

# الاستومر نیتریل

## The Compounding of Phenolic Nitrile Blends: II- Effect of Nitrile Elastomer Type

محمد حسین بهشتی\*، میدکمال افضلی، قاسم نادری

بزرگسنگ، پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۱۳۹۳/۳/۸، پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۸

### چکیده

رزینهای فنولی به دلیل پایداری گرمایی زیاد، فرایند تولید آسان، ارزان بودن و خواص مفید دیگر، کاربردهای زیادی در صنایع مختلف یافته‌اند. ضعفهایی مانند شکنندگی، آمیزه‌سازی آنها را قبل از قالبگیری الرامی می‌کند. یکی از روشهای اصلاح رزینهای فنولی آلیاژ کردن آنها با لاستیک نیتریل (NBR) است، اما انتخاب نوع آن بسیار اهمیت دارد. در این مقاله اثر افزایش درصد اکریلونیتریل (ACN) از ۳۳ تا ۵۰ درصد در لاستیک نیتریل بر خواص این آمیزه‌ها بررسی می‌شود. نتایج آزمونهای تحریک گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) و گرماوزی (TG) نشان می‌دهد که در درصدهای بالای ACN خواص گرمایی و مکانیکی به مقدار قابل توجهی بهبود می‌یابد. هر چند در درصدهای پایین ACN نیز به علت ایجاد پیک سازگاری واکنشی، خواص مکانیکی و گرمایی نیز تا حدودی بهتر می‌شود. همچنین، با افزایش درصد ACN ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌ها افزایش می‌یابد. ولی ضریب انبساط گرمایی آنها کاهش پیدا می‌کند.

داده‌های کلیدی: رزین فنولی، لاستیک نیتریل، آکریلونیتریل، پایداری گرمایی، آمیزه‌سازی

**Key Words:** phenolic resin, Nitrile rubber, acrylonitrile, thermal stability, compounding

### مقدمه

تنوع سیستمهای پخت، مقاومت زمانمندی بالا و مقاومت عالی در برابر گازهای داغ، مانایی فشاری کم، مقاومت سایشی زیاد، نفوذپذیری کم در برابر گازهای متداول، انعطاف پذیری، مقاومت در برابر آزمون متوسط، چسبندگی متوسط و ضعیف و سازگاری با پلاستیکهای گرمانرم قطعی است [۱].

یکی از روشهای کاربردی برای بهبود چقرمگی و افزایش استحکام ضربه‌ای ترکیبات فنولی، آلیاژ کردن آنها با الاستومرهای نیتریل است. جزء لاستیک آلیاژ با سیستمهای جذب، پخش و آزادسازی تنش خواص کشسانی و چسبندگی آلیاژ را تامین می‌کند [۲].

محصولات تهیه شده از رزینهای فنولی مقاومت گرمایی، مقاومت در برابر شعله، قابلیت چسبندگی به فلزات و پایداری ابعادی بسیار خوب و دودزایی خیلی کمی دارند. این خواص ویژه مربوط به ساختار کاملاً شبکه‌ای شده آنهاست [۱] از معایب ترکیبات فنولی تردی و شکنندگی زیاد و جمع‌شدگی قابل توجه پس از پخت است [۲].

از ویژگیهای عمومی لاستیک نیتریل (NBR) مقاومت خوب در برابر روغنها، سوختها، گریسها و حلالهای غیرقطبی، فراورش خوب،

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: M.Beheshty@proxy.iut.ac.ir

درصد ACN در لاستیک	کد آمیزه	مشخصات	گروه
۳۳	R۲۳N۱۰۰	آمیزه‌های با ۳۹ درصد وزنی (۱۰۰ phr) رزین فنولی	گروه ۱
۴۰	R۴۰N۱۰۰		
۴۵	R۴۵N۱۰۰		
۵۰	R۵۰N۱۰۰		
۳۳	R۲۳N۲۰۰	آمیزه‌های با ۵۶ درصد وزنی (۲۰۰ phr) رزین فنولی	گروه ۲
۴۰	R۴۰N۲۰۰		
۴۵	R۴۵N۲۰۰		
۵۰	R۵۰N۲۰۰		

فنولی - نیتریل بررسی می‌شود.

