

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی  
گرایش شیمی پلیمر

عنوان:

**اصلاح رفتار رزین اپوکسی با افزایش نرم کننده و شتاب دهنده**

منابع پایه اس پژوهش

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
	<b>فصل اول: مقدمه</b>
۱-۱	مقدمه
۲-۱	بیان مسأله
۳-۱	ضرورت انجام تحقیق
۴-۱	اهداف تحقیق
۵-۱	فرضیه های تحقیق
	<b>فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده</b>
۱-۲	مقدمه
۲-۲	رزین اپوکسی
۳-۲	تاریخچه
۴-۲	ساخت رزین اپوکسی
۵-۲	سخت شدن
۱-۵-۲	فرایند پخت با آمین
۲-۵-۲	فرایند پخت با انیدرید
۳-۵-۲	عوامل پخت فنولی
۴-۵-۲	عوامل پخت گوگردار
۶-۲	شتاب دهنده ها
۷-۲	نرم کننده ها
۸-۲	خواص رزین های اپوکسی
۹-۲	کاربرد رزین اپوکسی
	<b>فصل سوم: مواد و روش ها</b>
۱-۳	مقدمه
۲-۳	مواد
۳-۳	روش کار

۱۴	۱-۳-۳ مشاهدات
۱۴	۴-۳ دستگاه‌های مورد استفاده
۱۴	۱-۴-۳ گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)
۱۵	۲-۴-۳ آنالیزگر حرارتی (TGA)
۱۵	۳-۴-۳ دستگاه اندازه گیری مدول فشاری

#### فصل چهارم: نتایج و بحث

۱۶	۱-۴ مقدمه
۱۶	۱-۴-۱ اثر نرم‌کننده بر دمای تبدیل شیشه‌ای
۱۸	۲-۴-۱ اثر نرم‌کننده بر دمای تخریب
۲۳	۳-۴-۱ درصد مواد فرار
۲۵	۴-۴-۱ آزمون فرورفتگی سوزن
۲۵	۵-۴-۱ اثر نرم‌کننده بر مدول فشاری
۲۶	۶-۴-۱ مقاومت شیمیایی در حلال
۲۸	۷-۲-۴ نفوذپذیری آب

#### فصل پنجم: نتیجه گیری

۳۰	۱-۵ مقدمه
۳۰	۱-۵-۱ اثر دما
۳۰	۲-۵-۱ تأثیر نرم‌کننده و اپوکسی‌ها بر $T_g$
۳۱	۳-۵-۱ دمای تخریب
۳۱	۴-۵-۱ درصد ماده فرار
۳۱	۵-۵-۱ تأثیر نرم‌کننده بر مدول فشاری
۳۱	۶-۵-۱ نفوذپذیری نسبت به آب
۳۱	۷-۵-۱ مقاومت شیمیایی
۳۲	۸-۵-۱ میزان شتاب‌دهنده
۳۲	۹-۵-۱ نوع رزین
۳۲	۲-۵ توجیه رفتار انیدرید
۳۳	فهرست منابع
۳۳	منابع فارسی

۳۴	.....	فهرست منابع انگلیسی
۳۷	.....	پیوست الف
۴۰	.....	چکیده انگلیسی

منابع پارسا پژوهش

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۳	جدول (۱-۳) مشخصات نمونه‌های تهیه شده
۱۷	جدول (۲-۴) نتایج دمای تبدیل شیشه‌ای نمونه‌های مورد آزمایش
۱۹	جدول (۳-۴) دمای تخریب نمونه‌های مورد آزمایش
۲۴	جدول (۴-۴) درصد ماده فرار نمونه‌های مورد آزمایش
۲۵	جدول (۵-۴) میزان مدول فشاری نمونه‌های مورد آزمایش
۲۷	جدول (۶-۴) میزان تورم در حلال استن نمونه‌های مورد آزمایش
۲۸	جدول (۷-۴) میزان نفوذپذیری آب نمونه‌های مورد آزمایش

## فهرست علامتها و اختصارها

علامت اختصاری	معادل انگلیسی	معادل فارسی
BDMA	Benzyldimethyleamine	بنزیل دی متیل آمین
DOP	Dyoothylphthalate	دی اکتیل فتالات
DSC	Diffractional Scanning Calorimetry	گرماسنجی روبشی تفاضلی
phr	part per hundred resin	قسمت در صد قسمت رزین
TGA	Thermogravimetry Analysis	گرماسنجی
T <sub>g</sub>	Glass transition temperature	دمای تبدیل شیشه‌ای

## فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۱۷	نمودار (۱-۴) نمودار $T_g$ نمونه (الف).....
۱۸	نمودار (۲-۴) مقایسه $T_g$ نمونه‌های مورد آزمایش.....
۱۹	نمودار (۳-۴) مقایسه دمای تخریب نمونه‌های مورد آزمایش.....
۲۰	نمودار (۴-۴) نمودار دمای تخریب نمونه (الف).....
۲۱	نمودار (۵-۴) نمودار دمای تخریب نمونه (ب).....
۲۲	نمودار (۶-۴) نمودار دمای تخریب نمونه (ج).....
۲۳	نمودار (۷-۴) نمودار دمای تخریب نمونه (د).....
۲۴	نمودار (۸-۴) مقایسه درصد ماده فرار نمونه‌های مورد آزمایش.....
۲۶	نمودار (۹-۴) مقایسه نمونه‌های مورد آزمایش از نظر مدول فشاری.....
۲۷	نمودار (۴-۱۰) مقایسه اثر نرم‌کننده و نوع اپوکسی بر میزان تورم در استن نمونه‌های مورد آزمایش.....
۲۹	نمودار (۴-۱۱) مقایسه نمونه‌های آزمایش شده نسبت به نفوذ آب.....
۳۷	نمودار (الف-۱) نمودار $T_g$ نمونه (ب).....
۳۷	نمودار (الف-۲) نمودار $T_g$ نمونه (ج).....
۳۸	نمودار (الف-۳) نمودار $T_g$ نمونه (د).....
۳۸	نمودار (الف-۴) نمودار $T_g$ نمونه (ه).....
۳۹	نمودار (الف-۵) نمودار $T_g$ نمونه (و).....

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۶	شکل (۱-۲) واکنش تهیه رزین اپوکسی از بیس فنول A و اپی کلروهیدرین.....
۷	شکل (۲-۲) واکنش پخت رزین اپوکسی با آمین.....
۸	شکل (۳-۲) پخت اپوکسی و انیدرید.....
۹	شکل (۴-۲) واکنش اپوکسی با فنول‌ها.....
۹	شکل (۵-۲) واکنش عامل گوگرددار و اپوکسی.....



فهرست رابطه‌ها

صفحه	عنوان
۲۴	رابطه (۱-۴) درصد ماده فرار.....
۲۵	رابطه (۲-۴) مدول الاستیسیته.....
۲۶	رابطه (۳-۴) درصد تورم در حلال.....
۲۸	رابطه (۴-۴) درصد نفوذپذیری آب.....

منابع پارس پژوهش

## چکیده

رزین‌های اپوکسی که از گروه پلی‌مرهای گرماسخت هستند، دارای خواصی مانند پایداری حرارتی بالا، چسبندگی خوب، مقاومت شیمیایی زیاد، سادگی قالب‌گیری و مقاومت به رطوبت می‌باشند. این رزین‌ها به عنوان چسب، پوشش‌ها، رنگ و ابزارآلات پلی‌مری کاربرد دارند. متداول‌ترین رزین اپوکسی از واکنش بیس‌فنول A و اپی‌کلروهیدرین در حضور باز تهیه می‌شود که به وسیله عوامل پختی مانند آمین‌ها، انیدریدها، فنول‌ها و تیول‌ها سخت می‌شوند. رزین‌های اپوکسی سخت و شکننده‌اند. این طرح به منظور اصلاح رفتار رزین اپوکسی با استفاده از نرم‌کننده و شتاب‌دهنده انجام شده است. با استفاده از دو نوع رزین، دو نوع عامل پخت، یک شتاب‌دهنده آمینی و یک نرم‌کننده نمونه‌هایی تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از عامل پخت انیدریدی موفقیت‌آمیز نبود. نمونه‌های مورد آزمایش:

نمونه (الف) اپوکسی EPOLAM 2040 RESIN و عامل پخت آمینی EPOLAM 2047 با شتاب‌دهنده،

نمونه (ب) اپوکسی ۸۲۸ و عامل پخت آمینی EPOLAM 2047 و شتاب‌دهنده،

نمونه (ج) اپوکسی EPOLAM 2040 و عامل پخت آمینی EPOLAM 2047 همراه نرم‌کننده دی‌اکتیل فتالات و شتاب‌دهنده،

نمونه (د) مخلوط دو اپوکسی 828 و EPOLAM 2040 عامل پخت آمینی EPOLAM 2047 و نرم‌کننده دی‌اکتیل فتالات همراه شتاب‌دهنده.

آزمایش  $T_g$  با استفاده از دستگاه DSC روی نمونه‌ها نشان داد که نمونه‌های دارای نرم‌کننده دارای دمای تبدیل شیشه‌ای پایین بودند (بدون نرم‌کننده (الف)  $78/7^\circ\text{C}$  و (ب)  $89/0^\circ\text{C}$  با نرم‌کننده هر دو  $55/5^\circ\text{C}$ ). آزمایش درصد ماده فرار در دمای  $105^\circ\text{C}$  و به مدت سه ساعت برای نمونه‌های (الف)  $0/10\%$  و (ب)  $0/11\%$  و برای نمونه‌های دارای نرم‌کننده، (ج)  $0/10\%$  و (د)  $0/18\%$  را نشان داد. دمای تخریب با دستگاه TGA در شرایط  $50-700^\circ\text{C}$  و تغییرات دمایی به ازای هر  $10^\circ\text{C}$  بود که برای نمونه بدون نرم‌کننده (الف)  $350^\circ\text{C}$  و (ب)  $373^\circ\text{C}$  و برای نمونه‌های با نرم‌کننده (ب) و (ج) به ترتیب  $345^\circ\text{C}$  و  $365^\circ\text{C}$  بود. درصد تورم در حلال استن برای اپوکسی بدون نرم‌کننده (الف)  $24/3\%$  و (ب)  $17/5\%$  و با نرم‌کننده (ج)  $37/5\%$  و (د)  $38/1\%$  شد. درصد جذب آب در نمونه‌های با نرم‌کننده (الف) و (ب) به ترتیب  $0/22\%$  و  $0/16\%$  و نمونه‌های بدون نرم‌کننده (ج)  $0/13\%$  و (د)  $0/17\%$  شد.

کلمات کلیدی: رزین اپوکسی، عامل پخت، شتاب‌دهنده، نرم‌کننده، دمای تبدیل شیشه‌ای، دمای تخریب

## فصل اول: مقدمه

منابع پارس پیروژه

## ۱-۱ مقدمه

رزین‌های اپوکسی مانند هر پلی‌مر دیگری تحت شرایط تولید، افزودنی‌ها و دما قرار می‌گیرند و این عوامل روی خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اثرگذار است. با توجه به گسترش استفاده از این نوع رزین‌ها تلاش می‌شود که خواص آن‌ها بسته به نوع کاربردها حفظ شده و یا بهبود یابد.

## ۲-۱ بیان مسأله

رزین‌های اپوکسی<sup>۱</sup> پلی‌مرهایی گرماسخت<sup>۲</sup> هستند که کاربرد وسیعی در رنگ، چسب<sup>۳</sup>، پوشش‌ها، ایمپلنت-های پزشکی<sup>۴</sup>، صنایع الکتریکی و ابزارآلات پلی‌مری دارند (اودگارد<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳). این رزین‌ها از دو پایه مختلف؛ رزین اپوکسی و عامل پخت<sup>۶</sup> تشکیل شده‌اند. عامل پخت از نوع آمین‌ها<sup>۷</sup>، انیدریدها<sup>۸</sup> و یا تیول‌ها می‌تواند باشد. هنگامی که رزین اپوکسی سخت می‌شود ساختار شبکه‌ای سه بعدی پیدا می‌کند که پلی-مرهای حاصل دارای پایداری گرمایی<sup>۹</sup> خوب و مدول<sup>۱۰</sup> نسبتاً بالا و چسبندگی عالی هستند (کینلوچ و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۴؛ چن و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۳؛ بن صالح و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۴؛ ممانی و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۱۳۹۱).

ساختار شبکه‌ای بالا باعث می‌شود که رزین سخت و شکننده و دارای مقاومت ضربه‌پذیری پایینی باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۳). هدف از انجام این طرح انتخاب مواد مناسب برای تقویت نرمی رزین با حفظ حداقل خواص و دستیابی به شرایط پخت مناسب می‌باشد.

<sup>1</sup> Epoxy Resin

<sup>2</sup> thermosetting

<sup>3</sup> adhesive

<sup>4</sup> coating

<sup>5</sup> Medical implants

<sup>6</sup> Odegard

<sup>7</sup> hardener

<sup>8</sup> Amine

<sup>9</sup> Anhydrides

<sup>10</sup> Thiol

<sup>11</sup> Thermal stability

<sup>12</sup> Modules

<sup>13</sup> Kinloch et al

<sup>14</sup> Chen et al

<sup>15</sup> Ben Saleh et al

<sup>16</sup> Memany et al

0

1

2

3

4

5

6

### ۳-۱ ضرورت انجام تحقیق

دامنه کاربرد رزین اپوکسی وسیع می‌باشد که بنا به نوع کاربرد و شرایط پخت آن، اصلاح می‌گردد، این طرح به دلیل اینکه شرایط پخت همراه با نرم‌کننده<sup>۱</sup> را بررسی می‌کند، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

### ۴-۱ اهداف تحقیق

مسأله مورد بحث، سختی و شکنندگی رزین اپوکسی پخت شده می‌باشد که هدف از این تحقیق اصلاح رفتار و دستیابی به حالت تقریباً بهینه و مناسب از رزین همراه نرم‌کننده و سیستم پخت برای رسیدن به رزین اصلاح شده است.

### ۵-۱ فرضیه های تحقیق

برای انجام این پروژه روش‌های مورد نظر به صورت زیر مطرح می‌گردد:

الف- تدارک رزین اپوکسی مناسب،

ب- فرمولاسیون سیستم پخت،

ج- انتخاب عوامل پخت متفاوت و بررسی خواص ناشی از استفاده از آن،

د- دستیابی به سیستم پخت مناسب در حضور نرم‌کننده.

