

# تهیه رزینهای اپوکسی - نووالاک و تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی آنها

Synthesis of Epoxy-Novalac Resin and Determination of Its Physical and Mechanical Properties

فرامرز افشار طارمی، احمد رضائی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده پلیمر

دریافت: ۷۴/۱۱/۴، پذیرش: ۷۴/۴/۷

## چکیده

رزینهای اپوکسی - نووالاک، که از اپوکسید دار شدن رزینهای فنولی - نووالاک به دست می آیند، از جمله بهترین و با صرفه ترین رزینهای اپوکسی می باشند و از مقاومت گرمایی و مکانیکی بالایی برخوردارند. این رزینها می توانند با عاملیت بالا (بیش از شش) با حضور حلال مناسب در محیط واکنش تولید شوند، ولی رزینهای تولیدی با عاملیت حدود ۳/۵ در دمای محیط جامدند و اگر با دی آمینهای حلقه ای پخت شوند، خواص فیزیکی و مکانیکی ضعیفتری نسبت به رزینهای با عاملیت کمتر پیدا می کنند و در صورتی که گرانروی بالا در رزین مورد نظر نباشد، بهترین خواص مربوط به رزینهای با عاملیت ۳/۳ است. این رزینها از اپوکسید دار شدن نووالاک تولیدی با نسبت مولی فرمالدهید به فنول معادل ۰/۴ به دست می آیند. در آزمایشهای انجام شده، ابتدا رزین فنولی - نووالاک با وزن مولکولی مورد نظر تهیه و خواص آن تعیین شد. در مرحله بعد رزینهای تولیدی اپوکسید دار شد و رزینهای اپوکسی - نووالاک به دست آمد. رزینهای حاصل پس از تعیین مشخصات با متافینیل دی آمین پخت شد و تغییرات خواص مکانیکی و گرمایی آنها با تغییرات وزن مولکولی مورد بررسی قرار گرفت.

واژه های کلیدی: رزین اپوکسی - نووالاک، مقاومت گرمایی، مقاومت مکانیکی، اپوکسید دار شدن، پخت

**Key Words:** epoxy - novalac resin, thermal strength, mechanical strength, epoxidation, curing

## مقدمه

رزینهای فنولی - نووالاک از واکنش فنول و فرمالدهید در محیط اسیدی تهیه می شوند. این رزینها با توجه به نسبت فنول و فرمالدهید و نیز نوع کاتالیزور مصرفی وزن مولکولی مختلفی دارند. با توجه به اینکه این رزینها عوامل هیدروکسیل فنولی دارند، می توانند در شرایط مناسب و در حضور بازهای قوی مثل سود سوزآور با اپی کلروهیدرین واکنش دهند و رزینهای اپوکسی با تعداد عوامل بالا تولید کنند. رزینهای حاصل علاوه بر خصوصیات معمول رزینهای اپوکسی، مقاومت گرمایی بسیار خوبی دارند.

رزینهای اپوکسی از خواصی چون آسان بودن فرایند شکل دهی و پخت در دمای محیط برخوردارند و نیز در هنگام پخت، مواد فرار از آنها آزاد نمی شود. این رزینها کاربرد فراوانی در چسبها، کامپوزیتها و

رزینهای مورد استفاده در قالبگیری پیدا کرده اند. با توجه به نیاز صنایع، به ویژه صنایع هوا - فضا، به رزینهایی با مقاومت گرمایی و الکتریکی بالا، محققان بر آن شدند تا به طریقی عوامل اپوکسی را از زنجیر اصلی پلیمر خارج کنند و به صورت شاخه جانبی روی پلیمر قرار دهند و بدین ترتیب رزینهایی با مقاومت گرمایی بالا تولید کنند [۱].