آمیزه‌های فنولی - نیتریل همراه با افزودنیهای دیگر برای خواص مفید یاد شده، به عنوان عایقهای گرمایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵]. از این آلیاژها در صنایع هوافضا به عنوان عایق فدا شونده مقاوم در برابر خوردگی، گازهای احتراق و برای حفظ جعبه موتور راکت از گازهای داغ احتراق استفاده می‌شود. انعطاف‌پذیری لازم برای اینکه عایق بتواند حرکت دیواره‌های محافظه را که بعد از احتراق اتفاق می‌افتد دنبال کند به وسیله جزیء لاستیک آلیاژ نامین می‌شود [۶]. از آلیاژهای فنولی - نیتریل در قسمتهایی از اتومبیل مانند شاور بزمین، تولید محصولات قالبگیری چقرمه و مقاوم در برابر گرما و سایش، واشرها، درزگیرها، کابلها و غیره نیز استفاده می‌شود [۴]. الاستومر نیتریل از دو واحد ساختاری متفاوت آکریلونیتریل و بوتادیان ساخته شده است. از شناسه‌های مهم آن، میزان آکریلونیتریل (ACN) در ساختار این کوپلیمر است. با افزایش مقدار ACN، ساختار کوپلیمر قطبی‌تر شده و انعطاف‌پذیری و مقاومت در دماهای پایین، جهندگی، سازگاری با نرم‌کننده‌ها و نفوذپذیری در برابر گازها کاهش می‌یابد، ولی مقاومت در برابر روغن‌ها، حلالهای غیر قطبی و آروماتیک، سانای فشاری، استحکام کششی، سختی، مدول، دمای شکستگی، دمای انتقال شیشه‌ای (T<sub>g</sub>)، چگالی، سرعت پخت، سازگاری با پلیمرهای قطبی، مقاومت سایشی و اتلاف گرمایی افزایش پیدا می‌کند. بعضی از خواص مانند انعطاف‌پذیری شدت وابسته به درصد ACN است، ولی برخی دیگر مانند مقاومت سایشی از مقدار ACN چندان پیروی نمی‌کند [۷]. خواص رزینهای فنولی و لاستیک نیتریل بخوبی شناخته شده است، ولی علی‌رغم کاربردهای زیاد آلیاژهای فنولی - نیتریل اطلاعات اساسی در زمینه خواص و تاثیر متغیرها و قوانین حاکم بر آنها هنوز بخوبی حاصل نشده و در دسترس نیست. در مقاله قبلی [۸] درباره تاثیر میزان رزین فنولی بر خواص این آلیاژها بحث شد، در این مقاله اثر نوع الاستومر نیتریل بر خواص مکانیکی - دینامیکی و گرمایی آلیاژهای

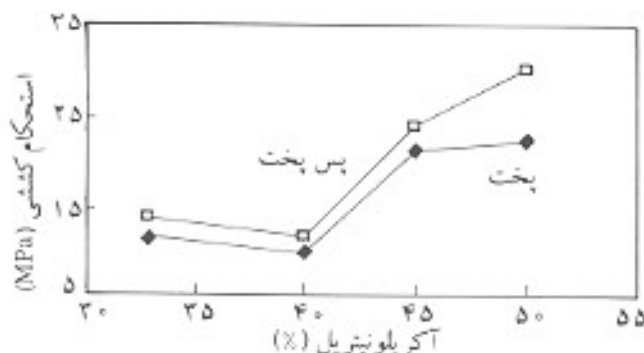
## تجربیه

### مواد

رزین فنولی مورد استفاده در این پژوهش، رزین فنولی نوع نووالاک از شرکت رزینان و به شکل پودر است. از الاستومرهای نیتریل مصرفی با نام تجاری Europrene با مقادیر ACN متفاوت ۳۳، ۴۰، ۴۵، ۵۰ درصد و گرانروی مونی در ۱۰۰°C به ترتیب برابر ۴۸، ۵۲، ۶۵ و ۸۴ استفاده شده است. مواد مصرفی دیگر مانند سیستم پخت لاستیک از مواد تجاری مورد مصرف در صنعت لاستیک بوده است.