---

<sup>۱</sup>Plasticizer

## فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده

منابع پارس پژوهش

## ۱-۲ مقدمه

اصطلاح «رزین» از موادی که به طور طبیعی و در بیشتر موارد، از گیاهان به دست می‌آیند، گرفته شده است. در صورتی که محلول‌های این مواد در حلال‌های آلی، در هوا خشک شوند، به پوشش‌های محافظ و سختی تبدیل می‌گردند. کاربردی‌ترین رزین طبیعی، رزین (یا کلوفان) است. بعدها، هر ماده‌ی سنتزی که مکمل یا جایگزین این فراورده‌های طبیعی شد، «رزین» نام گرفت (ظهوریان‌مهر،<sup>۱</sup> ۱۳۷۶).

امروزه رزین به تعدادی از انواع پلی‌مرها، شامل محصولات تراکمی فنول-فرمالدئید<sup>۲</sup> و رزین‌های اپوکسی، پلی‌مرهای وینیلی مانند پلی‌استیرن<sup>۳</sup> و پلی‌متیل‌متاکریلات<sup>۴</sup>؛ و پلی‌مرهای تراکمی طبقه‌ی پلی‌آمید<sup>۵</sup> یا پلی‌استر<sup>۶</sup> و ... گفته می‌شود. بیشترین اصطلاح رزین به پلی‌مرهای خطی یا شبکه‌ای (یا قابل شبکه‌ای شدن) که برای عملیات قالب‌گیری، ریخته‌گری یا روزن‌رانی و در پوشش‌های سطوح استفاده می‌شوند ارتباط دارد. رزین‌ها پلی‌مرهایی و به عبارتی کوپلی‌مرهایی با وزن مولکولی بالا هستند که در درون زنجیره خود گروه‌های فعالی دارند. بیشتر این پلی‌مرها در دمای محیط، مایع با گرانش بالا و ظاهر عسل مانند، شفاف با رنگ زرد روشن تا مایل به قهوه‌ای هستند و یا به صورت پولک و دانه‌های جامدی هستند که برحسب نیاز در حلال مناسب حل می‌شوند (ظهوریان‌مهر و همکاران، مترجم، ۱۳۷۶).

## ۲-۲ رزین اپوکسی

اصطلاح اپوکسی به گروه شیمیایی اطلاق می‌شود که در آن یک اتم اکسیژن با دو اتم کربن دیگر که به نوعی به هم پیوند خورده‌اند، متصل می‌باشند. ساده‌ترین اپوکسی دارای یک ساختمان حلقوی سه عضوی بوده که اصطلاحاً به آن "۲و۱ اپوکسی" یا "آلفا اپوکسی" گفته می‌شود (دادیوک و گودمن،<sup>۸</sup> ۲۰۱۳؛ راتنا،<sup>۹</sup> ۲۰۱۰).

<sup>1</sup> Zohoorian mehr et al

<sup>2</sup> Phenol-formaldehyde

<sup>3</sup> Poly styrene

<sup>4</sup> Poly methyl metacrilat

<sup>5</sup> Poly amid

<sup>6</sup> Poly ester

<sup>7</sup> Copolymer

<sup>8</sup> Dodiuk & Goodman

<sup>9</sup> Ratna

## ۳-۲ تاریخچه

ترکیبات دارای رزین اپوکسی از اواخر قرن نوزده (در سال ۱۸۹۱) توسعه پیدا کردند (لی<sup>۱</sup>، ۱۹۶۷). در اواخر دهه ۱۹۳۰ دو محقق به طور جداگانه از ترکیب اپی کلروهیدرین<sup>۲</sup> و بیس فنول<sup>۳</sup> A رزین اپوکسی را ساختند که اولین رزین اپوکسی در دسترس شد. در ۱۹۳۶ دکتر پیر کاستان<sup>۴</sup> که در یک شرکت در زوریخ<sup>۵</sup> آلمان مشغول کار بود رزین اپوکسی را توسعه داد، این رزین گرماسخت از واکنش با یک انیدرید بدست آمد. در ۱۹۵۵ شرکت شل<sup>۶</sup> آمریکایی یک اداکت آمین-اپوکسی به عنوان عامل پخت تولید نمود. در ۱۹۵۸ اولین پوشش‌های صنعتی برای صنعت نقاشی به صورت رزین‌های جامد تهیه شدند (می<sup>۷</sup>، ۱۹۸۷).

در دهه ۱۹۸۰ افزایش ملزومات در صنایع کامپوزیت برای کاربردهای هوا فضا و دفاعی، رزین‌های اپوکسی چند عاملی با کارایی بالا بر پایه ساختارهای فنولی و آمینی کمپلکس گسترش یافت. در همین دهه رزین‌های اپوکسی با کارایی بالاتر برای استفاده در صنایع الکترونیک و رایانه تولید شد، در دهه‌ی ۱۹۹۰ رزین‌های اپوکسی-آکریلات پخت شونده با تابش، رشد یافتند، رزین‌های مقاوم به نور و چاپ در صنایع الکترونیک از این دسته می‌باشند (خلینا<sup>۸</sup>، ۱۳۹۲). تولید رزین اپوکسی به علت کاربردهای فراوانی که پیدا کرده هم‌چنان رو به گسترش است (دادیپوک و گودمن، ۲۰۱۳).

## ۴-۲ ساخت رزین اپوکسی

متداول‌ترین راه تهیه رزین‌های اپوکسی تراکم یک ترکیب پلی‌هیدروکسی در حضور یک باز است. معمولاً یک بیس فنول (مانند بیس فنول A) است که در بیشتر موارد با اپی کلروهیدرین، محصول واسطه‌ای با وزن مولکولی پایین می‌دهد که در شکل (۱-۲) آورده شده است. این واسطه یک پلی‌مر خطی، دارای گروه‌های اپوکسید انتهایی و هیدروکسیل‌های میانی است. در این واکنش، اپی کلروهیدرین اضافی باعث می‌شود که انتهای زنجیرها به گروه‌های اپوکسی ختم شوند (ظهوریان‌مهر و همکاران، مترجم، ۱۳۷۶).

<sup>1</sup> Lee

<sup>2</sup> Epyclorohidryn

<sup>3</sup> Bisphenol A

<sup>4</sup> Dr. Pierre Castan

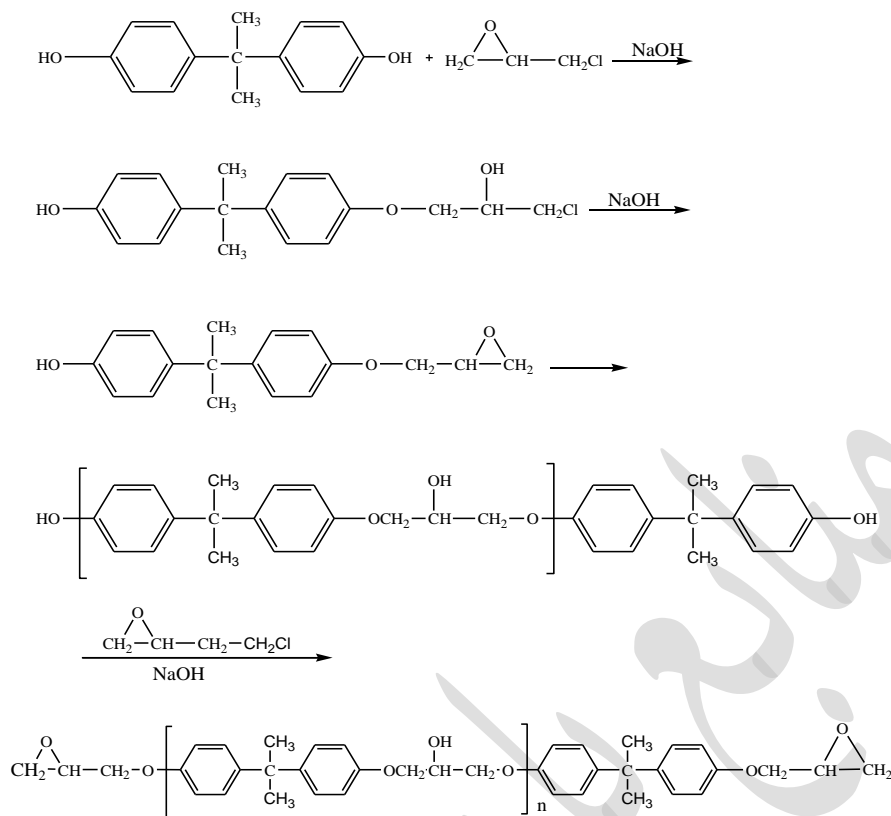
<sup>5</sup> Zurich

<sup>6</sup> Shell

<sup>7</sup> May

<sup>8</sup> Khalina





شکل (۱-۲) واکنش تهیه رزین اپوکسی از بیس فنول A و اپی کلروهیدرین (گریمسلی و همکاران؛ ۲۰۰۲؛ یانگ<sup>۱</sup>؛ ۱۹۹۸).

رزین واسطه (۱) مایع یا جامدی با نقطه ذوب بالا (تقریباً °C ۱۵۰) می باشد.

## ۵-۲ سخت شدن

عملیات پخت یا سخت شدن، یک واکنش شیمیایی است که پیوندهای عرضی ایجاد می گردد (رضایی<sup>۲</sup>، ۱۳۹۰). رزین های اپوکسی در اثر پخت شدن با عوامل شبکه ای کننده به شبکه های گرماسخت سه بعدی جامد، غیرقابل ذوب و انحلال ناپذیر تبدیل می شوند (ساکتمانیان و بهزادی<sup>۳</sup>؛ ۱۳۸۵). باز شدن حلقه ای اپوکسید انتهایی و یا استری شدن هیدروکسیل های زنجیر باعث شبکه ای شدن می شود. حلقه ای اکسیران گروه های اپوکسی باز شده و اتصالات C-O خطی و بلند ایجاد می شود، به همین دلیل اپوکسی های پخت شده جمع شدگی کم و پایداری ابعادی مناسب تری دارند (ظهوریان مهر و همکاران، مترجم، ۱۳۷۶).

<sup>1</sup> Grimesley et al

<sup>2</sup> Yang

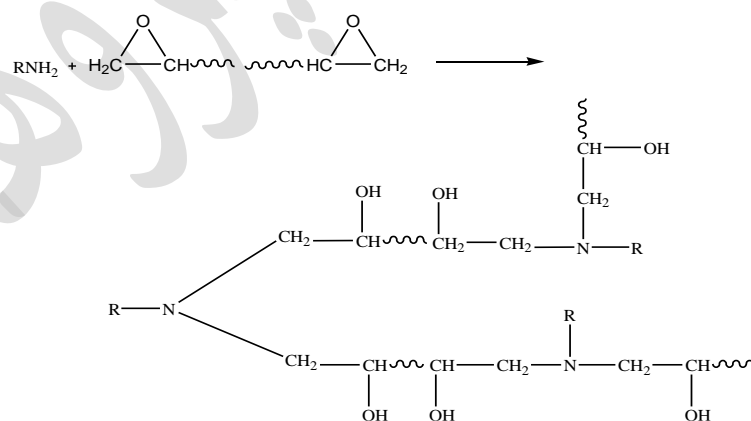
<sup>3</sup> Rezaei

<sup>4</sup> Sakhtemanian & Behzady

عوامل پخت یا کاتالیست و یا کمک واکنش هستند. عامل پخت کاتالیستی به عنوان یک شروع کننده هموپلی مرشدن رزین اپوکسی و یا به عنوان شتاب دهنده‌ی عوامل پخت دیگر عمل می‌کند، در حالی که عوامل پخت کمک واکنشی مانند یک کومونومر در فرآیند پلی مرشدن شرکت می‌کنند. در اکثر موارد پخت اپوکسی‌ها از طریق ساز و کارهای هسته‌دوستی انجام می‌شود. مهم‌ترین گروه از عوامل پخت کمک واکنشی عوامل دارای اتم‌های هیدروژن فعال مانند آمین‌های نوع اول و دوم، فنول‌ها، تیول‌ها و دی‌کربوکسیلیک-اسیدها یا انیدریدها هستند. اسیدهای لویس و آمین‌های نوع سوم نیز عوامل پخت کاتالیستی هستند (خلینا، ۱۳۹۲).

## ۲-۵-۱ فرایند پخت با آمین

رزین‌های اپوکسی با عامل پخت آمینی با مکانیسم پل‌زدن و یا کاتالیستی شبکه‌ای می‌شوند (زردان و همکاران، ۱۳۸۸). در مورد آمین‌های نوع اول یک نوع افزایش صورت می‌گیرد که سرعت واکنش‌دهی آن‌ها بیشتر از آمین‌های نوع دوم است. گروه آمین نوع اول که دارای دو اتم هیدروژن متصل به خود است با دو گروه اپوکسی واکنش داده (شکل (۲-۲))، در حالی که آمین نوع دوم تنها با یک گروه اپوکسی واکنش می‌دهد. آمین‌های نوع سوم به جای انجام یک واکنش افزایشی ساده، بیشتر به وسیله یک مکانیسم پلی مرشدن حلقه گشای کاتالیزوری بر روی گروه‌های اپوکسی عمل می‌کنند، زیرا واکنش افزایشی ساده با ترکیبات  $R_3N$  انجام پذیر نیست (ظهوری، مترجم ۱۳۸۱).



شکل (۲-۲) واکنش پخت رزین اپوکسی با آمین (یانگ، ۱۹۹۸).