رزینهای فنولی - نووالاک با مقاومت گرمایی بالا و داشتن عوامل هیدروکسیل فنولی، به خوبی می توانند با اپی کلروهیدرین واکنش داده و یک حلقه اپوکسی به صورت شاخه جانبی تشکیل دهند. رزین اپوکسی - نووالاک حاصل دارای عاملیت ۲/۳ تا ۶ و حتی بالاترند. این رزینها با عوامل مناسب ایجاد کننده پیوندهای عرضی مثل متافینیل دی آمین شبکه ای می شوند و می توانند بدون از دست دادن

خواص مکانیکی تا دمای  $200^{\circ}\text{C}$  مقاومت کنند، در حالی که رزینهای اپوکسی دیگر که با همین شرایط پخت شده‌اند، حداکثر تا  $180^{\circ}\text{C}$  مقاومت می‌کنند [۲].

### تجربی

نخستین مرحله تولید رزین اپوکسی - نووالاک، تهیه رزین فنولی - نووالاک با ویژگیهای مورد نیاز است. چون وزن مولکولی نووالاک، عامل اصلی تعیین وزن مولکولی رزین اپوکسی - نووالاک است، از این رو ابتدا باید به تهیه این رزین با وزن مولکولی مناسب اقدام و سپس آن را اپوکسید دار کرد.

### روشها

تهیه رزین فنولی - نووالاک

واکنش تهیه رزین فنولی - نووالاک در یک راکتور شیشه‌ای مجهز به همزن و یک میرد برای بازگرداندن بخار مایع شده به داخل ظرف واکنش انجام می‌گیرد.

مقدار معینی فنول خالص به ظرف واکنش منتقل و به میزان  $0/5$  درصد وزنی فنول، کاتالیزور به آن اضافه می‌شود. سپس، مخلوط واکنش تا دمای  $120^{\circ}\text{C}$  گرم شده و در این دما محلول آبی دارای  $37\%$  فرمالدهید به مخلوط واکنش اضافه می‌شود. آن گاه، واکنش در دمای جوش مخلوط در فشار جو دنبال می‌شود. برای یافتن زمان پایان واکنش، در فواصل زمانی مختلف با نمونه برداری از ظرف واکنش و تیتراژ آن با محلول سدیم سولفیت، تغییرات غلظت فرمالدهید با زمان به دست می‌آید.

پس از پایان واکنش، رزین حاصل در  $120^{\circ}\text{C}$  تقطیر شده و سپس در  $180^{\circ}\text{C}$  و فشار کمتر از  $10\text{ mmHg}$  باقیمانده آب و فنول از رزین خارج می‌شود. برای اطمینان از اینکه مقدار فنول باقیمانده در رزین کمتر از یک درصد وزنی رزین باشد و از این حد مجاز تجاوز نکند، به کمک روش اصلاح شده ASTM D1312 مقدار فنول آزاد در تمام نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین وزن مولکولی رزین از روش GPC و گرانروی سنجی و همچنین داده‌های تویاسون و کامید و معادله مارک - هاوکینز - کورادا استفاده شده است [۳].

تهیه رزین اپوکسی - نووالاک

برای این منظور از روش عمومی و روش حلال برای تولید رزین اپوکسی - نووالاک استفاده شده است. در روش عمومی رزین فنولی - نووالاک با جرم مولکولی پایین انتخاب شده و به همراه اپی کلروهیدرین و حدود یک درصد آب وارد یک ظرف سه دهانه

می‌شود. این سه دهانه ویژه ورود سود سوز آور، اپی کلروهیدرین بازگشتی و خروج مواد تقطیر شده است. دهانه مخصوص خروج به یک سیستم خلاء وصل می‌شود و در آن آب و اپی کلروهیدرین از هم جدا و اپی کلروهیدرین از طریق دهانه دیگر به ظرف واکنش باز می‌گردد تا غلظت آب سیستم در حد یک درصد باقی بماند. سیستم توسط همزن به هم می‌خورد و توسط حمام آب گرم به دمای مناسب می‌رسد. فشار نیز به گونه‌ای تنظیم می‌شود تا دمای جوش مخلوط در  $70^{\circ}\text{C}$  باقی بماند. در این دما مقداری سود  $20\%$  کم کم به ظرف واکنش اضافه می‌شود. مقدار سود مصرفی به میزان رزین فنولی - نووالاک وابسته است و نسبت مولی آن معادل نسبت مولی عوامل هیدروکسیل فنولی است. شرایط واکنش در جدول ۱ آورده شده است.