### دستگاهها و روشها

سختی آمیزه‌ها با سختی سنج ۲۱۰۰ - Zwick طبق استاندارد ASTM D۲۲۴۰، آزمون کشش با دستگاه ۶۰۲۵ Instron طبق استاندارد ASTM D۶۳۸ با سرعت کشش ۵۰ mm/min، تجزیه گرماوزنی (TGA) با دستگاه STA ۶۲۵ طبق استاندارد ASTM D۳۸۹۵، تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) با دستگاه DMTA-PL طبق استاندارد ASTM D۵۰۲۶، ضریب رسانایی گرمایی طبق استاندارد ASTM C۱۷۷ و ضریب انبساط گرمایی خطی با دستگاه TMA-PL-۵۰۰ طبق استاندارد ASTM D۶۹۶ اندازه‌گیری شد. همچنین، از دستگاه میکروسکوپ الکترون پویشی S۳۶۰-Cambridge برای بررسی شکل‌شناسی آمیزه‌ها استفاده شد. لازم به یادآوری است که نتایج یاد شده، متوسط حداقل پنج بار اندازه‌گیری است.

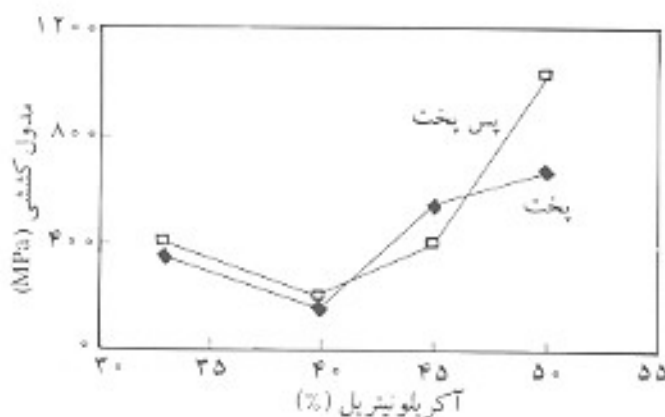


شکل ۲- استحکام کششی آمیزه‌های فنولی - نیتریل دارای ۲۹ درصد رزین فنولی برحسب میزان آکریلونیتریل بعد از پخت و پس پخت.

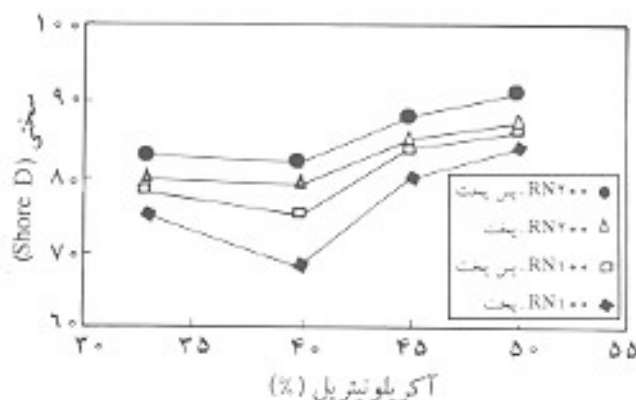
جدول ۱ تهیه شد. در هر گروه از این آمیزه‌ها تنها نوع لاستیک تغییر کرده و سایر شرایط و افزودنیها ثابت بوده است.

شکل ۱ سخنی آمیزه‌ها را بعد از پخت و پس پخت در مقادیر مختلف ACN نشان می‌دهد. از این شکل پیداست که با افزایش درصد ACN در لاستیک از ۲۲ به ۵۰ درصد سخنی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که بعد از پس پخت نمونه‌ها به مقدار زیادی سخت‌تر شده‌اند. این نشان دهنده افزایش چگالی پیوندهای عرضی رزین فنولی است. زیرا نتایج آزمون رئومتر نشان می‌دهد که در این شرایط پخت لاستیک کامل می‌شود. همچنین با افزایش میزان رزین فنولی از ۲۹ به ۵۶ درصد، سخنی آمیزه‌ها به مقدار زیادی افزایش یافته است. این روند برای آمیزه‌هایی که در شرایط پس پخت قرار گرفته‌اند نیز وجود دارد.