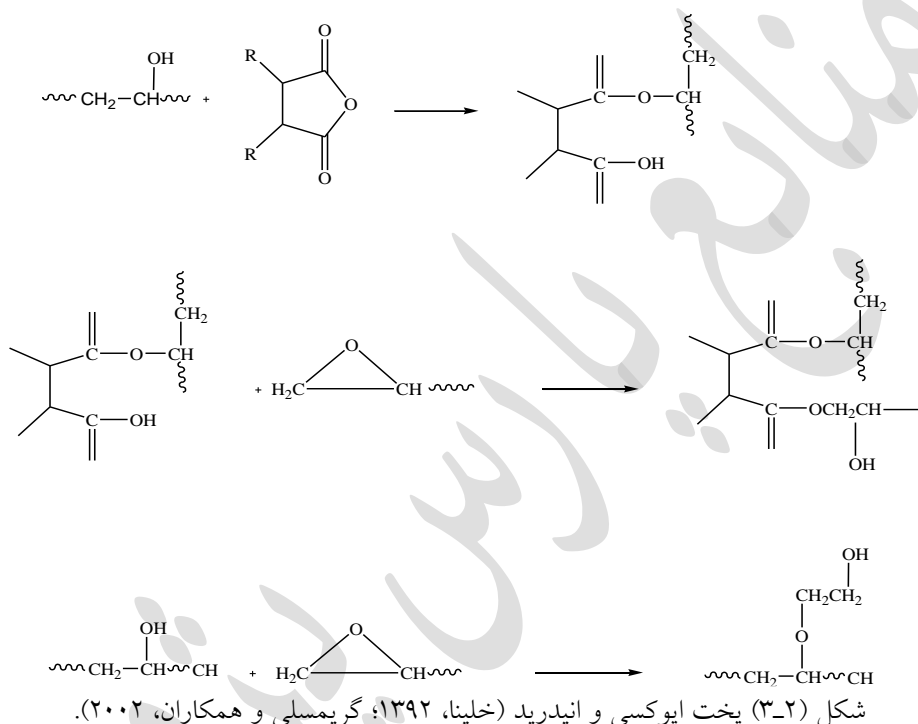
<sup>1</sup> Zardan et al

<sup>2</sup> Zohuri

## ۲-۵-۲ فرایند پخت با انیدرید

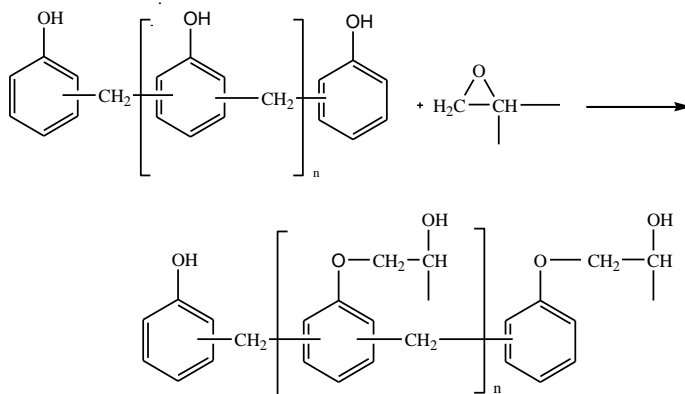
انیدریدها یکی دیگر از عوامل پخت اپوکسی به شمار می‌روند. گر انرژی کم و عمر مصرف طولانی از مزایای ترکیبات اپوکسیدی-انیدریدی به شمار می‌رود، هم‌چنین در حین پخت گرمای کمتری آزاد می‌شود (خلینا، ۱۳۹۲).

سخت شدن با سخت‌کننده‌های انیدرید همراه با پلی‌مرشدن تراکمی است و نیاز به دمای بالا دارد (ظهوری، مترجم، ۱۳۸۱). شکل (۳-۲) مکانیسم پخت اپوکسی و انیدرید را نشان می‌دهد.



## ۳-۵-۲ عوامل پخت فنولی

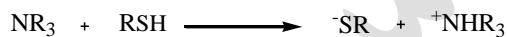
فنول‌ها گروه دیگری از عوامل پخت اپوکسی‌ها هستند که دارای گروه‌های هیدروکسیل فنولی هستند و می‌توانند با گروه‌های اپوکسی وارد واکنش شوند. از جمله ترکیبات دارای گروه‌های فنولی می‌توان به نووالاک‌ها اشاره نمود که فرایند پخت آن با اپوکسی در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.



شکل (۴-۲) واکنش اپوکسی با فنولها (خلینا، ۱۳۹۲).

## ۴-۵-۲ عوامل پخت گوگردار

این عوامل پخت شامل ترکیبات سولفیدی و مرکاپتانی دارای گروه های انتهایی تیولی (-SH) هستند. گروه تیول یا مرکاپتان به تنهایی و در دمای محیط به طور آهسته با رزین اپوکسی واکنش می دهند. در صورت استفاده از آمین نوع سوم به یون مرکاپتید با واکنش پذیری بالا تبدیل می شوند.



شکل (۵-۲) واکنش عامل گوگردار و اپوکسی (خلینا، ۱۳۹۲).

سخت کننده های پلی تیول شامل گروه های  $\text{CH(OH)CH}_2\text{SH}$  هستند که گروه های هیدروکسیل گروه های تیول را به وسیله ای اتصالات هیدروژنی فعال می کنند (ظهوری، مترجم، ۱۳۸۱).

## ۶-۲ شتاب دهنده ها

به منظور بالا بردن عملیات پخت برای اینکه زمان پخت کاهش یابد به شتاب دهنده نیاز است. شتاب دهنده ها زمان سخت شدن را کاهش می دهند و با فعالیت کاتالیستی بهره وری را بهبود می بخشند. شتاب دهنده های

مورد استفاده شامل؛ پلی آمین های آلیفاتیک یا آمین های نوع سوم، فنول ها و نانیل فنول، رزورسینول یا شتاب دهنده های مشتق شده معدنی مانند تری فنیل فسفیت هستند (اردبیلی و پتچ،<sup>۱</sup> ۲۰۰۹).

## ۲-۷ نرم کننده ها

برای بهبود خواص پلی مرها و انعطاف پذیری آن ها از نرم کننده استفاده می شود. نرم کننده ها در میان زنجیرهای پلی مری قرار می گیرند و آن ها را از هم دور کرده و پلی مر را نرم می کنند و باعث دوام آن می - شوند. از نرم کننده ها می توان به استر فتالیک هایمانند دی بوتیل فتالات و دی اکتیل فتالات اشاره نمود (براوون،<sup>۲</sup> ۲۰۱۱).

## ۲-۸ خواص رزین های اپوکسی

ساختار شیمیایی رزین های اپوکسی طوری است که آن ها را در مقابل مواد شیمیایی مقاوم می کند. رزین های اپوکسی چسبندگی بسیار خوبی به طیف وسیعی از مواد دارند (بن صالح و همکاران،<sup>۳</sup> ۲۰۱۴). هم چنین ابعاد قالب خود را به خوبی حفظ می کنند (زردان و همکاران،<sup>۴</sup> ۱۳۸۸). پس از پخت دارای استحکام هستند و در مقابل سایش و حرارت های بالا مقاومت خوبی نشان می دهند (هور و همکاران،<sup>۵</sup> ۱۳۹۲). علاوه بر این، اپوکسی ها دارای ویژگی های زیر هستند:

- مقاومت در برابر حلال ها، رطوبت و مواد شیمیایی (شکرالهی و همکاران،<sup>۶</sup> ۱۳۹۲)،
- چسبندگی خوب به بستر های مختلف (هور و همکاران،<sup>۷</sup> ۱۳۹۲؛ بالاسوبرامانیا و ناتاراجان،<sup>۸</sup> ۲۰۱۴)،
- خواص برجسته مکانیکی مانند استحکام کششی، فشاری و خمشی بسیار بالا (ران و همکاران،<sup>۹</sup> ۲۰۱۴)،
- پایین بودن جمع شدگی پخت (خسروی و موسی،<sup>۱۰</sup> ۲۰۱۰؛ ران و همکاران،<sup>۱۱</sup> ۲۰۱۴؛ سوزان و ریس،<sup>۱۲</sup> ۲۰۱۳؛ لو و همکاران،<sup>۱۳</sup> ۲۰۱۰)،
- مقاومت به خوردگی (سوزان و ریس،<sup>۱۴</sup> ۲۰۱۳؛ لو و همکاران،<sup>۱۵</sup> ۲۰۱۰)،
- مقاومت به خزش (کینلوچ و همکاران،<sup>۱۶</sup> ۲۰۱۴).

<sup>1</sup> Ardebili & Petch

<sup>2</sup> Braun et al

<sup>3</sup> Hoor et al

<sup>4</sup> Shokrollahy et al

<sup>5</sup> Balasubramanya & Natarajan

<sup>6</sup> Ran et al

<sup>7</sup> Khosravi & Musa

<sup>8</sup> Suzan & Reis

<sup>9</sup> Lu et al

- عایق عالی الکتریسیته (سیگلا و چاولا؛ ۲۰۱۳).
- دوام بالا در پیروی و شرایط سخت محیطی (شکوه فر و عرب؛ ۱۳۹۲؛ هور و همکاران، ۱۳۹۲).
- قابلیت پخت در دماهای مختلف (چوبدار؛ ۱۳۹۳).
- مقاومت خستگی ممتاز (چوبدار، ۱۳۹۳).
- بی بو و بی مزه (چوبدار، ۱۳۹۳).
- پایداری ابعادی (چن و همکاران، ۲۰۱۳).

## ۹-۲ کاربرد رزین اپوکسی

رزین‌های اپوکسی در کاربردهای مختلفی از قبیل پوشش سطح، روکش‌دهی، ابزارسازی و کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند (ران و همکاران، ۲۰۱۴؛ لو و همکاران، ۲۰۱۰). در صنایع نظامی (غلاف و پوشش موشک-ها) و صنایع خودروسازی رزین‌ها کاربرد دارند (حسامی و همکاران؛ ۱۳۹۲). ساخت قالب با ابعاد بزرگ، ساخت قطعات ریخته‌گری ماشینی، ساخت قالب‌های مقاوم در برابر حرارت، صنایع چسب، مصارف خانگی و دریایی از کاربردهای متعدد این رزین هستند. چند لایه‌های رزین اپوکسی از اهمیت فوق‌العاده‌ای در صنایع هواپیماسازی برخوردارند (چوبدار، ۱۳۹۳).

صنایع هوافضا نیز از دیگر زمینه‌های استفاده رزین اپوکسی است (ساختمانیان و بهزادی، ۱۳۸۵). هم-چنین به کاربرد در صنایع بسته‌بندی و ورزشی می‌توان اشاره نمود (شکوه فر و عرب، ۱۳۹۲). بسیاری از قطعات ساختاری از جنس الیاف کربن و رزین اپوکسی جایگزین آلیاژهای فلزی مرسوم شده و نتایج مطلوبی داشته‌اند. هم‌چنین از این رزین به همراه الیاف آرامید در ساخت موتور راکت و کپسول‌های تحت فشار به روش رشته‌پیچی استفاده می‌شود. علاوه بر این رزین‌های اپوکسی به طور وسیعی به همراه الیاف و ساختارهای لانه زنبوری برای ساخت ملخ بال‌گرد استفاده می‌گردد. رزین‌های اپوکسی تقویت شده با الیاف کربن و آرامید در ساخت قایق‌هایی که ضمن حفظ وزن، برای استفاده بیشتر از فضا و در استحکام مورد نظر، به جای پلی‌استر-شیشه کاربرد دارد. هم‌چنین کامپوزیت‌های آرامید-اپوکسی برای جایگزین فولاد در کلاه‌خودهای جنگی استفاده می‌شوند (چوبدار، ۱۳۹۳).

<sup>1</sup> Sigla & Chavla

<sup>2</sup> Shkoohfar & Arab

<sup>3</sup> Choobdar

<sup>4</sup> Hesamy et al

## فصل سوم: مواد و روش‌ها

منابع پارس پژوهش

### ۱-۳ مقدمه

در مرحله آزمایشگاهی برای تولید نمونه، سعی شده که آزمایشات با چند نوع متفاوت از مواد تهیه شده انجام گیرد.

### ۲-۳ مواد

اپوکسی ۸۲۸ (گرانروی ۱۱۰P-۱۵۰ در دمای محیط و خصوصیت فیزیکی مایع روان و شفاف) تولید شرکت Shell تهیه شده از بازار تهران، اپوکسی EPOLAM 2040 RESIN (چگالی  $1/16 \text{ g/cm}^3$  در دمای محیط و به شکل مایع سیال و شفاف به رنگ کهربایی) ساخت شرکت Axson سفارش شده از آمریکا و عامل پخت آمینی EPOLAM 2047 HARDNER (چگالی  $0/94 \text{ g/cm}^3$  در دمای محیط و به صورت مایع روان و کهربایی رنگ) ساخت شرکت Axson سفارش شده از آمریکا، عامل پخت انیدریدی با نام فتالیک انیدرید با وزن مولکولی  $148/1 \text{ g/mol}$ ، جامد و سفید رنگ تهیه شده از شرکت کیان شیمی مشهد، شتاب دهنده آمینی دی متیل آمینوبنزیل BDMA<sup>۲</sup> (به صورت محلول و مولاریته  $135/21 \text{ mol/L}$ ) تهیه شده از بازار تهران، نرم کننده دی اکتیل فتالات DOP<sup>۳</sup> (وزن مولکولی  $390/57 \text{ g/mol}$  و فرمول شیمیایی  $\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$ ) تهیه شده از بازار تهران، در این طرح استفاده شدند.

### ۳-۳ روش کار

برای تهیه نمونه‌ها یا از یک نوع اپوکسی و یا مخلوطی از دو نوع اپوکسی به نسبت مساوی استفاده گردیده است. نسبت وزن رزین به وزن عامل سخت کننده ۳ به ۱ و نسبت وزن رزین به وزن شتاب دهنده ۱۰۰ به ۱ در نظر گرفته شد، میزان نرم کننده در جدول (۱-۳) مشخص گردیده است. پس از افزودن مواد به یکدیگر،

<sup>1</sup> Poise

<sup>2</sup> Benzyl dimethylamine= BDMA

<sup>3</sup> Dioctylphthalate= DOP



ظرف محتوی مواد درون حمام آب گرم قرار داده و محلول همزده شد که نمونه‌ها و مشخصات آن‌ها در جدول (۱-۳) آورده شده است. همچنین نمونه‌های دارای هر دو نوع عامل پخت به نسبت مساوی از هر کدام استفاده شده است. مقدار نرم‌کننده بر اساس قسمت در ۱۰۰ قسمت رزین اپوکسی (phr)<sup>۱</sup> می‌باشد.

جدول (۱-۳) مشخصات نمونه‌های تهیه شده.