برای خالص سازی رزین، ابتدا مخلوط صاف می‌شود تا نمک نامحلول آن جدا گردد. سپس مخلوط چندین بار با آب مقطر شسته می‌شود که در هر مرحله مقداری آب نمک از مخلوط اپی کلروهیدرین و رزین جدا می‌شود. در انتها اپی کلروهیدرین و آب باقیمانده در دمای  $150^{\circ}\text{C}$  در شرایط خلاء جدا می‌گردد.

جدول ۱ - شرایط اپوکسید دار شدن به روش عمومی.

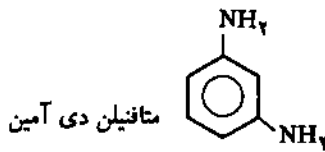
نسبت وزنی اپی کلروهیدرین به رزین فنولی - نووالاک	6/8
مقدار آب موجود در اپی کلروهیدرین در ابتدا	1%
نسبت وزنی سود به رزین فنولی - نووالاک	0/4
غلظت محلول سود	20%
دمای واکنش	$70^{\circ}\text{C}$
زمان واکنش	270 min

در این شرایط وزن معادل اپوکسی  $180$  به دست آمده است، در حالی که حداقل وزن معادل مورد نظر  $195$  می‌باشد. این روش فقط برای تهیه رزینهای اپوکسی - نووالاک با استفاده از رزین فنولی - نووالاک با وزن مولکولی خیلی پایین به کار می‌رود و برای تولید رزینهای اپوکسی - نووالاک با وزن مولکولی متوسط و بالا روش مناسبی نیست، زیرا سیستم دارای دو فاز می‌شود.

برای برطرف کردن این مشکل و افزایش میزان استخلاف گروههای اپوکسی روی زنجیر نووالاک از روش حلال استفاده می‌شود. در این روش با استفاده از حلال ایزوپروپانول، رزین فنولی - نووالاک اپوکسید دار می‌شود [۵].

در روش حلال، ابتدا رزین فنولی - نووالاک در محلول اپی

بیند و به آرامی سرد شود، مایع پایداری با گرانشی بسیار پایین به دست می آید که سازگاری خوبی با رزینهای اپوکسی دارد و تا شش ماه در حالت مایع باقی می ماند.



با توجه به گرانشی و زمان فرایند، دمای اولیه پخت  $120^{\circ}\text{C}$  برای ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد. در گرمانگاشت (ترموگرام) رزین EPN4 پخت شده در شرایط بالا، در  $180^{\circ}\text{C}$  یک پیک گرمایی مشاهده می شود که به نظر می رسد ناشی از پخت تکمیلی باشد. با توجه به نتایج حاصل، برای پخت کامل نمونه ها دمای  $190^{\circ}\text{C}$  و زمان ۴ ساعت در نظر گرفته شد. در گرمانگاشت نمونه ها، پیکهای گرماده حذف شده و تنها پیکهای گرماگیر مربوط به Tg پلیمرها در نواحی بین  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$ ، با توجه به نوع رزین، مشاهده می شود که ماکسیمم پیک Tg مربوط به رزین EPN6 با عاملیت ۳/۳ می باشد. بدین ترتیب، بین قابلیت کامل شدن پخت و جرم مولکولی رزین رابطه بهینه ای به وجود آمده است.

تعیین خواص مکانیکی رزینهای اپوکسی - نووالاک برای این کار و نیز تعیین چگونگی تغییرات خواص با جرم مولکولی، نمونه ها مطابق با استانداردهای ASTM D638 و ASTM D256 تهیه شدند و آزمونهای کشش و مقاومت در برابر ضربه روی آنها انجام پذیرفت.

برای تعیین سختی رزینهای پخت شده و با توجه به بالا بودن سختی آنها براساس استاندارد ASTM D589 از سختی سنج Rockwell-M ویژه پلیمرهای سخت استفاده شد.