نتایج آزمون کشش که در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است نشان می‌دهد که با افزایش درصد ACN در لاستیک از ۲۲ به ۵۰ درصد استحکام و مدول ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. میزان



شکل ۳- تغییرات مدول کششی آمیزه‌های فنولی - نیتریل دارای ۲۹ درصد برحسب میزان آکریلونیتریل بعد از پخت و پس پخت.



شکل ۱- سخنی دو گروه آمیزه فنولی - نیتریل برحسب میزان آکریلونیتریل بعد از پخت و پس پخت.

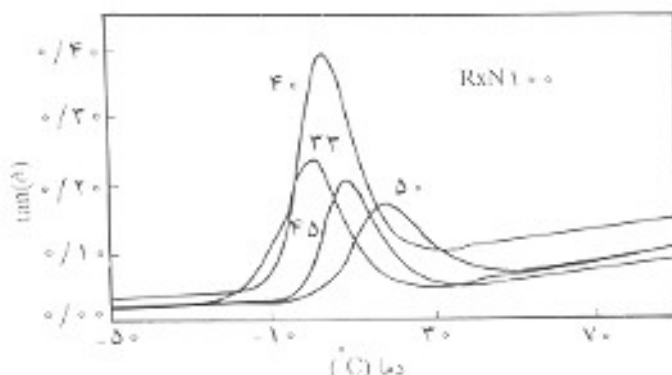
برای بررسی اثر نوع الاستومر نیتریل بر خواص آلیاژهای فنولی - نیتریل، دو گروه آمیزه گروه اول با ۲۹ درصد (۱۰۰phr) رزین فنولی و گروه دوم با ۵۶ درصد (۲۰۰phr) تهیه شد که در هر گروه میزان آکریلونیتریل از ۲۲ تا ۵۰ درصد متغیر بوده است. مشخصات آمیزه‌های تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.

نرم و مخلوط کردن اجزای آمیزه روی غلنک انجام شد. برای این منظور از مخلوط کن دو غلنکی آزمایشگاهی با نام Polymix ۲۰۰۱ استفاده شد. ابتدا لاستیک نیتریل به مدت ۱ تا ۳ دقیقه نرم شد، بعد رزین فنولی و روغن و سایر افزودنیها به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه و در پایان سیستم پخت لاستیک افزوده شد.

آمیزه‌های تهیه شده با توجه به بررسیمهای رئومتری در دمای ۱۶۰°C به مدت ۵۰ دقیقه در یک قالب صفحه‌ای به ضخامت ۲mm در یک پرس آزمایشگاهی پخت شد و سپس خواص آنها معین گردید. خواص بعضی از نمونه‌ها نیز، بعد از پس پخت که در دمای ۱۰۰°C به مدت ۷۲ ساعت در یک آون با چرخه هوا انجام گرفت. اندازه گیری شد.

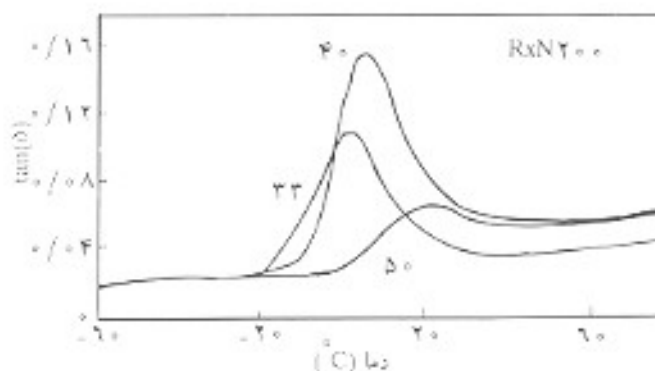
## نتایج و بحث

رزین فنولی از رزینهایی است که پایداری گرمایی خوبی دارد، ولی بسیار شکننده است. شکنندگی آن به حدی است که این رزین به تنهایی کمتر کاربرد دارد و باید آمیزه‌سازی شود. از طرفی، الاستومر نیتریل یکی از الاستومرهای پر مصرف است و به علت ساختار قطبی با رزین فنولی سازگاری سبی دارد با آمیزه‌سازی رزین فنولی و لاستیک نیتریل می‌توان آلیاژهایی ساخت که در بعضی کاربردها از خواص مطلوبتری برخوردار باشد. برای بررسی تاثیر نوع الاستومر نیتریل (از نظر میزان ACN در لاستیک INHR) بر خواص این آمیزه‌ها دو گروه آمیزه طبق