شماره نمونه	رزین اپوکسی	عامل پخت	شتاب‌دهنده	نرم‌کننده phr	دما (°C)	زمان سخت شدن
نمونه ۱	EPOLAM 2040	EPOLAM 2047	BDMA (دی‌متیل- آمینوبنزیل)	—	۶۵	۴۵ دقیقه
نمونه ۲	EPOLAM 2040	EPOLAM 2047	BDMA	۲	۴۵	۵۰ دقیقه
نمونه ۳	EPOLAM 2040	EPOLAM 2047	BDMA	۶	۴۰	۱۲۰ دقیقه
نمونه ۴	EPOLAM 2040	EPOLAM 2047	BDMA	۱۵	۴۵	۱۴۰ دقیقه
نمونه ۵	EPOLAM 2040	+EPOLAM 2047 انیدرید فتالیک	BDMA	—	دمای محیط (۲۵ °C)	بیش از ۲۴ ساعت
نمونه ۶	EPOLAM 2040 + ۸۲۸	+EPOLAM 2047 انیدرید فتالیک	BDMA	—	۶۵	بیش از ۲۴ ساعت
نمونه ۷	۸۲۸	+EPOLAM 2047 انیدرید فتالیک	BDMA	—	دمای محیط	بیش از ۲۴ ساعت
نمونه ۸	۸۲۸	EPOLAM 2047	BDMA	—	۴۰	۱۳۵ دقیقه
نمونه ۹	EPOLAM 2040 + ۸۲۸	EPOLAM 2047	BDMA	۶	۴۰	۱۶۰ دقیقه
نمونه ۱۰	EPOLAM 2040 + ۸۲۸	EPOLAM 2047	BDMA	۱۵	۳۵	۱۶۵ دقیقه
نمونه ۱۱*	۸۲۸	EPOLAM 2047	BDMA	—	۵۰	۳۰ دقیقه

\*مقدار شتاب‌دهنده آمینی نمونه شماره ۱۱ دو برابر میزان نمونه‌های دیگر بوده است.

<sup>1</sup> Part per hundred resin= phr

### ۳-۳-۱ مشاهدات

نمونه شماره ۵ با اضافه کردن انیدرید فتالیک مخلوط حاصل تولید حباب‌های زیادی کرده و سفید رنگ شد و به سرعت به صورت ژل درآمد و مدت زمان سخت شدن نهایی بیش از ۲۴ ساعت به طول انجامید و مقداری از انیدرید داخل رزین سخت شده نامحلول باقی مانده بود.

نمونه شماره ۶ نیز که با استفاده از حمام گرم انجام گرفت همان نتایج مربوط به نمونه شماره ۲ مشاهده گردید با این تفاوت که رزین نهایی بدست آمده دارای ظاهری شفاف با حباب‌هایی داخل آن بود. نمونه ۷ که از یک اپوکسی تهیه شد نتایجی همانند نمونه ۲ داشت. بنابراین استفاده از انیدرید از دستور کار آزمایشات خارج شد.

نمونه‌های دیگر (۱، ۲، ۳، ۴، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) با اضافه کردن عامل پخت آمینی در شرایط دمایی متفاوت، شروع به ژل شدن کرده و پس از مدت زمان لازم عملیات پخت کامل شد و رزین سخت شد. در مرحله پخت گرما ایجاد شد و رزین بدست آمده سخت و با ظاهری شفاف بود.

### ۳-۴ دستگاه‌های مورد استفاده

برای انجام آزمایش‌ها از دستگاه‌های موجود در پژوهشگاه نفت واقع در تهران استفاده گردیده است.

### ۳-۴-۱ گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)<sup>۱</sup>

برای بررسی رفتار گرمایی مواد، مانند دمای ذوب و دمای انتقال شیشه‌ای از دستگاه DSC استفاده می‌شود که میزان گرمای جذب یا آزاد شده با نمونه مرجع مقایسه شده و منحنی مربوطه رسم می‌شود. نمونه در معرض یک برنامه دمایی کنترل شده قرار می‌گیرد و تغییرات دمایی اندازه‌گیری می‌شود. از منحنی‌های DSC برای تعیین دمای انتقال شیشه‌ای (T<sub>g</sub>)<sup>۲</sup> استفاده می‌شود (لوبو و بونیللا،<sup>۳</sup> ۲۰۰۳؛ سالامون و فیلدر،<sup>۴</sup> ۲۰۰۳). نوع دستگاه مورد استفاده 8000 Perkin Elmer آمریکا بود.

<sup>1</sup> Diffraction Scanning Calorimetry

<sup>2</sup> Transition Glass Temperature

<sup>3</sup> Lobo & Bonilla

<sup>4</sup> Salamon & Fielder

### ۳-۴-۲ آنالیزگر حرارتی (TGA)<sup>۱</sup>

به منظور اندازه‌گیری دمای تخریب، دستگاه TGA مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه را داخل دستگاه می‌گذارند و از دمای محیط تا برنامه دمایی معین که با سرعت مشخص تغییر می‌کند (۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه) گرم می‌شود که دستگاه کاهش وزن نمونه را ثبت می‌کند. منحنی TGA تغییرات وزن ماده نسبت به دما را مشخص می‌کند (کینزی و فالکن<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳؛ لوبو و بونیل، ۲۰۰۳). دستگاه به کاربرده شده SDTA 851 Mettler Toledo ساخت سوئیس بود.

### ۳-۴-۳ دستگاه اندازه‌گیری مدول فشاری

دستگاه تنسایل<sup>۳</sup> برای تعیین استحکام فشاری و مدول فشاری کاربرد دارد. نمونه داخل دستگاه قرار داده می‌شود و تحت نیرویی قرار می‌گیرد تا رفتار نمونه نسبت به تنش اعمال شده اندازه‌گیری شود. میزان تنش تا زمانی ادامه می‌یابد که نمونه نسبت به تنش اعمال شده واکنش نشان دهد یعنی ارتفاع آن کم شود. این دستگاه با نام Zwick/Roell Z030 ساخت کشور آلمان بود.

<sup>1</sup> Thermogravimetry Analysis

<sup>2</sup> Kinzy & Falkon

<sup>3</sup> tensil

## فصل چهارم: نتایج و بحث

منابع پارس پروژه

## ۱-۴ مقدمه

برای بررسی و بحث در مورد نمونه‌ها، آزمایش‌هایی متناسب با رزین‌ها روی تعدادی از نمونه‌ها انجام گرفت. این آزمایشات شامل دمای تخریب، مدول فشاری، دمای تبدیل شیشه‌ای، درصد ماده فرار و تورم در حلال و نفوذپذیری به آب بود. در این بخش به آزمایش‌های انجام گرفته بر روی تعدادی از نمونه‌های تهیه شده، پرداخته شده است.

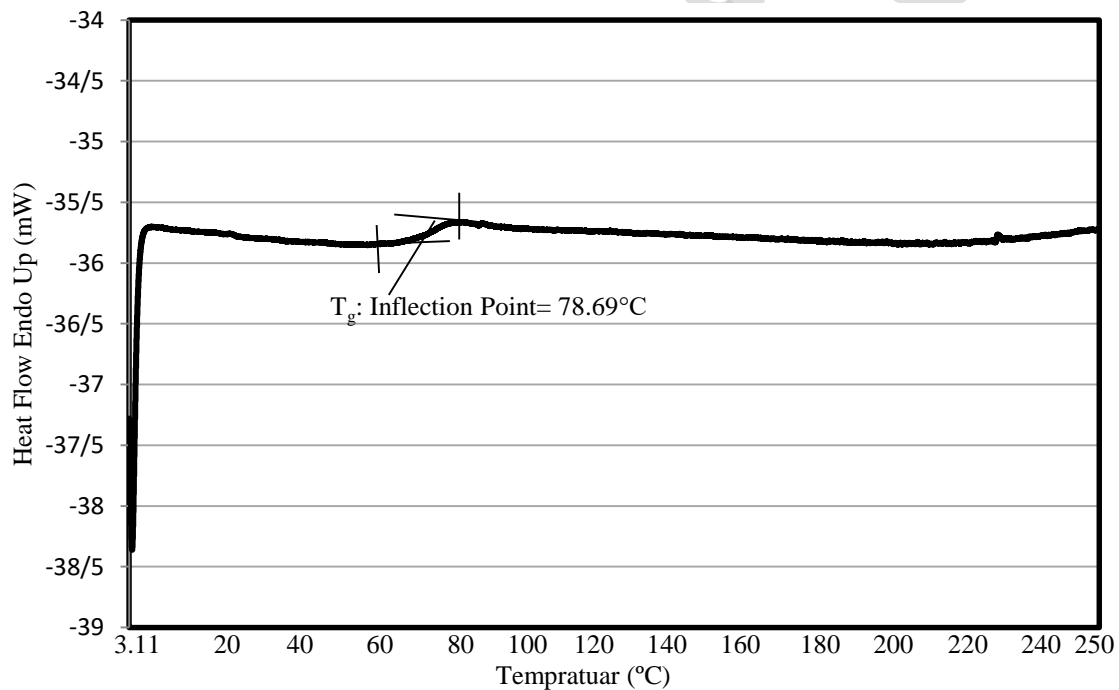
### ۱-۱-۴ اثر نرم‌کننده بر دمای تبدیل شیشه‌ای

به منظور بررسی تعیین دمای تبدیل شیشه‌ای رزین در برابر نرم‌کننده، نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM D3895-07, 2007 به روش DSC در شرایط دمایی از  $0^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$  و با سرعت  $10^{\circ}\text{C}$  بر دقیقه و در محیط نیتروژن مورد آزمایش قرار گرفته است. مقدار  $T_g$  نمونه‌ها در جدول (۲-۴) و نمودار DSC نمونه (الف) در نمودار (۱-۴) نشان داده شده است و نمودارهای (۲-۴) تا (۶-۴) مربوط به DSC نمونه‌های دیگر در پیوست الف آمده است. نتایج بدست آمده نشان داد که نمونه‌های دارای نرم‌کننده دی‌اکتیل فتالات دمای تبدیل شیشه‌ای پایین‌تری نسبت به نمونه‌های بدون نرم‌کننده دارند و هر چه میزان نرم‌کننده بیشتر باشد،  $T_g$  کمتر می‌شود به این دلیل که نرم‌کننده موجب تضعیف نیروهای بین‌مولکولی پلی‌مر شده و حجم آزاد پلی‌مر را افزایش می‌دهد.

<sup>1</sup>American Standard Test Method

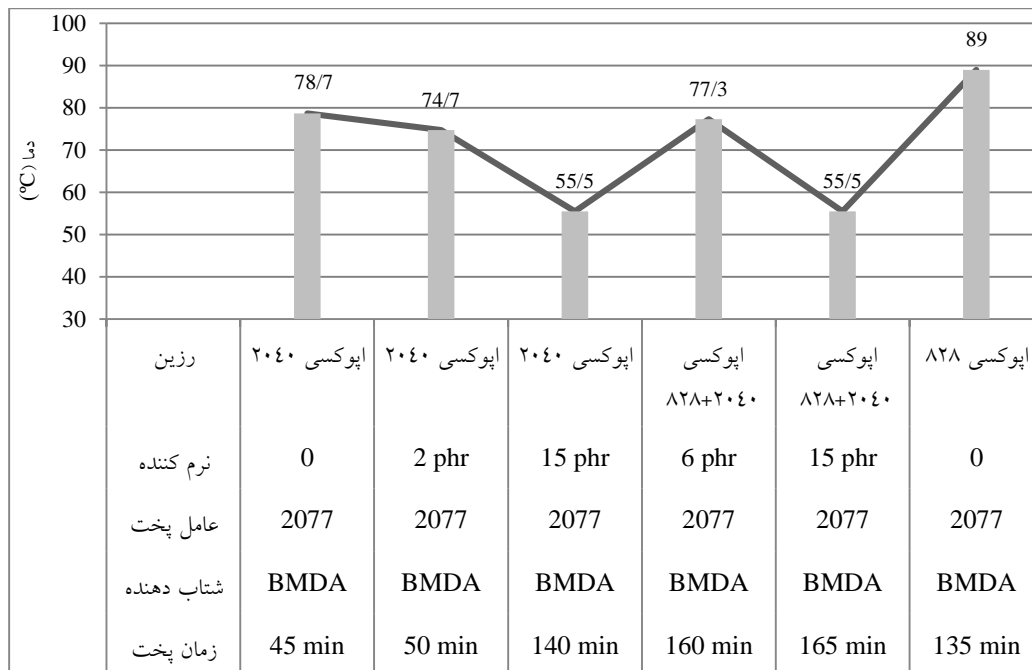
جدول (۴-۲) نتایج دمای تبدیل شیشه‌ای نمونه‌های مورد آزمایش.

شماره نمونه	مشخصه نمونه	نتایج (°C)	شرایط آزمایش
الف	EPOLAM 2040 RESIN	۷۸/۷	۰-۲۵۰ °C، ۱۰ °C/min
ب	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۱۵ phr)	۵۵/۵	
ج	+ EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۱۵ phr)	۵۵/۵	
د	اپوکسی ۸۲۸	۸۹/۰	
ه	+EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۶ phr)	۷۷/۳	
و	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۶ phr)	۷۴/۴	



نمودار (۴-۱) نمودار T<sub>g</sub> نمونه (الف)، شرایط آزمایش: دما ۰-۲۵۰ °C و ۱۰ °C/min.

میزان  $T_g$  نمونه‌های مورد آزمایش از نظر نوع اپوکسی و میزان نرم‌کننده بر روی نمودار (۲-۴) مقایسه شده است.



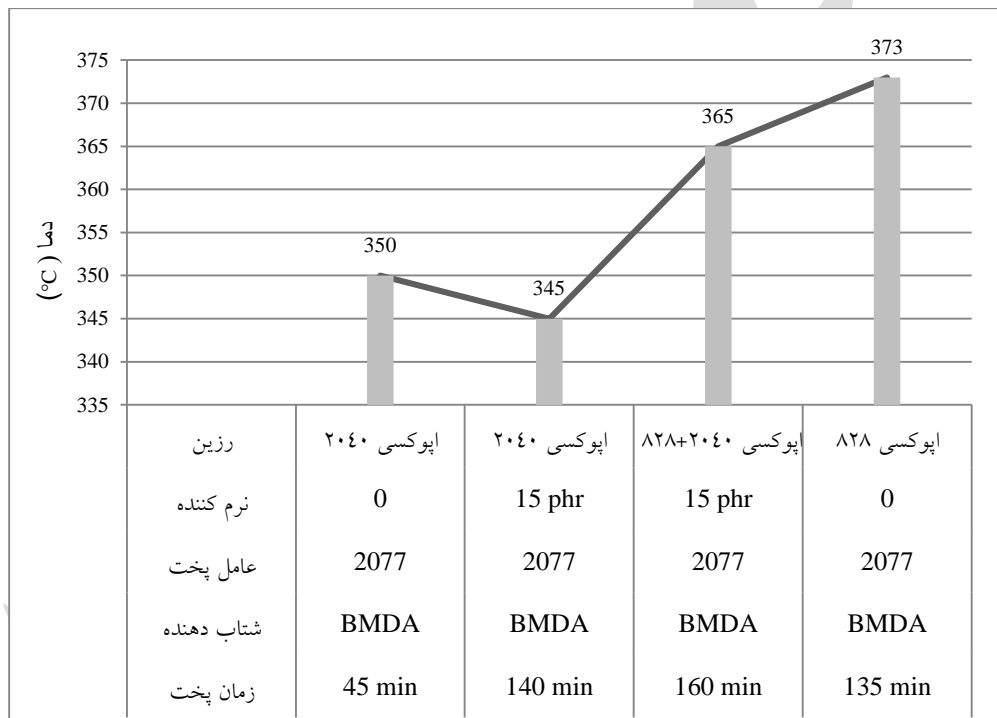
نمودار (۲-۴) مقایسه  $T_g$  نمونه‌های مورد آزمایش.