### نتایج

در این بخش تهیه رزینهای فنولی - نووالاک و رزینهای اپوکسی - نووالاک و همچنین خواص مکانیکی آنها مورد بحث قرار می گیرند.

#### تهیه رزین فنولی - نووالاک

در شکل ۱ تغییرات غلظت فرمالدهید به صورت تابعی از زمان در نسبت مولی فرمالدهید به فنول (F/P) معادل ۰/۵ ارائه شده است. از این منحنی برای تخمین زمان پایان واکنش تراکمی تولید رزین فنولی - نووالاک (PN) استفاده می شود.

در شکل ۲ تغییرات زمان پایان واکنش در نسبتهای مولی

کلروهیدرین و ایزوپروپانول در نسبتی معین حل شده، سپس به محلول آب اضافه می شود. آن گاه، با استفاده از حمام آب گرم دمای مخلوط به  $70^{\circ}\text{C}$  می رسد و در این دما همزن در دور زیاد کار می کند.

محلول سود ۲۰٪ به گونه ای به سیستم اضافه می شود که در مدت ۴۵ دقیقه ۷۵٪ آن وارد مخلوط واکنش گردد. کنترل سرعت افزایش محلول سود در ابتدای واکنش بسیار مهم است، زیرا زیاد بودن مقدار سود در ابتدای واکنش موجب کاهش میزان استخلاف و نیز تیره شدن شدید رنگ سیستم و رنگی شدن رزین حاصل می شود. پس از پایان ورود بخشی از سود به مدت ۱۵ دقیقه واکنش ادامه می یابد، سپس، مخلوط سرد شده و فاز آبی آن جدا می شود و فاز آلی دوباره به شرایط قبلی واکنش بازگردانده شده و بقیه محلول سود در مدت ۳۰ دقیقه به آن اضافه می شود و دوباره به مدت ۱۵ دقیقه واکنش ادامه می یابد. آن گاه، مخلوط واکنش سرد می شود و با صاف کردن و شستشوی بعدی، نمک آن جدا می گردد. در پایان توسط سیستم خلاء آب، اپی کلرو هیدرین اضافی و ایزوپروپانول از رزین جدا می شود. در جدول ۲ شرایط واکنش درج شده است.

جدول ۲ - شرایط واکنش اپوکسید دار شدن با روش حلال.

نسبت وزنی اپی کلروهیدرین به رزین فنولی - نووالاک	۴/۵
نسبت وزنی ایزوپروپانول به اپی کلروهیدرین	۰/۵۲۴
درصد آب نسبت به اپی کلروهیدرین	۸/۵٪
نسبت وزنی سود به رزین فنولی - نووالاک	۰/۴۴۳
غلظت محلول سود	۲۰٪
دمای واکنش	$70^{\circ}\text{C}$
زمان مرحله اول واکنش	۶۰min
زمان مرحله دوم واکنش	۴۵min

#### پخت رزینهای اپوکسی - نووالاک

به دلیل اهمیت کاربرد رزینهای اپوکسی - نووالاک در دماهای بالا و نیز به علت شکل دهی آسان آن، خواص رزین حاصل از پخت توسط متافیلین دی آمین، که خواص گرمایی خوبی در آن ایجاد می کند، نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

متافیلین دی آمین به فرمول زیر و به شکل جامدی بلوری و بی رنگ است که نقطه ذوب آن  $62^{\circ}\text{C}$  و وزن مولکولی آن  $108\text{g}$  می باشد. با توجه به وجود چهار هیدروژن فعال در هر مولکول، وزن معادل آن با گروههای اپوکسی ۲۷ می باشد. اگر این ماده تا  $80^{\circ}\text{C}$  گرم