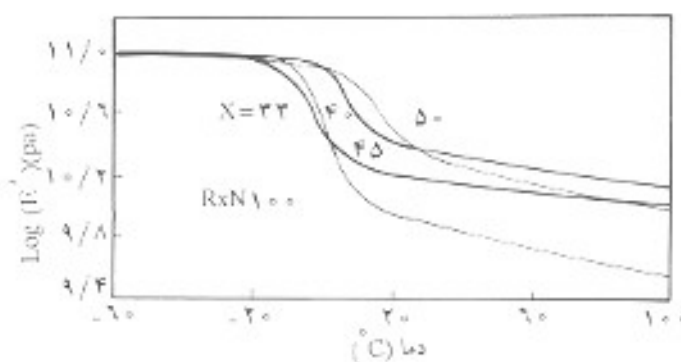


شکل ۶- تغییرات میرایی  $\tan(\delta)$  برحسب دما برای آمیزه‌های دارای ۳۹ درصد رزین فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.

DMTA بررسی شد. تغییرات مدول ذخیره در شکل‌های ۴ و ۵ و میرایی به صورت  $\tan(\delta)$  در شکل‌های ۶ و ۷ برحسب دما نشان داده شده است. در این آزمون پیک مربوط به  $T_g$  فاز فنولی مشاهده نشد که احتمالاً مربوط به ساختار شدت شبکه‌ای شده آن است. همان طور که این شکل‌ها نشان می‌دهند، با افزایش درصد ACN،  $T_g$  فاز لاستیک افزایش می‌یابد. از آنجا که لاستیک‌های با ACN بیشتر  $T_g$  بالاتر دارند، این افزایش در  $T_g$  با نمی‌توان مستقیماً به سازگاری فازها نسبت داد. ولی افت و بهتر شدن پیک  $\tan(\delta)$  به سازگاری فازها مربوط می‌شود.  $\tan(\delta)$  با افزایش ACN افزایش و سپس کاهش می‌یابد. نمونه‌های با ۴۰ درصد ACN بیشترین مقدار  $\tan(\delta)$  را دارند. بیشترین پهنای پیک  $\tan(\delta)$  مربوط به آمیزه‌های با ۳۳ و ۵۰ درصد ACN است. هرچه سطح زیر منحنی  $\tan(\delta)$  بهتر باشد، این اتلاف در محدوده وسیع‌تری از دما (یا فرکانس) اتفاق می‌افتد که از این نظر آمیزه‌های با ۳۳ و ۵۰ درصد ACN اولویت دارند. نوع لاستیک نیتریل در دماهای زیر  $T_g$  چندان بر مدول ذخیره اثر نمی‌گذارد. به بیان دیگر در دماهای زیر  $T_g$  لاستیک، خواص آبیاز



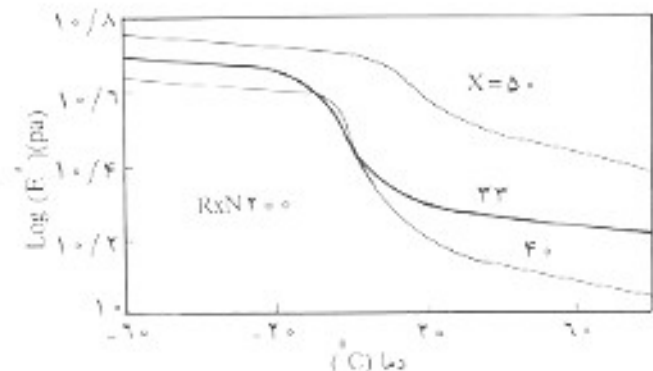
شکل ۷- تغییرات میرایی  $\tan(\delta)$  برحسب دما برای آمیزه‌های دارای ۵۶ درصد رزین فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.



شکل ۴- تغییرات مدول ذخیره برحسب دما برای آمیزه‌های شامل ۲۹ درصد رزین فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.