#### ۲-۱-۴ اثر نرم‌کننده بر دمای تخریب

برای تأثیر نرم‌کننده بر دمای تخریب، آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D3850-94, 2006 و شرایط دمایی از  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $700^{\circ}\text{C}$  و سرعت  $10^{\circ}\text{C}$  بر دقیقه با استفاده از دستگاه TGA انجام گردیده است. نتایج بدست آمده در جدول (۳-۴) و نمودارهای (۴-۴) تا (۷-۴) نشان داده شده است. که تخریب اپوکسی EPOLAM 2040 در دمای  $350^{\circ}\text{C}$  و اپوکسی ۸۲۸ در دمای  $373^{\circ}\text{C}$  و نمونه‌های با نرم‌کننده به ترتیب  $345^{\circ}\text{C}$  و  $365^{\circ}\text{C}$  بود. نرم‌کننده میزان اتصالات عرضی را کاهش داده است به همین علت نمونه‌های دارای نرم‌کننده در دمای کمتری تخریب شدند. هم‌چنین نوع اپوکسی بر روی نتایج تأثیر داشته است که در نمودار (۳-۴) آورده شده است.

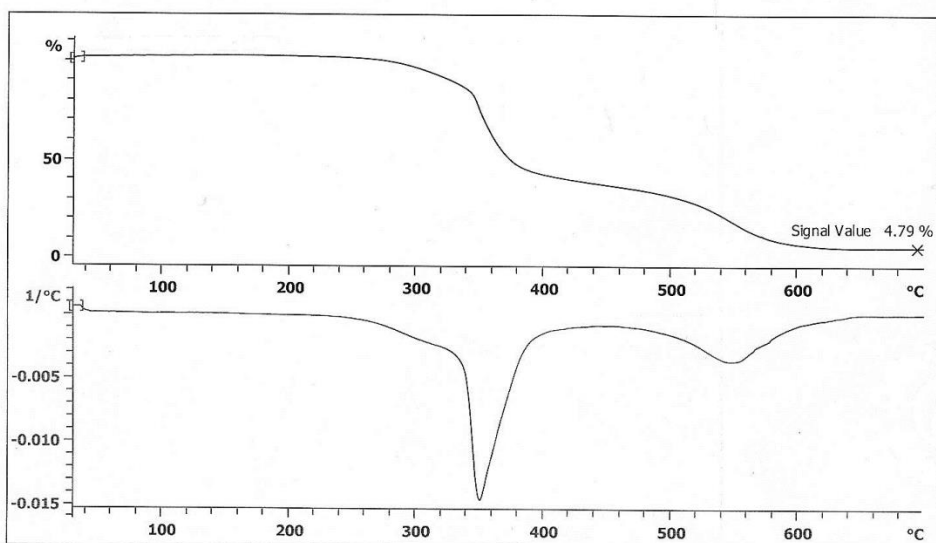
جدول (۳-۴) دمای تخریب نمونه‌های مورد آزمایش.

شماره نمونه	مشخصه نمونه	نتایج (°C)	شرایط آزمایش
الف	EPOLAM 2040 RESIN	۳۵۰	دمای ۵۰ °C تا ۷۰۰ °C و سرعت ۱۰ °C بر دقیقه
ب	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۱۵ phr)	۳۴۵	
ج	+ EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۱۵ phr)	۳۶۵	
د	اپوکسی ۸۲۸	۳۷۳	



نمودار (۳-۴) مقایسه دمای تخریب نمونه‌های مورد آزمایش.

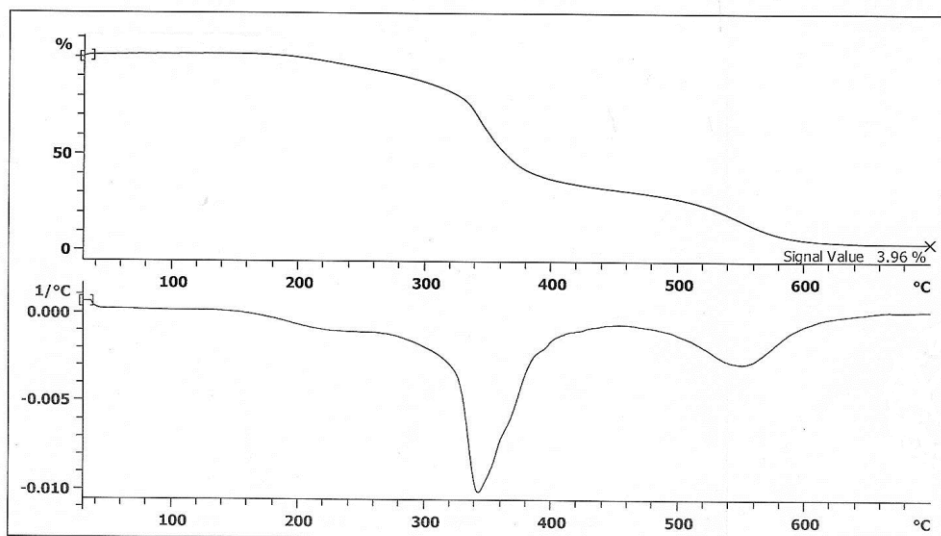




نمودار (۴-۴) نمودار دمای تخریب نمونه (الف).

تفسیر نمودار (۴-۴): سه مرحله برای تخریب رزین اپوکسی EPOLAM 2040 پخت شده قابل مشاهده است، مرحله اول که از حدود دمای  $300^{\circ}\text{C}$  تا  $345^{\circ}\text{C}$  ادامه دارد که مربوط به تخریب گروه‌های هیدروکسیل رزین (شکل ۱-۲ و ۲-۲) می‌باشد، مرحله دوم از حدود  $345^{\circ}\text{C}$  تا  $540^{\circ}\text{C}$  مربوط به خروج آمین و بخش آروماتیک رزین است که تقریباً  $70\%$  وزن آن کاهش یافته، مرحله سوم از  $540^{\circ}\text{C}$  تا  $700^{\circ}\text{C}$  ادامه دارد که نمونه به طور کامل تخریب شده است. از نمونه زیر دمای  $300^{\circ}\text{C}$  می‌توان استفاده نمود. منحنی دوم مشتق منحنی اول است که در  $300^{\circ}\text{C}$  اولین افت وزن را نشان می‌دهد و در دمای  $345^{\circ}\text{C}$  بیشترین میزان تخریب صورت گرفته است و در مرحله سوم منحنی دمای  $545^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهد (ممانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رای و سونبی، ۲۰۱۲).

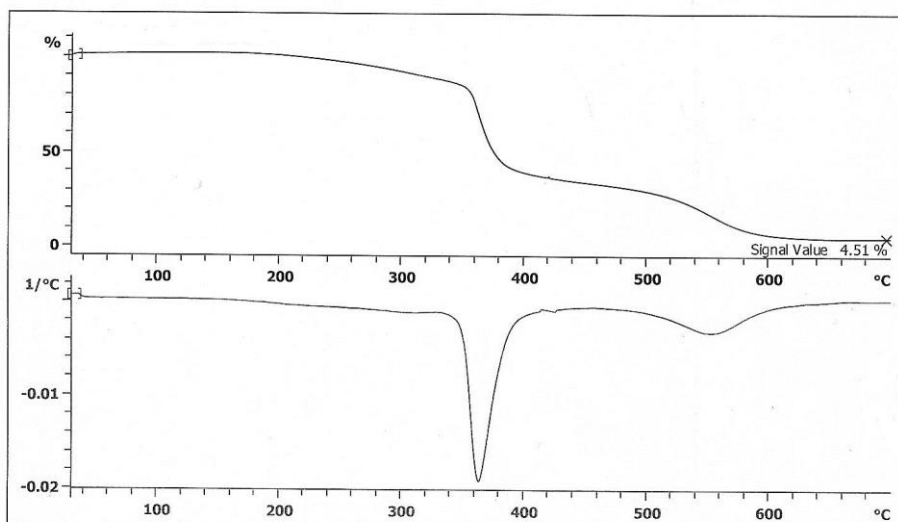
<sup>1</sup> Ray & Cooney



نمودار (۴-۵) نمودار دمای تخریب نمونه (ب).

تفسیر نمودار (۴-۵): نمونه (ب) دارای اپوکسی EPOLAM 2040 با نرم‌کننده دی‌اکتیل‌فتالات، در مرحله اول تخریب از حدود  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $343^{\circ}\text{C}$  با خروج نرم‌کننده و گروه‌های هیدروکسیل اپوکسی همراه است مرحله دوم تخریب از  $343^{\circ}\text{C}$  تا  $545^{\circ}\text{C}$  اتفاق می‌افتد که با تخریب بیشتر آمین و گروه‌های آروماتیک و بقیه نرم‌کننده از بین می‌روند. مرحله سوم از  $545^{\circ}\text{C}$  تا  $700^{\circ}\text{C}$  تخریب کامل نمونه است. تفاوت نمودارهای نمونه الف و ب را می‌توان وجود نرم‌کننده دانست. منحنی دوم چند نقطه مشخص شده است که به ترتیب شدت تخریب  $343^{\circ}\text{C}$ ،  $545^{\circ}\text{C}$ ،  $300^{\circ}\text{C}$  و  $200^{\circ}\text{C}$  می‌باشند، از نمونه تا دمای  $200^{\circ}\text{C}$  می‌توان استفاده نمود (ممانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رای و سونیی، ۲۰۱۲).

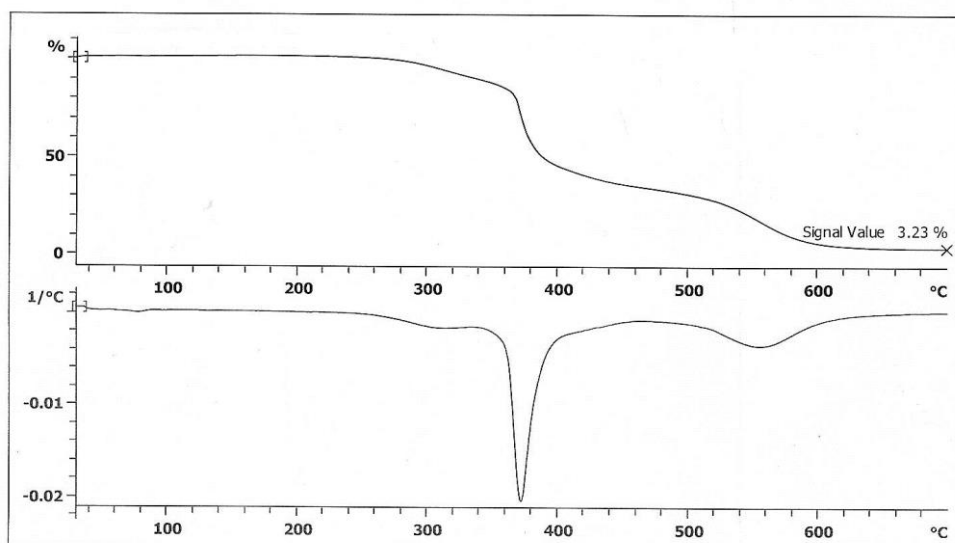
<sup>1</sup> Ray & Cooney



نمودار (۶۴) نمودار دمای تخریب نمونه (ج).

تفسیر نمودار (۶-۴): این نمودار مربوط به نمونه (ج) (دارای نرم‌کننده و مخلوطی از دو نوع اپوکسی ۸۲۸ و EPOLAM 2040) است که دارای سه مرحله تخریب گرمایی می‌باشد. مرحله اول از حدود  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $365^{\circ}\text{C}$  مربوط به خروج نرم‌کننده و تخریب بخش هیدروکسیل اپوکسی‌ها است افزایش این محدوده دمایی نسبت به نمونه الف را می‌توان ناشی از وجود نرم‌کننده دی‌اکتیل‌فتالات و اپوکسی ۸۲۸ دانست. مرحله دوم از  $365^{\circ}\text{C}$  تا  $545^{\circ}\text{C}$  مربوط به تخریب آمین و گروه‌های آروماتیک و احتمالاً بخشی از نرم‌کننده است. مرحله سوم هم که به خروج قسمت‌های مقاوم نمونه ارتباط دارد از  $545^{\circ}\text{C}$  تا  $700^{\circ}\text{C}$  است. کارایی نمونه تا دمای  $200^{\circ}\text{C}$  است. منحنی دوم که مشتق منحنی اول است بیشترین سرعت تخریب در دمای  $365^{\circ}\text{C}$  و یک مرحله آهسته‌تر در دمای  $545^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهد از  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  هم با یک شیب بسیار آهسته کاهش وزن روی می‌دهد (ممانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رای و سونیی، ۲۰۱۲).

<sup>1</sup> Ray & Cooney



نمودار (۷-۴) نمودار دمای تخریب نمونه (د).

تفسیر نمودار (۷-۴): نمونه (د) دارای اپوکسی ۸۲۸ و بدون نرم کننده؛ تخریب دمایی از حدود دمای  $300^{\circ}\text{C}$  تا  $370^{\circ}\text{C}$  شروع شده که افت وزن به دلیل شکست در گروه‌های هیدروکسیل اپوکسی روی داده و بعد از دمای  $370^{\circ}\text{C}$  تا  $545^{\circ}\text{C}$  نمونه با کاهش وزنی در حدود ۷۰٪ روبرو می‌شود، مرحله سوم از  $545^{\circ}\text{C}$  تا  $700^{\circ}\text{C}$  بخش‌های مقاوم‌تر اپوکسی تجزیه می‌شوند. منحنی مشتق دارای سه نقطه  $300^{\circ}\text{C}$ ،  $373^{\circ}\text{C}$  و  $545^{\circ}\text{C}$  می‌باشد که بیشترین میزان تخریب در  $373^{\circ}\text{C}$  است. این ماده تا  $300^{\circ}\text{C}$  دارای کارایی است (ممانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رای و سونیی، ۲۰۱۲).