از روش مارک - هاوکیتز - کورادا با داده‌های حاصل از مرجع ۷ توافق خوبی دارد. این نتایج با کار برترام و همکارانش [۵] نیز مطابقت می‌کند. در جدول ۳ وزن مولکولی رزین که در نسبت‌های مختلف F/P و با استفاده از روش‌های گرانروی سنجی محلول رقیق و GPC و نیز مقادیر موجود در مراجع ۵ و ۷ اندازه‌گیری شده آمده است. اشاره می‌شود که مقادیر موجود در مرجع ۵ با GPC اندازه‌گیری شده است. تفاوت بین مقادیر وزن مولکولی با استفاده از روش گرانروی سنجی محلول رقیق و مقادیر گزارش شده در مرجع ۷ ناشی از شرایط واکنش و نوع کاتالیزور است. در شکل ۳ تغییرات وزن مولکولی رزین فنولی - نووالاک به صورت تابعی از نسبت مولی F/P آورده شده است. مشهود است که با افزایش F/P، وزن مولکولی متوسط عددی زیاد می‌شود.

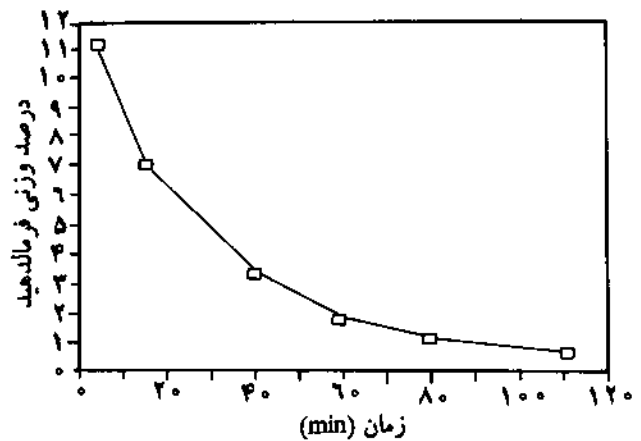
در جدول ۴ نقطه ذوب و عاملیت رزین‌های فنولی - نووالاک با توجه به وزن مولکولی عددی آنها آمده است. در این جدول PN نشانه رزین فنولی - نووالاک و عدد کنار آن ده برابر نسبت مولی F/P است.

#### تهیه رزین‌های اپوکسی - نووالاک

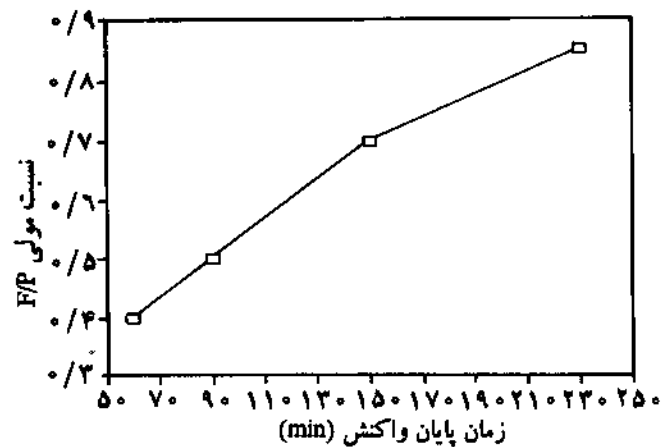
در جدول ۵ مشخصات عاملیت و اکی والان اپوکسی رزین‌های اپوکسی - نووالاک ارائه شده است. در این جدول EPN نشانه رزین اپوکسی - نووالاک است و عدد کنار آن ده برابر نسبت مولی F/P در ساخت رزین نووالاک می‌باشد. درصد کلر آزاد طبق روش گزارش شده در مرجع ۱ اندازه‌گیری شده و مقدار آن در نمونه‌ها در حد قابل قبول ۰/۱۵٪ بوده است.

#### خواص مکانیکی رزین‌های اپوکسی - نووالاک

در شکل ۴ تغییرات استحکام کششی رزین‌های اپوکسی - نووالاک (EPN) به صورت تابعی از F/P آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش F/P اولیه (یعنی افزایش وزن مولکولی و عاملیت رزین) مقاومت کششی در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بالاترین



شکل ۱ - تغییرات درصد وزنی فرمالدهید بر حسب زمان واکنش.