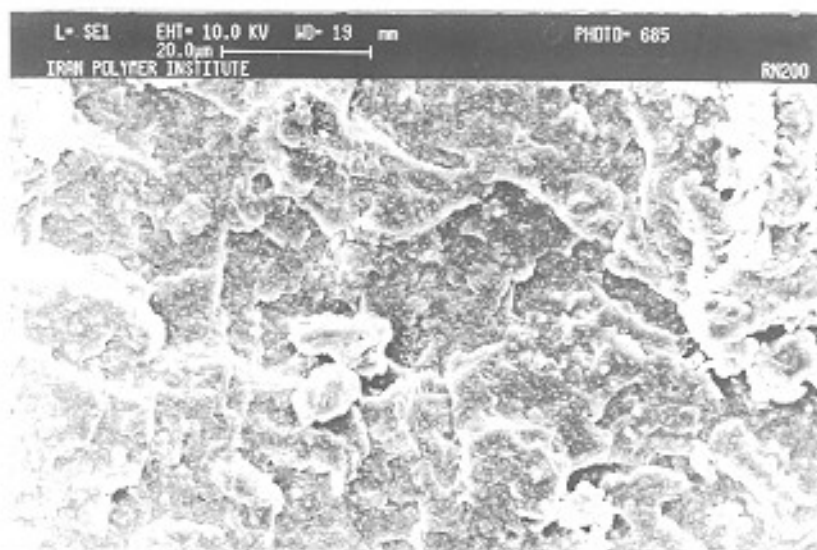
از زیاد طول تا پارگی نیز از همین روند برخوردار است. همین تغییرات برای آمیزه‌هایی که در شرایط پس پخت قرار گرفته‌اند نیز وجود دارد. با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که خواص نمونه‌ها شدت به شرایط پخت (دما و زمان) وابسته است. بنابراین، وقتی نمونه‌های پخت شده در دمایی کمتر برای مدت زمان طولانی‌تر در شرایط پس پخت قرار می‌گیرند، فرایند پخت ادامه یافته و خواص مکانیکی بهبود می‌یابد. در اثر فرایند پس پخت استحکام کششی و مدول نمونه‌ها افزایش می‌یابد. میزان این افزایش برای آمیزه‌های با ۳۳ و ۵۰ درصد آکریلونیتریل در لاستیک (R۳۳N۱۰۰ و R۵۰N۱۰۰) بیشتر است، در حالی که مدول و استحکام کششی برای آمیزه‌های R۴۰N۱۰۰ و R۴۵N۱۰۰ در اثر پخت تکمیلی افزایش کمتری داشته و حتی مدول آمیزه R۴۵N۱۰۰ کاهش نیز داشته است. بنظر می‌رسد دو فاز فنولی و لاستیک در مقادیر ACN کم (۳۳ درصد) و زیاد (۵۰ درصد) سازگاری بیشتری با هم داشته باشند.

تأثیر نوع لاستیک نیتریل بر سازگاری این آمیزه‌ها به کمک



شکل ۵- تغییرات مدول ذخیره برحسب دما برای آمیزه‌های شامل ۵۶ درصد رزین فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.





شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترون پوشی سطح شکست آمیزه فنولی - نیتریل دارای ۵۶ درصد رزین فنولی.

بنادایان این کولیمبر وجود دارد، احتمال مشارکت رزین فنولی در شبکه‌ای کردن زنجیرهای NBR (پخت فنولی لاستیک) بیشتر است که این امر منجر به یک سازگاری واکنشی و افزایش تداخل فازی بعد از پخت می‌شود. البته، از آنجا که رزین فنولی بطور جزئی در شبکه‌ای کردن لاستیک دخالت می‌کند و پخت لاستیک عمدتاً به کمک سیستم پخت گلوگردی صورت می‌گیرد، ساختار قطبی تر لاستیک در سازگاری فازی بیشتر اثر می‌گذارد. افزایش شدید  $T_g$  و نسبت بالای پهنای ارتفاع پیک  $\tan \delta$  مربوط به سازگاری خیلی بیشتر رزین فنولی با لاستیک شامل ۵۰ درصد ACN نسبت به سایر لاستیکهاست. شکل شناسی این آمیزه‌ها نیز به کمک میکروسکوپ الکترون پوشی بررسی شد که نمونه‌ای از نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. این بررسیها بیانگر یک سیستم با سازگاری خوب و در هم پیوسته است که به صورت شبکه‌ای در هم نفوذ کننده (IPN) اند.