#### ۳-۱-۴ درصد مواد فرار

نمونه‌های وزن شده، داخل آون در دمای  $105^{\circ}\text{C}$  و به مدت سه ساعت گذاشته می‌شوند. نمونه‌ها پس از خروج از آون دوباره وزن می‌شوند و درصد ماده‌ی فرار طبق رابطه‌ی (۱-۴) بدست می‌آید. این آزمایش با استاندارد ASTM D2832-92, 2011 انجام شده است. نتایج هر نمونه در جدول (۴-۴) دیده می‌شود. نتایج نشان داد که نرم‌کننده روی فرار بودن اپوکسی تأثیر منفی نداشته است. ممکن است نمونه رطوبت احتمالی جذب شده از محیط و یا درصد کمی از اپوکسی خود را از دست داده باشد. نمودار (۸-۴) درصد ماده فرار نمونه‌های آزمایش شده را نشان داده است.

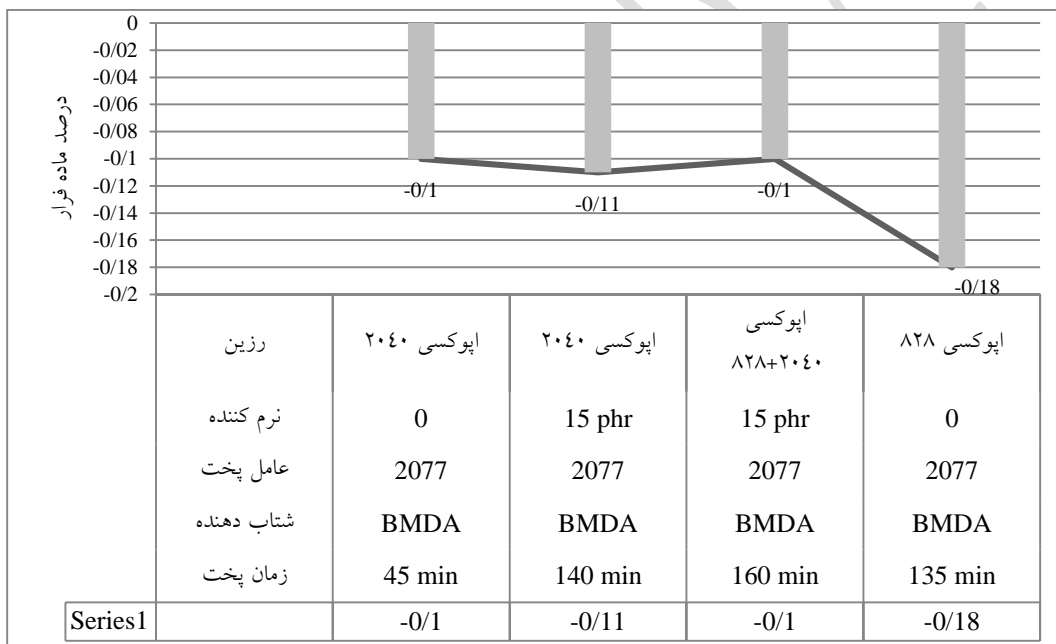
<sup>1</sup> Ray & Cooney

$$100 \times \text{وزن ابتدایی} / (\text{وزن ابتدایی} - \text{وزن نهایی}) = \text{درصد ماده فرار}$$

رابطه (۴-۱)

جدول (۴-۴) درصد ماده فرار نمونه‌های مورد آزمایش.

شرایط آزمایش	نتایج (%)	مشخصه نمونه	شماره نمونه
۱۰۵°C، ۳h	-۰/۱۰	EPOLAM 2040 RESIN	الف
	-۰/۱۱	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۱۵ phr)	ب
	-۰/۱۰	+ EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۱۵ phr)	ج
	-۰/۱۸	اپوکسی ۸۲۸	د



نمودار (۴-۸) مقایسه درصد ماده فرار نمونه‌های مورد آزمایش.

#### ۴-۱-۴ آزمون فرورفتگی سوزن

هنگامی که رزین اپوکسی به شکل ژل شد و نرم است، سوزن در آن وارد می‌شود اما بعد از سخت شدن، سوزن وارد نمی‌شود که نشان‌دهنده پیشرفت میزان پخت می‌باشد.

#### ۴-۱-۵ اثر نرم‌کننده بر مدول فشاری

مدول الاستیسیته (E) یا همان مدول یانگ برابر است با نسبت تنش بر کرنش ایجاد شده به واسطه‌ی تنش وارده بر جسم در حالتی که جسم در ناحیه الاستیک قرار گرفته باشد. واحد مدول الاستیسیته در SI پاسکال (هم واحد با تنش) می‌باشد. مدول الاستیسیته در رابطه (۴-۲) مشخص شده است (ایول، ۱۹۹۶). این آزمایش با توجه به استاندارد ASTM D695-08, 2010 و در دمای محیط انجام گرفته است. مدول فشاری نمونه‌ها در جدول (۴-۵) نمایان شده است.

اختلاف طول بر طول اولیه / نیروی وارد بر سطح مقطع = کرنش / تنش = مدول الاستیسیته

$$E = \frac{\text{tensile stress}}{\text{tensile strain}} = \frac{\delta}{\varepsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{\Delta LA_0}$$

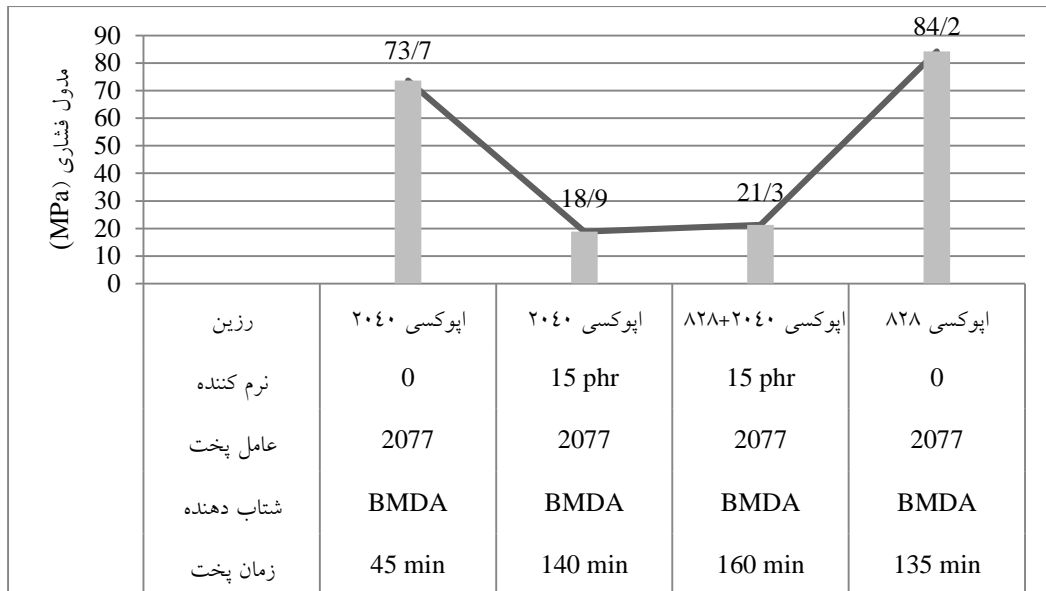
رابطه (۴-۲)

جدول (۴-۵) میزان مدول فشاری نمونه‌های مورد آزمایش.

شماره نمونه	مشخصه نمونه	نتایج (MPa)	شرایط آزمایش
الف	EPOLAM 2040 RESIN	۷۳/۷	۲±۳۲°C
ب	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۱۵ phr)	۱۸/۹	
ج	+ EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۱۵ phr)	۲۱/۳	
د	اپوکسی ۸۲۸	۸۴/۲	

<sup>1</sup> Ebewel

اعداد بدست آمده نشان از کاهش شدید مدول نمونه‌های دارای نرم‌کننده بود، زیرا نرم‌کننده باعث کاهش میزان اتصالات عرضی شده و از سختی پلی‌مر کاسته شده است. نمودار (۴-۹) اثر نرم‌کننده و نوع اپوکسی بر مدول فشاری را نمایش داده است.



نمودار (۴-۹) مقایسه نمونه‌های مورد آزمایش از نظر مدول فشاری.

#### ۴-۱-۶ مقاومت شیمیایی در حلال

مطابق با استاندارد ASTM D543-06, 2006 نمونه‌ها توزین می‌شوند و بعد در استن یا حلال شیمیایی دیگری به مدت ۷ روز غوطه‌ور می‌مانند. پس از گذشت مدت زمان تعیین شده نمونه‌ها وزن می‌گردند. درصد اختلاف وزن نمونه نسبت به وزن ابتدایی بیان‌گر میزان تورم در حلال است که در رابطه (۴-۳) بیان شده است. جدول (۴-۵) درصد تورم در حلال استن نمونه‌ها را نشان می‌دهد. افزایش وزنی که در نمونه‌های دارای نرم‌کننده ایجاد شده به دلیل کم شدن اتصالات عرضی بوده است.

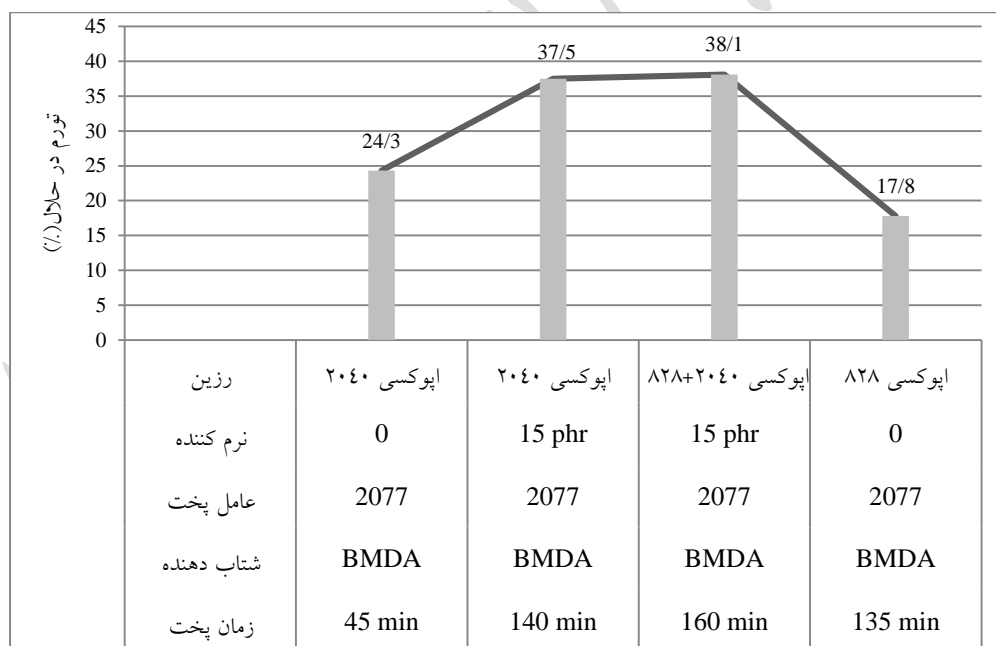
$$۱۰۰ \times \text{وزن ابتدایی} / (\text{وزن ابتدایی} - \text{وزن نهایی}) = \text{درصد تورم در حلال}$$

رابطه (۴-۳)

جدول (۴-۶) میزان تورم در حلال استن نمونه‌های مورد آزمایش.

شماره نمونه	مشخصه نمونه	نتایج (%)	شرایط آزمایش
الف	EPOLAM 2040 RESIN	۲۴/۳	۳۲±۰٫۲ °C، ۷ روز، استن
ب	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۱۵ phr)	۳۸/۱	
ج	+ EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۱۵ phr)	۳۷/۵	
د	اپوکسی ۸۲۸	۱۷/۸	

از مقایسه نمونه‌ها که در نمودار (۱۰-۴) آورده شده، مشخص شد که نمونه‌های دارای نرم‌کننده نسبت به حلال استن مقاومت شیمیایی خوبی نشان نداده‌اند، بنابراین نرم‌کننده میزان اتصالات عرضی رزین را پایین می‌آورد و باعث نفوذ حلالی مانند استن در پلی‌مر می‌شود (ابیول، ۱۹۹۶).



نمودار (۱۰-۴) مقایسه اثر نرم‌کننده و نوع اپوکسی بر میزان تورم در استن نمونه‌های مورد آزمایش.



## ۷-۲-۴ نفوذپذیری آب

نمونه‌های با وزن مشخص در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت در ظرف حاوی آب طبق استاندارد ASTM D570-98, 2010 غوطه‌ور گردید. افزایش وزن نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری و درصد نفوذپذیری آب براساس رابطه (۴-۴) محاسبه گردید که نتایج در جدول (۴-۶) ارائه گردیده است.

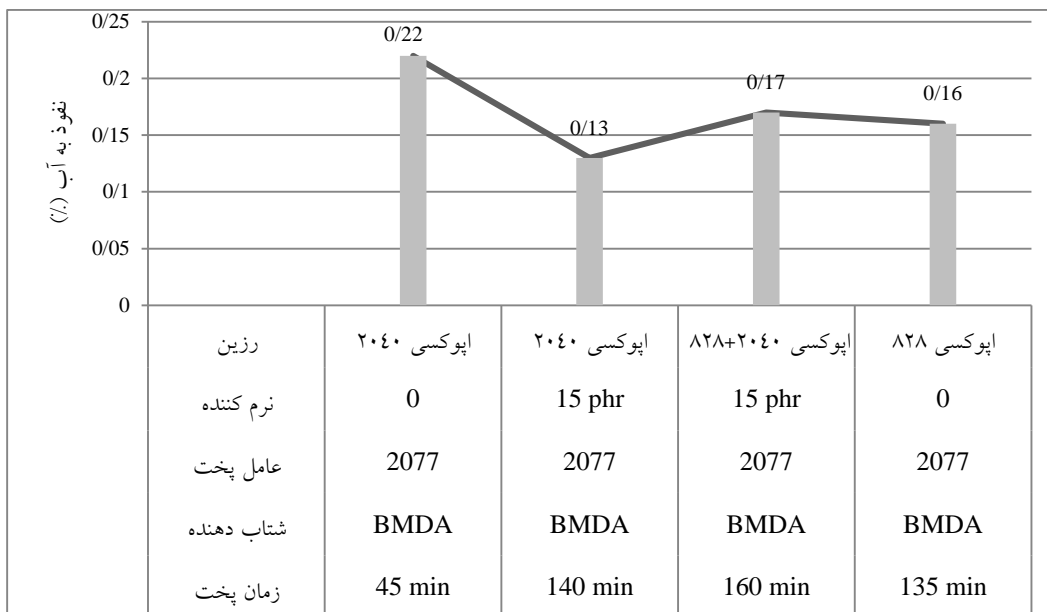
$$\text{درصد نفوذپذیری آب} = \frac{\text{وزن ابتدایی} - \text{وزن نهایی}}{\text{وزن ابتدایی}} \times 100$$

رابطه (۴-۴)

جدول (۷-۴) میزان نفوذپذیری آب نمونه‌های مورد آزمایش.