شکل ۲ - تغییرات زمان پایان واکنش در نسبت‌های مولی مختلف F/P.

مختلف F/P ارائه شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود با افزایش F/P، زمان پایان واکنش نیز افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از محاسبه وزن مولکولی در این تحقیق با استفاده

جدول ۳ - وزن مولکولی رزین‌های فنولی - نووالاک در نسبت‌های مولی متفاوت F/P

وزن مولکولی متوسط عددی ( $M_n$ )			
F/P*	مرجع ۵	روش GPC	مرجع ۷ روش گرانروی سنجی محلول رقیق
۰/۴	۵۸۲	۵۱۰	۲۶۰
۰/۵	-	-	۲۲۰
۰/۶	۷۰۰	۶۵۰	۳۷۰

\* در F/P معادل ۰/۷ و ۰/۸۵ مقادیر به دست آمده توسط روش گرانروی سنجی محلول رقیق معادل ۴۸۰ و ۷۲۰ اندازه‌گیری شده که در مراجع بالا اشاره‌ای به آنها نشده است.

جدول ۴ - نقطه ذوب و عاملیت رزینهای فنولی - نووالاک در وزنهای مولکولی مختلف.

وزن مولکولی متوسط عددی (M <sub>n</sub> )	عاملیت*	نقطه ذوب (°C)	رزین فنولی - نووالاک (PN)
۲۶۰	۲/۵	۳۷-۴۰	PN4
۳۲۰	۳/۱	۴۲-۴۵	PN5
۳۷۰	۳/۶	۴۷-۵۰	PN6
۴۸۰	۴/۶	۵۲-۵۵	PN7
۷۲۰	۶/۹	۸۷±۲	PN85
۷۵۰	۷/۲	۸۵±۲	**INPN
-	-	۷۲-۷۵	***IMP6

\* ارقام بالا با تقریب اندکی براساس وزن مولکولی محاسبه شده‌اند.

\*\* رزین نووالاک صنعتی.

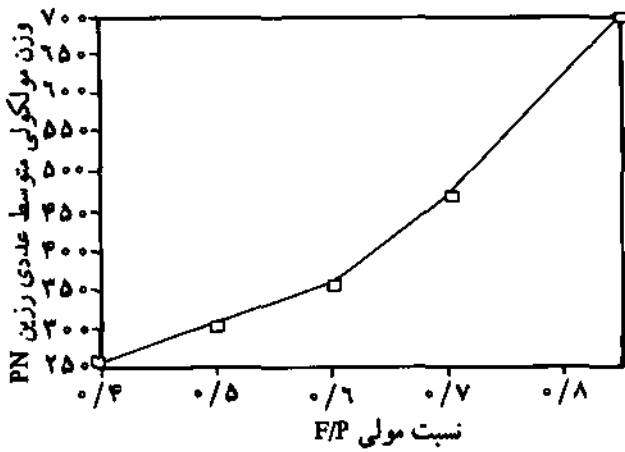
\*\*\* رزین PN6 چندین بار با آب جوش شسته شده و زنجیرهای کوتاه آن جدا شده‌است.

جدول ۵ - مشخصات، عاملیت واکسی والان اپوکسی رزینهای اپوکسی - نووالاک تولید شده با روش حلال.

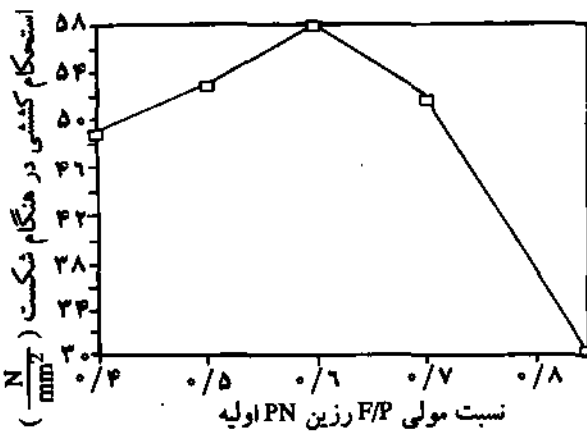
نوع رزین اپوکسی - نووالاک	عاملیت	اکسی والان اپوکسی*
EPN4	۲/۳	۱۸۰
EPN5	۲/۹	۱۸۰
EPN6	۳/۳	۱۸۲
IMEN6	۴/۳	۱۸۵
EPN7	۴/۲	۱۸۵
EPN85	۵/۸	۱۹۵
INEPN	۶/۴	۱۹۵