برای بررسی اثر نوع لاستیک بر پایداری گرمایی آمیزه‌ها

جدول ۲- ضرایب رسانایی گرمایی و انبساط طولی آمیزه‌های فنولی - نیتریل.

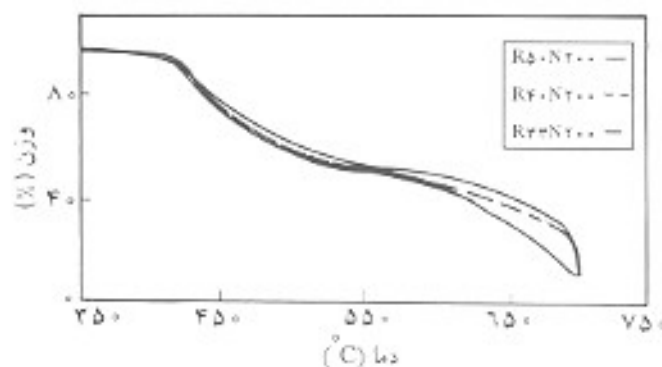
کد آمیزه	$\alpha$ در $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ در $60^{\circ}\text{C}$	$K$ در $^{\circ}\text{C}$ در $\text{W/m}^2\text{K}$
R۳۳N۱۰۰	۱۹۱	۰/۲۲۵
R۴۰N۱۰۰	۱۵۰	۰/۲۶۱
R۵۰N۱۰۰	۵۲	۰/۳۲۲

K: ضریب رسانایی گرمایی

$\alpha$ : ضریب انبساط گرمایی خطی

مستقل از نوع لاستیک است. در دماهای بالای  $T_g$  با افزایش درصد ACN مدول افزایش می‌یابد که البته دوباره نمونه‌های با ۴۰ درصد آکریلونیتریل کمترین مدول را نشان می‌دهد.

با توجه به مطالب یاد شده بنظر می‌رسد که در مقادیر کم (۳۳ درصد) و زیاد (۵۰ درصد) آکریلونیتریل سازگاری فازی بیشتری بین رزین فنولی و لاستیک نیتریل وجود داشته باشد. در مقادیر بالای ACN ساختار لاستیک قطبی تر است، بنابراین سازگاری بیشتری با ساختار قطبی رزین فنولی وجود دارد و در نتیجه تداخل فازی بیشتر خواهد بود. در مقادیر کم ACN هرچند تداخل فازی به علت کاهش قطبیت لاستیک کم می‌شود، ولی به علت افزایش غلظت پیوندهای سیر نشده (دوگانه) در مولکولهای NBR، که با توجه به ساختار شبیهیابی آن فقط در بخش

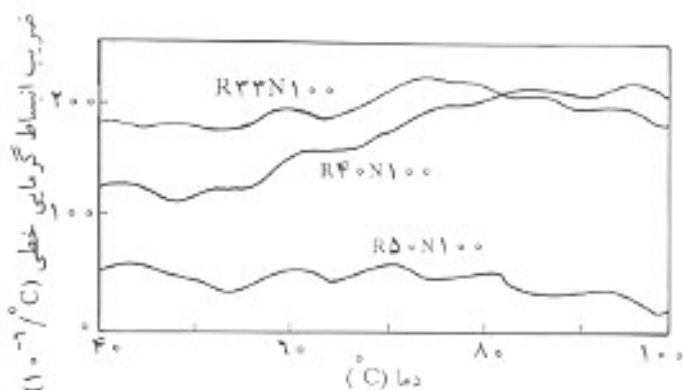


شکل ۹- تغییرات میزان کاهش وزن بر حسب دما برای آمیزه‌های با مقادیر مختلف آکریلونیتریل.