شماره نمونه	مشخصه نمونه	نتایج (%)	شرایط آزمایش
الف	EPOLAM 2040 RESIN	۰/۲۲	۲۴h، ۳۲±۲ °C
ب	+ EPOLAM 2040 RESIN نرم‌کننده (۱۵ phr)	۰/۱۳	
ج	+ EPOLAM 2040 RESIN اپوکسی ۸۲۸ + نرم‌کننده (۱۵ phr)	۰/۱۷	
د	اپوکسی ۸۲۸	۰/۱۶	

نتایج بدست آمده که در نمودار (۱۱-۴) مشخص شده است نشان داد که نفوذپذیری آب در نمونه‌ها بسیار پایین بوده است. اپوکسی ۸۲۸ نسبت به اپوکسی ۲۰۴۰ نفوذپذیری کمتری به آب نشان داده است. در نمونه‌های دارای اپوکسی ۲۰۴۰ همراه نرم‌کننده کاهش نفوذ آب نسبت به نمونه بدون نرم‌کننده مشاهده شده در حالی که نمونه دارای اپوکسی ۸۲۸ و نرم‌کننده افزایش نفوذپذیری به آب (در مقایسه با نمونه ۸۲۸ بدون نرم‌کننده) دیده شده است.



نمودار (۱۱-۴) مقایسه نمونه‌های آزمایش شده نسبت به نفوذ آب.

## فصل پنجم: نتیجه گیری

منابع پارس پروژه

## ۱-۵ مقدمه

پخت اپوکسی به عواملی چون رزین، عامل پخت، گرانی، دما و ... وابسته است. به منظور رفتار دو نوع اپوکسی و عامل پخت آمینی در حضور نرم‌کننده، موارد زیر مورد بررسی قرار گرفت:

تأثیر نرم‌کننده و اپوکسی‌ها بر مدول فشاری

تأثیر نرم‌کننده بر  $T_g$  و اثر اپوکسی‌ها بر آن

درصد مواد فرار

دمای تخریب

درصد جذب آب

مقاومت شیمیایی - تورم در حلال

## ۱-۱-۵ اثر دما

زمان سخت شدن به دما وابسته است که با بالا بردن دما زمان سخت شدن رزین کاهش یافت. دما میزان پیوندهای کووالانسی را افزایش می‌دهد در نتیجه باعث تسریع در عملیات پخت و ایجاد پیوندهای عرضی می‌شود (ساختمانیان و بهزادی، ۱۳۸۵؛ رضایی، ۱۳۹۰).

## ۲-۱-۵ تأثیر نرم‌کننده و اپوکسی‌ها بر $T_g$

حضور نرم‌کننده در ترکیب رزین باعث کاهش دمای تبدیل شیشه‌ای شد. وجود نرم‌کننده موجب تضعیف جاذبه‌های بین مولکولی رزین می‌شود و حجم آزاد پلی‌مر را افزایش می‌دهد (ظهوری، مترجم، ۱۳۸۱؛ ایبول ۱۹۹۶). همچنین اپوکسی ۸۲۸ دمای تبدیل شیشه‌ای بیشتری داشت.

### ۳-۱-۵ دمای تخریب

وجود نرم کننده دمای تخریب را پایین می آورد. هرچه میزان اتصالات عرضی بیشتر باشد دمای لازم برای تخریب و تجزیه پلیمر افزایش می یابد ولی نرم کننده فاصله بین اتصالات عرضی را افزایش می دهد و در نتیجه پلیمر در دمای پایین تر تخریب می گردد (ظهوری، مترجم، ۱۳۸۱).

### ۴-۱-۵ درصد ماده فرار

می توان نرم کننده را تقریباً عامل بی تأثیری در فراریت اپوکسی دانست، که درصد ماده فرار بدست آمده را می توان به از دست دادن رطوبت که احتمال دارد از محیط جذب رزین شده و یا حذف مقدار کم اپوکسی محتمل دانست.

### ۵-۱-۵ تأثیر نرم کننده بر مدول فشاری

نرم کننده مدول الاستیسیته را کاهش می دهد زیرا میزان اتصالات عرضی را پایین می آورد (خلینا، ۱۳۹۲؛ ایبول، ۱۹۹۶).

### ۶-۱-۵ نفوذپذیری نسبت به آب

افزایش شبکه ای شدن باعث کاهش قدرت جذب آب می گردد چون فضاهای خالی میان زنجیره ها کاهش می یابد (باغی و سپهریان، ۱۳۹۱).

### ۷-۱-۵ مقاومت شیمیایی

مقاومت شیمیایی رزین اپوکسی در حلال استن مناسب است که حضور نرم کننده دی اکتیل فتالات باعث کاهش مقاومت رزین در استن شده است.

#### ۵-۱-۸ میزان شتاب‌دهنده

با افزایش مقدار شتاب‌دهنده در آزمایش مشخص شد که زمان سخت شدن کاهش یافت، از این رو مدت زمان وابسته به میزان شتاب‌دهنده می‌باشد. شتاب‌دهنده با واکنش با حلقه اپوکسی (شکل ۱-۲) موجب باز شدن حلقه اپوکسی شده و پخت را تسهیل و تسریع می‌کند (خلینا، ۱۳۹۲).

#### ۵-۱-۹ نوع رزین

بررسی نتایج بدست آمده معلوم می‌کند نمونه‌های دارای اپوکسی ۸۲۸ نسبت به اپوکسی EPOLAM 2040 تقریباً رفتار متفاوتی در آزمایشات از خود نشان داده‌اند. به عنوان مثال کاهش گرانیوی موجب کاهش استحکام کششی،  $T_g$ ، مقاومت شیمیایی و خواص الکتریکی می‌شود و سرعت پخت را افزایش می‌دهد (رضایی، ۱۳۹۰).

#### ۵-۲ توجیه رفتار انیدرید

به نظر می‌رسد عوامل پخت انیدریدی از نوع جامد باید در یک حلال مناسب حل شده و سپس به رزین اضافه شوند تا پخت به طور کامل انجام شود (گرمسلی و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین در آزمایشاتی که انیدرید به کار رفته بود بخشی از آن به صورت نامحلول باقی مانده بود و در سیستم تعریف شده غلظت کم مورد نظر نبود تا از حلال استفاده گردد.

## فهرست منابع

### منابع فارسی

- ۱- باغی ش، سپهریان آذر ا. ۱۳۹۱. تهیه و شناسایی هیدروژل آمفیفیلیت آکریل آمید و سدیم آلزینات (I.P.N) و شناسایی خواص فیزیکی آن. فصلنامه کاربرد شیمی محیط زیست، سال سوم، ۱۰: ۲۳-۳۲.
- ۲- حسامی م، باقری ر، معصومی م. ۱۳۹۱. مروری بر بازدارندگی شعله در رزین اپوکسی-قسمت اول: ریز پرکننده های بازدارنده شعله. فصلنامه علمی-ترویجی بسپارش، سال دوم، ۴: ۴۹-۶۰.
- ۳- زردان ر، گنجی م.ت، تحویلدار ک. ۱۳۸۹. تهیه و به کارگیری هاردنرهای دارای گروه های ایمیدی در پخت رزین اپوکسی. نیترو پی دی اف، سال چهارم، ۱۳: ۲۸۱-۲۸۸.
- ۴- شکرالهی ف، مهدویان ع، شکرالهی پ. ۱۳۹۲. سنتتیک پخت رزین اپوکسی-نووالاک دارای بازدارنده شعله. مجله علوم و تکنولوژی، ۲۶، ۶: ۵۳۷-۵۴۷.
- ۵- شکوه فرع، عرب ب. ۱۳۹۲. مطالعه ساختار و رفتار تبدیل شیشه ای پلی مرهای اپوکسی به روش دینامیک مولکولی. ماهنامه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، ۹۹، ۹: ۱-۶.
- ۶- ممانی آ، ابراهیمی م، عطایی فرد م. ۱۳۹۲. بهبود ویژگی های حرارتی، مقاومت به آتش و مکانیکی رزین اپوکسی به کمک گرافیت قابل انبساط. نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش های نوین، ۶: ۴۱۰-۴۱۹.
- ۷- ساختمانیان م.ر، بهزادی م. ۱۳۸۵. تأثیر دما و زمان پخت برخواص مکانیکی کامپوزیت های زمینه اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه. ششمین کنفرانس سراسری انجمن هوا فضای ایران. تهران(دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)، اسفند ماه.
- ۸- هور م، رضائزاد س، جودت ح، پیلهور س. ۱۳۹۲. طراحی فرمولاسیون رزین مورد استفاده در ساخت پیش آغشته کامپوزیت پره ی توربین بادی. بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق. تهران، ۱۳-۱۴ آبان.
- ۹- کومین ج. دانش چسب و چسبندگی. ظهوری غ. ۱۳۸۱. چاپ اول. مشهد. سخن گستر، ۲۰۰ص.
- ۱۰- سورنسون دبلیو.آر، کمپبل تی. دبلیو.. شیمی پلیمر عملی. ظهوریان مهر م، نادعلی م، ترپوگوسیان گ. ۱۳۷۶. چاپ اول. موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۶۵۲ص.
- ۱۱- خلینا م. رزین های اپوکسی- بررسی مورفولوژی و خواص ریز ساختارهای آمیزه های اپوکسی. ۱۳۹۲. دوره دکتری. پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران.
- ۱۲- چوبدار ح. ۱۳۹۳. رزین ها. خانه مهندسی شیمی ایران. [www.ICHEH.com](http://www.ICHEH.com). ۱۶دی.

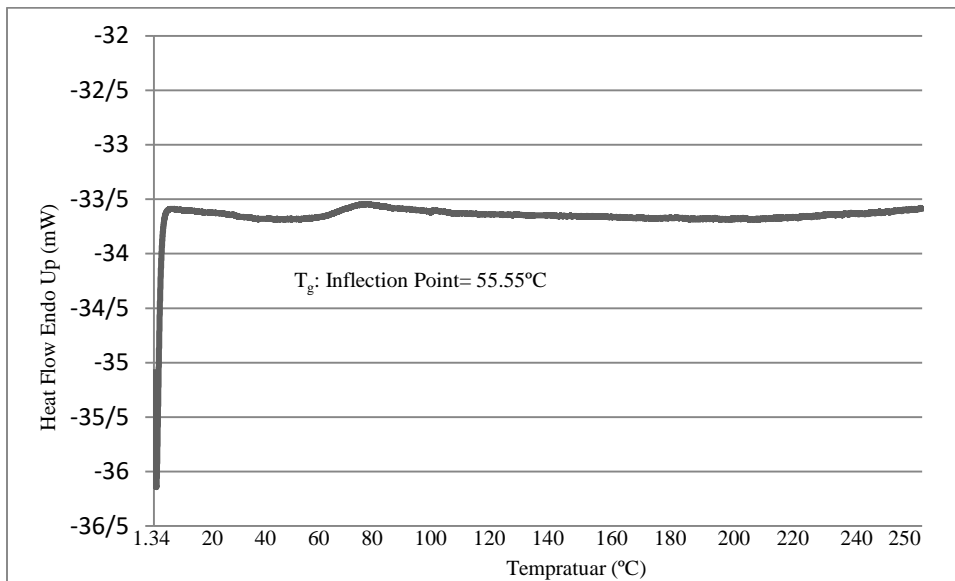
- 1- ASTM D695. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. 2010.
- 2- ASTM D543. Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents. 2006.
- 3- ASTM D2832. Standard Guide for Determining Volatile and Nonvolatile Content of Paint and Related Coatings. 2011.
- 4- ASTM D3895. Standard Test Method for Oxidative-Induction Time Polyolefins by Differential Scanning Calorimetry. 2007.
- 5- ASTM D3850. Standard Test Method for Rapid Thermal Degradation of Solid Electrical Insulating Materials by Thermogravimetric Method (TGA). 2006.
- 6- ASTM D570. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. 2010.
- 7- Balasubramanya P, Natarajan K. 2014. Mechanical and Morphological Studies of Modified Epoxy Resin Matrix for Composite Applications. *Emerging Technology and Advanced Engineering Journal*, 4(1): 281-288.
- 8- Ben Saleh A, Mohd Ishak Z, Hashim A, Kamil W, Ishiaku U. 2014. Synthesis and Characterization of Liquid Natural Rubber as Impact Modifier for Epoxy Resin. *Physics Procedia Journal*, 55: 129-137
- 9- Chen J, Kinloch A, Sprenger S, Taylor A. 2013. The Mechanical Properties and Toughening Mechanisms of an Epoxy Polymer Modified with Polysiloxan-based Core-Shell Particles. *Polymer Journal*, 54: 4276-4289.
- 10- Grimsley B, Hubert P, Song X, Cano R, Loos A, Pipes R. 2002. Effects of Amine and Anhydride Curing Agents on the Vartm Matrix Processing Properties. *SAMPE Journal*, 38(4): 8-15.
- 11- Hardis, R., Jessop J, Peters F.E. Kessler M.R. 2013. Cure Kinetics Characterization and Monitoring of an Epoxy Resin Using DSC, Raman Spectroscopy, and DEA. *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing Journal*, 49: 100-108.
- 12- Khosravi E, Musa O. 2011. Thermally Degradable Thermosetting Materials. *European Polymer Journal*, 47: 465-473.
- 13- Kinloch A.J, Lee S.H, Taylor A.C. 2014. Improving the Fracture Toughness and the Cyclic-Fatigue Resistance of Epoxy-Polymer Blend, *Polymr Journal*, 55: 6325-6334.