\* اکسی والان اپوکسی با روش پتاسیم پدید اندازه گیری شده است [۲].

استحکام کششی و خواص دیگر رزین چون ازدیاد طول، مقاومت در برابر ضربه و TG پلیمر در F/P معادل ۰/۶ می‌باشد. در این شرایط وزن مولکولی رزین ۳۷۰ و عاملیت آن برابر ۳/۳ است. علت بهینه شدن خواص این است که با افزایش وزن مولکولی رزین و عاملیت آن، طول زنجیرهای رزین افزایش می‌یابد و از شکننده شدن آن می‌کاهد و در ضمن تعداد پیوندهای عرضی در رزین افزایش پیدا می‌کند که بدین ترتیب خواص رزین پخت شده بهتر می‌شود. با افزایش وزن مولکولی رزین، گرانروی نیز زیاد می‌شود [۶]. با رسیدن گرانروی به یک مقدار



شکل ۳ - تغییرات وزن مولکولی رزین PN بر حسب نسبت مولی F/P

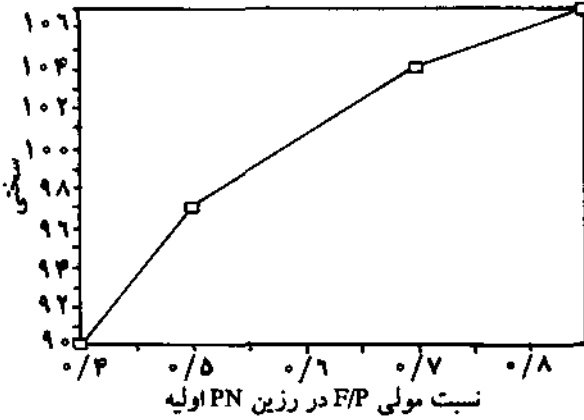


شکل ۴ - تغییرات مقاومت کششی رزین EPN بر حسب نسبت مولی F/P در رزین PN اولیه.

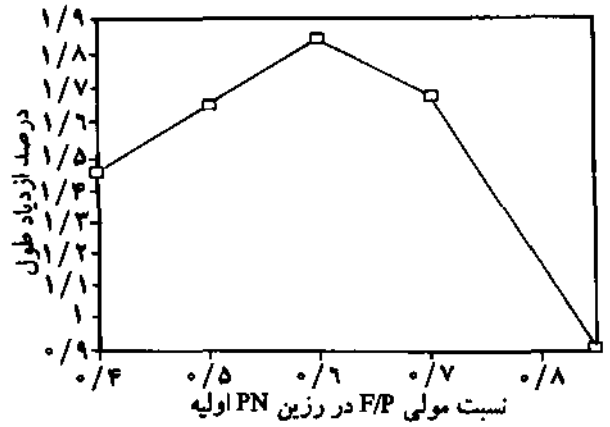
حد در ابتدای واکنش پخت، ژل ایجاد می‌شود و پخت رزین تکمیل نمی‌شود که در نتیجه خواص بعد از پخت در رزین افت می‌کند. وجود چنین حالتی در مرجع ۱ نیز گزارش شده است. در شکل ۵ تغییرات ازدیاد طول رزینهای اپوکسی - نووالاک به صورت تابعی از نسبت مولی F/P آورده شده است. در اینجا نیز مشاهده می‌شود که حداکثر افزایش طول زنجیر مربوط به نسبت مولی F/P معادل ۰/۶ است.