توجهی افزایش می‌یابد. بنظر می‌رسد در درصد‌های پایین ACN، به دلیل تعداد بیشتر پیوندهای سیرنشده در NBR پخت فنولی فاز لاستیک بیشتر صورت می‌گیرد و باعث می‌شود یک سازگاری واکنشی بین دو فاز رزین فنولی و لاستیک نیتریل ایجاد شود. در درصد‌های بالای ACN به علت افزایش قطبیت، لاستیک سازگاری بیشتری با رزین فنولی که ساختاری قطبی دارد نشان می‌دهد. در هر حال قطبیت NBR که با افزایش درصد ACN بیشتر می‌شود بر سازگاری دو فاز مؤثرتر است. افزایش درصد ACN باعث افزایش قابل توجه پایداری گرمایی در دماهای بالا و ضریب رسانایی گرمایی و کاهش ضریب انبساط گرمایی آمیزه می‌شود.

## مراجع

1. F. S. Ikeda and T. S. Ooi, "Impact modified reinforced phenolic resin molding materials", *European Patent No.* 93105496.9 1993.
2. A. Knop, I. A. Pilato, *Phenolic Resins: Chemistry, Application and Performance*, Springer Verlag, Berlin, 269, 1985.
3. W. Hofman, *Rubber Technology handbook*, Transl. By R. Baner and E.A. Meinecke, Oxford University Press, 1989.
4. P. S. Achary and R. Ramaswamy, "Reactive compatibilization of nitril rubber/phenolic resin blend: effect on adhesive and composite properties", *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.
7. R. Purdon James, "Nitrile elastomer", in *The Vanderbilt Rubber handbook*, 13th ed., Ed., R. F. Ohm, Vanderbilt Inc., 1990.
8. بهشتی محمدحسین، افضلی سیدکمال و نادری قاسم، بررسی و نقش رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های لاستیک نیتریل، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی لاستیک، یزد، ۱۳۷۹.



شکل ۱۰ - تغییرات ضریب انبساط گرمایی خطی ( $\alpha$ ) بر حسب دما.

بویژه در دماهای بالا آزمون تجزیه گرماوزنی (TGA) روی سه آمیزه گسرو ۲ انجام شد که نتایج آن در شکل ۹ آورده شده است. مشاهده می‌شود که نوع لاستیک اثری بر دمای شروع تخریب ندارد و تخریب تمام نمونه‌ها از دمای  $410^{\circ}\text{C}$  شروع شده است، ولی از دمای  $500^{\circ}\text{C}$  به بالا آمیزه‌های دارای آکریلونیتریل بیشتر پایداری گرمایی بیشتری نشان می‌دهند. این اثر به گونه‌ای است که مثلاً  $40\%$  درصد وزنی باقیمانده در آمیزه‌های با لاستیک نیتریل دارای  $33\%$ ،  $40\%$  و  $50\%$  درصد ACN به ترتیب در دماهای  $662^{\circ}\text{C}$ ،  $654^{\circ}\text{C}$  و  $641^{\circ}\text{C}$  رخ داده است که افزایش پایداری گرمایی قابل توجهی است.

با توجه به اهمیت ضریب رسانایی گرمایی (K) و ضریب انبساط گرمایی ( $\alpha$ ) در کاربردهای ایمن گونه آمیزه‌ها تغییرات این خواص بر حسب دما نیز معین گردید (جدول ۲ و شکل ۱۰). مشاهده می‌شود که افزایش درصد ACN باعث افزایش ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌ها (K) می‌شود که این تغییر احتمالاً ناشی از افزایش قطبیت لاستیک است. از طرفی، افزایش درصد ACN باعث کاهش ضریب انبساط گرمایی خطی ( $\alpha$ ) می‌شود که این تغییر بانگر ثبات ابعادی بیشتر این آمیزه‌هاست. این امر می‌تواند ناشی از افزایش قطبیت آمیزه و در نتیجه سخت تر شدن تحرک زنجیرها باشد.

## نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه بحث شد، نتایج زیر را می‌توان استنتاج کرد: با افزایش مقدار آکریلونیتریل (ACN) فاز لاستیک در آلیاژهای فنولی - نیتریل از  $33\%$  تا  $50\%$  درصد سختی، استحکام و مدول کششی و مدول ذخیره ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد؛ همچنین از دیام طول نا پارگی و نسبت ارتفاع به پهنای پیک مبرایی (tan $\delta$ ) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. افزون بر این، پایداری گرمایی در دماهای بالا به میزان قابل