیتریل (وزن اولیه نمونه $12/2\text{mg}$ و سرعت گرمادهی $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ بوده است).

Rubber handbook, 13th ed., Ed., R. F. Ohm, Vanderbilt Inc., 1990.

3. A. Knop, L. A. Pilato, *Phenolic Resins: Chemistry, Application and Performance*, Springer Verlag, Berlin, 1985.

4. P. Sasidharan and R. Ramas Wamy, "Reactive Compatibilization of Nitrile Rubber/Phenolic Resin Blend", *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 1187-1201, 1989.

5. A.R. Cooper, "Agnig Mechanism of Phenolic Resin - Nitril Butadiene Composites", *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 10, 727-729, 1991.

6. Danowski, Filled Composition Containing Phenol - aldehyde Resin and Butadiene - Acrylonitrile Polymer, U. S. Patent, No. 4 183 841, 1980.

۷- بهشتی محمدحسین، افضل‌سیّدکمال و نادری قاسم، بررسی و نقش رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های لاستیک نیتریل، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی لاستیک، یزد، ۱۳۷۹.

آزمونهای دینامیکی مکانیکی نشان می‌دهد که افزودن رزین فنولی به لاستیک نیتریل سبب جابجایی دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) به دماهای بالاتر، افزایش مدول ذخیره و کاهش افت آن در محدوده وسیعی از دما شده است. نتایج آزمونهای گرما وزنی بیانگر افزایش پایداری گرمایی قابل توجه این آمیزه‌ها و کاهش سرعت تخریب آنها، بویژه در دمای بالا، در اثر افزودن رزین فنولی است. ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌های فنولی - نیتریل با افزایش درصد رزین فنولی بطور خطی افزایش می‌یابد. گرچه ضریب انبساط گرمایی خطی رزین فنولی مستقل از دما و به مراتب از الاستومر پخت شده نیتریل کمتر است (حدود ۲۷ درصد) اما ضریب انبساط گرمایی خطی و همچنین ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژهای آنها تقریباً مستقل از میزان رزین فنولی است.

مراجع

1. M. Mottron, *Rubber Technology*, 2nd Ed., Krieger Pub. Florida, 1981.
2. R. Purdon James, "Nitrile Elastomer", in *The Vanderbilt*