چون مقاومت در برابر ضربه بعضی نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ in شکاف /lb.ft بود، روی نمونه‌ها به صورت بدون شکاف و براساس استاندارد ASTM256 آزمون ضربه انجام شد و با توجه به اینکه هدف، مقایسه نمونه‌ها بود، تمام آنها به صورت بدون شکاف مورد آزمایش قرار گرفتند. نمودار مربوط به این آزمون در شکل ۶ ارائه شده است. در اینجا نیز در F/P معادل ۰/۶ حداکثر مقاومت دیده می‌شود، که

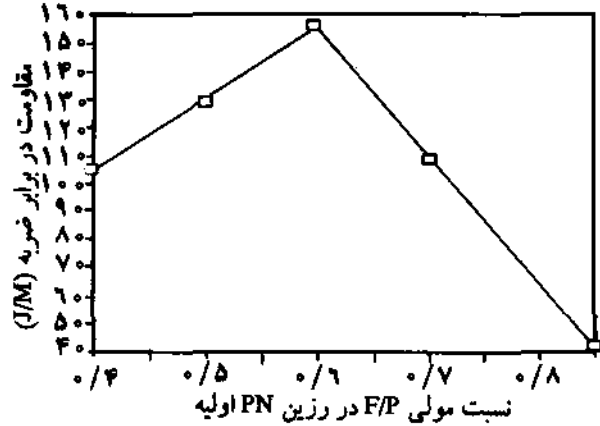
افزایش پیدا می‌کند. در مرحله اپوکسیددار شدن با اپی کلروهیدرین مشاهده شد که با افزایش اکسی والان اپوکسی، عاملیت رزین اپوکسی - نووالاک تولیدی بالا می‌رود. در آزمایشهای بعدی رزین حاصل پخت شده و خواص مکانیکی آن اندازه گیری شد. با مقایسه نتایج حاصل



شکل ۵ - ازدیاد طول رزین EPN بر حسب نسبت مولی F/P و رزین PN اولیه.



شکل ۶ - مقاومت در برابر ضربه رزین EPN بر حسب نسبت مولی F/P و رزین PN اولیه.



شکل ۷ - سختی رزین EPN بر حسب نسبت مولی F/P رزین اولیه.

معلوم شد که در F/P معادل 0.6، نمونه‌ها دارای حداکثر مقاومت کششی، ازدیاد طول و مقاومت در برابر ضربه‌اند و نیز مشاهده شد که با افزایش وزن مولکولی رزین اپوکسی - نووالاک، سختی نیز افزایش پیدا می‌کند.

مراجع

- 1 Lee H. and Neville K., *Hand Book of Epoxy Resin*, 1967.
- 2 *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 6, 1985.
- 3 Knop A. and Scheib W.; *Phenolic Resin Chemistry, Applications and Performance*; 1985.
- 4 *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 11, 1985.
- 5 Bertram J.L. and Waker L.L., US Pat. 4649188, 1986.
- 6 Jones T.T., *Appl.Chem.*, 2, 134-149, March 1952.
- 7 SRI, 38, Stanford Research Institute.
- 8 SRI, 39, Stanford Research Institute.
- 9 US Pat.4485221, 1986.
- 10 Rewp P., *Polymer Synthesis II*, 79, 1982.

شکل ۷ - سختی رزین EPN بر حسب نسبت مولی F/P و رزین PN اولیه.

تأییدی بر نتایج حاصل از مقاومت کششی و ازدیاد طول است. نتایج حاصل از آزمون سختی نیز در شکل ۷ آورده شده است. در اینجا، با افزایش وزن مولکولی سختی افزایش پیدا می‌کند.

نتیجه گیری

در این تحقیق برای تهیه رزین اپوکسی - نووالاک، ابتدا رزین فنولی - نووالاک تهیه و سپس اپوکسید دار شد. در مستر رزین فنولی - نووالاک معلوم شد که با افزایش نسبت مولی فرمالدهید به فنول (F/P) وزن مولکولی متوسط عددی و در پی آن عاملیت رزین فنولی - نووالاک