- 14- Lu Sh , Ban J, Yu Ch, Deng W. 2010. Properties of Epoxy Resins Modified with Liquid Crystalline Polyurethane. *Iranian Polymer Journal* 19 (9): 669-678.
- 15- Odegard G.M., Jensen B.D, Gowtham S., Wu J, He J, Zhang Z. 2014. Predicting Mechanical Response of Cross linked Epoxy Using ReaxFF. *Chemical Physics Letters*, 591: 175-178.
- 16- Rane U. G, Sabnis A, Shertukde V. 2014. Synthesis and Characterization of Imide Ontaining Hybrid Epoxy Resin with Improved Mechanical and Thermal Properties. *International Journal of Polymer Science*, 2014: 10 p.
- 17- Singla M, Chawla V. 2010. Mechanical Properties of Epoxy Resin – Fly Ash Composite. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(3): 199-210.
- 18- Sprenger, S. 2013. Epoxy resin Composites with Surface-Modified Silicon Dioxide Nanoparticles: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(3): 1421-1428.
- 19- Souza J, Reis J. 2013. Thermal behavior of DGEBA (Diglycidyl Ether of Bisphenol A) Adhesives and its Influence on the Strength of Joints. *Applied Adhesion Science*, 1(6): 1-10.
- 20- Merad, L., Benyoucef B., Abadie M.J.M., Charles J.P. 2014. Characterization and Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Experimental Techniques*, 38(1): 59-66.
- 21- Ardebili H, Petch M. 2009. *Encapsulation Technologies for Electronic Application*. 1<sup>st</sup> edn. Andrew W, 504 p.
- 22- Braun D, Cherdon H, Ritter H. 2001. *Polymer Synthesis: Theory and Practice: Fundamentals, Methods, Experiments; with 31 Tables*. Springer Science & Business Media, 333 p.
- 23- Dodiuk H, Goodman S. 2013. *Handbook of Thermoset Plastics*. Andrew W, 800 p.
- 24- Ebewel H O.. 1996. *Polymer Science and Thecnology*. New York: CRC Press, 530 p.
- 25- Kutz M. 2012. *Handbook of Environmental Degradation of Materials*. Ray S, Cooney R. Thermal Degradation of Polymer and Polymer Composites. Andrew W. 936 p.
- 26- Lee H., Neville K. 1967. *Handbook of epoxy resins*. New York. McGraw-Hill. 922p.
- 27- Lobo H, Bonilla J. 2003. *Handbook of Plastic Analysis*. New York. Marcel Dekker, Inc. 620 p.
- 28- Lobo H, Bonilla J. 2003. *Handbook of Plastic Analysis*. Salamon A W., Fielder K J.. Practical Uses of Differential Scanning Calorimetry for Plastics. New York. Marcel

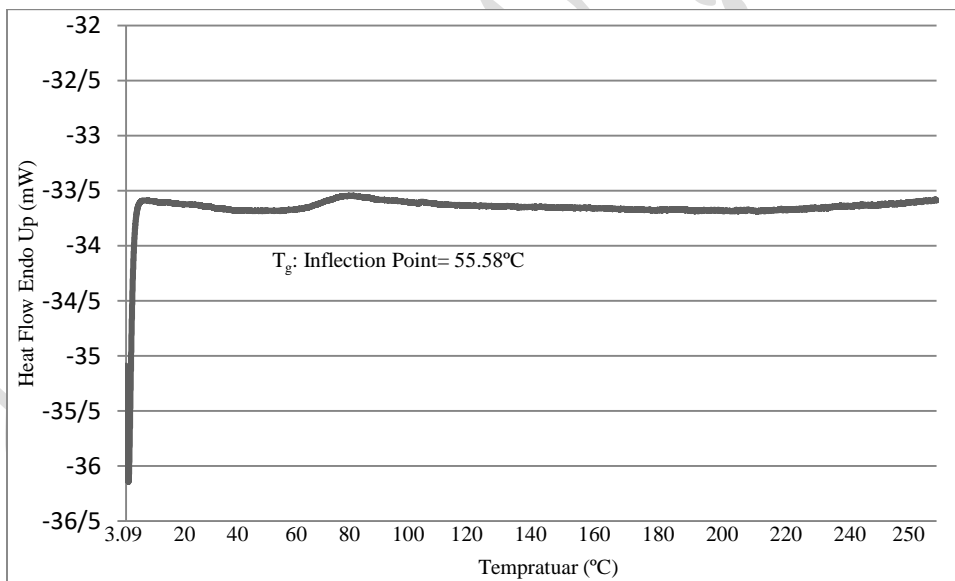
- Dekker, Inc. 620 p.
- 29- Lobo H, Bonilla J. 2003. Handbook of Plastic Analysis. Kinzy S, Falcon R. Thermogravimetric Analysis of Polymers. New York. Marcel Dekker, Inc. 620 p.
- 30- May C. 1987. Epoxy Resins: Chemistry and Technology. 2<sup>nd</sup> edn. New York: CRC Press, 1288 p.
- 31- Ratna D. 2007. Epoxy Composites: Impact Resistance and Retardancy. iSmithers Rapra Publishing, 118 p.
- 32- Yang J. Modification of Epoxy Resins with Functional Hyper branched Poly(Arylen Ester) s. chapter 8, Literature Review of Epoxy Toughening. 154-169. 1998. PhD thesis. Virginia.
- 33- Perkins S. A Study of the Mechanical Behavior of Epoxy System under Different Testing Temperatures. 2011. PhD thesis. University of Florida.

## پیوست الف



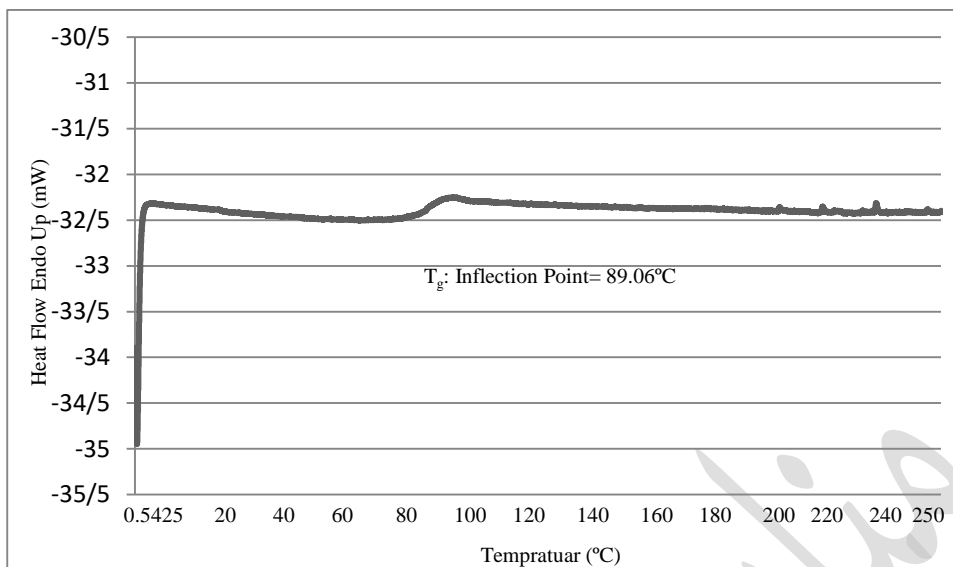
نمونه دارای اپوکسی ۲۰۴۰، نرم کننده ۱۵ phr

نمودار (الف-۱) نمودار T<sub>g</sub> نمونه (ب)، شرایط آزمایش: دما ۰-۲۵۰ °C و ۱۰ °C/min.

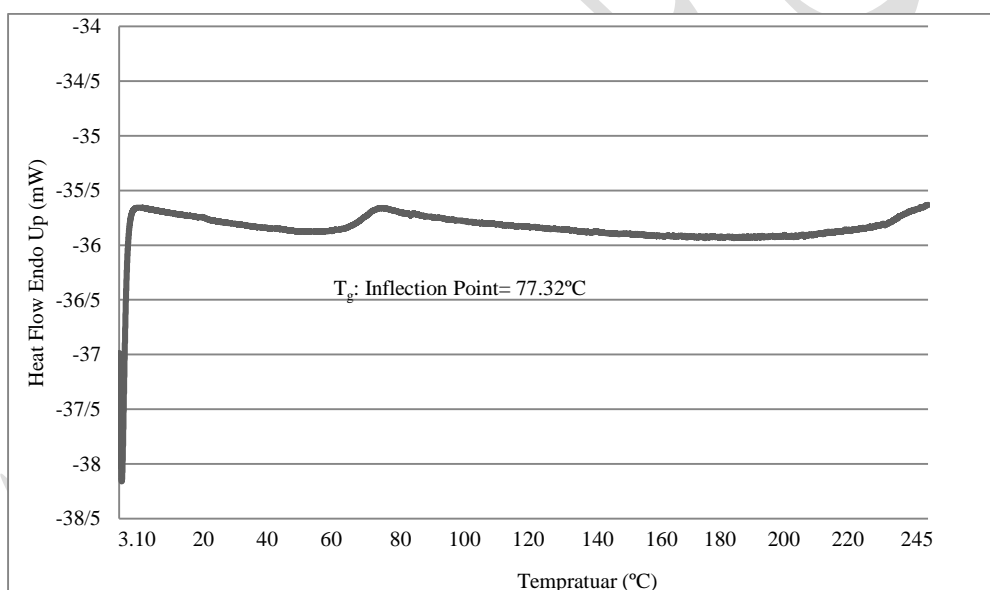


نمونه دارای اپوکسی ۲۰۴۰، اپوکسی ۸۲۸، نرم کننده ۱۵ phr

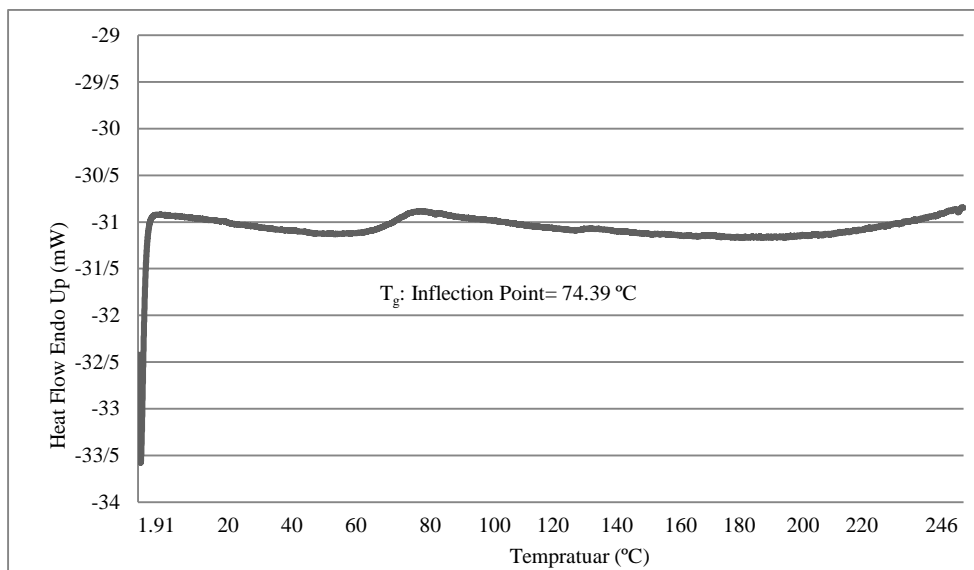
نمودار (الف-۲) نمودار T<sub>g</sub> نمونه (ج)، شرایط آزمایش: دما ۰-۲۵۰ °C و ۱۰ °C/min.



نمونه دارای اپوکسی ۸۲۸ نرم‌کننده ۱۵ phr  
 نمودار (الف-۳) نمودار  $T_g$  نمونه (د)، شرایط آزمایش: دما  $0-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .



نمونه دارای اپوکسی ۲۰۴۰، اپوکسی ۸۲۸ نرم‌کننده ۶ phr  
 نمودار (الف-۴) نمودار  $T_g$  نمونه (ه)، شرایط آزمایش: دما  $0-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .



نمونه دارای اپوکسی ۲۰۴۰، نرم‌کننده ۶phr.

نمودار (الف-۵) نمودار  $T_g$  نمونه (و)، شرایط آزمایش: دما  $250-0$  °C و  $10$  °C/min.

پارس پتروله

## Abstract

Epoxy resins are a class of thermosetting polymers which have properties such as high thermal and chemical stability, excellent adhesion properties, moisture resistance and simply processible. This resins wildly used for adhesive, coating, painting and tools of polymeric. Common of epoxy resins are prepare by reaction of bis phenol A with epichlorohydrin in presence of a base as catalyst. Epoxy resins can be cured with amines, thiols, anhydrides and phenols. In this project some modification of epoxy resin and behavior was achieved with using a plasticizer and accelerator. Samples were prepared using two types of resins, two curing agents, amine accelerator and plasticizer. The resins behavior were studied. Samples of testing are:

Sample (a): epoxy EPOLAM 2040 RESIN with amine curing agent EPOLAM 2047 HARDNER and accelerator,

Sample (b): mixing of two type of epoxy (828 and EPOLAM 2040) and amine curing agent EPOLAM 2047 and plasticizer (DOP) with accelerator,

Sample (c): epoxy EPOLAM 2040 and amine curing agent EPOLAM 2047 with plasticizer (DOP) and accelerator,

Sample (d): epoxy 828 and amine curing agent EPOLAM 2047 with accelerator

The DSC studies were reviled that  $T_g$  of the resin samples were decreased from (a)  $78.7^\circ\text{C}$  and (b)  $89.0^\circ\text{C}$  to  $55.5^\circ\text{C}$  with using DOP as plasticizer. The volatile content of the same carried out at  $105^\circ\text{C}$  during 3 hour were (a)  $-0.10\%$ , (b)  $-0.18\%$ , while the value for the plasticizer same were (c)  $-0.10\%$  and (d)  $-0.11\%$ . Thermal decomposition of the samples were (a)  $350^\circ\text{C}$ , (b)  $373^\circ\text{C}$  and (c)  $345^\circ\text{C}$  (d),  $365^\circ\text{C}$ . Inflation present in acetone solvent showed for samples (a)  $24.3\%$ , (b)  $17.5\%$  and  $37.5\%$ ,  $38.1\%$  respectively for (c) and (d). Water absorption percent were for samples within plasticizer (a)  $0.22\%$  and (d)  $0.16\%$  and samples without plasticizer (b)  $0.13\%$ , (c)  $0.17\%$ .

Key words: epoxy resin, curing agent, thermal decomposition, plasticizer.