

مقایسه پایداری حرارتی رزین های اپوکسی پخت شده با مشتقات بنزیلیدین بیس- (۴-هیدروکسی کومارین)

جلیل خضری، قاسم راه‌پایما*

گروه شیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لامرد، لامرد، فارس، ایران.

چکیده: در این تحقیق، برای تهیه رزین اپوکسی با کارایی بالا و پایداری حرارتی عالی از مشتقات بنزیلیدین بیس- (۴-هیدروکسی کومارین) به عنوان عامل پخت استفاده شد. برای این منظور ۴ مشتق بنزیلیدین بیس-۴-هیدروکسی کومارین با استفاده از کاتالیست نانوکامپوزیت پلیمری ۲-آمینوفنول/طارونه نخل سنتز گردید. به منظور بررسی ریخت شناسی رزین اپوکسی پخت شده از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. مقایسه پارامترهای دمای شروع تخریب، بازده کربن باقیمانده و پارامترهای سینتیکی برای ارزیابی پایداری حرارتی رزین اپوکسی پخت شده با استفاده از آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) انجام شد. نتایج نشان داد که رزین اپوکسی پخت شده با مشتق ۳ و ۳'-(۴-نیترو بنزیلیدین)- بیس- (۴-هیدروکسی کومارین) دمای شروع تخریب و بازده کربن بالاتری نسبت به سایر مشتقات دارد. پس از مشتق ۴-نیترو به ترتیب مشتقات دارای ۴-کلرو، ۴-فلوئورو و ۴-متیل، پایداری حرارتی بالاتری دارند. بنابراین می توان گفت که گروه نیترو پایداری حرارتی بالاتری را نسبت به کلر، فلوئور و متیل برای رزین اپوکسی پخت شده فراهم کرده است. مشتقات بنزیلیدین ۴-هیدروکسی کومارین به دلیل دارا بودن حلقه های آروماتیک، پایداری حرارتی بالایی را برای رزین اپوکسی پخت شده به ارمغان می آورند.

واژگان کلیدی: رزین اپوکسی، نانوکامپوزیت، ۴-هیدروکسی کومارین، طارونه نخل، پایداری حرارتی

G.rahpaima@yahoo.com

رزین های اپوکسی به دلیل ویژگی های برجسته ای مانند پایداری شیمیایی بالا، چسبندگی و پوشش دهی عالی برای بسترهای متنوع، خواص مکانیکی خوب، افت حجمی کم در زمان پخت، مقاومت در برابر ضربه و استحکام کششی بالا، مقاومت الکتریکی خوب، پایداری حرارتی و سازگاری با دسته گسترده ای از تقویت کننده ها، کاربردهای فراوانی در شاخه های مختلف علوم و صنعت پیدا کرده اند. از جمله این کاربردها می توان به صنایع تولید چسب، رنگ و کف پوش ها، پوشش دهی قطعات در صنعت خودرو، تولید عایق ها و صنایع الکترونیک، تولید لمینت ها و کامپوزیت های مختلف اشاره کرد [۸-۵].

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت روز افزون صنعت و تکنولوژی، مواد پلیمری به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا و خواص منحصر بفرد خود توجهات زیادی را به خود جلب کرده اند. رزین های اپوکسی یکی از مهمترین مواد پلیمری یا شبه پلیمری هستند که جزو خانواده پلیمرهای ترموست یا گرما سخت هستند. این رزین ها که اولین بار توسط پریشاودر سال ۱۹۰۹ میلادی کشف شد، به وسیله حضور بیش از یک حلقه ی سه عضوی معروف به گروه اپوکسی مشخص می شوند [۴-۱].

۲- بخش تجربی

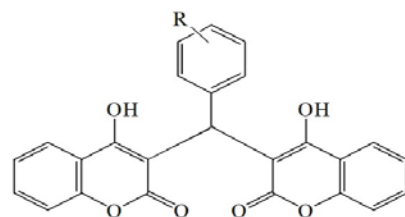
۲-۱- مواد شیمیایی و تجهیزات

تمامی مواد شیمیایی و حلال های مورد استفاده در این مطالعه از شرکت های مرک و آلدریچ تهیه شد و بدون خالص سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفت. همچنین رزین اپوکسی از نوع دی گلیسیدیل اتر بیس فنول A (DGEBA) از پتروشیمی ایران تهیه گردید. به منظور پخش یکنواخت ذرات و همگن سازی محلول ها در طی مراحل سنتز از دستگاه فراصوت (اولتراسونیک) مدل S30H ساخت کشور آلمان استفاده شد. به منظور خشک کردن ترکیبات از آن خلأ مدل Burker ساخت کشور آلمان استفاده گردید. پیشرفت واکنش توسط کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) با استفاده از صفحه های سیلیکاژل مرک گرید ۶۰ GF254 کنترل گردید. همچنین آشکارسازی ترکیبات توسط تابش دهی با نور فرابنفش (UV) انجام شد. جهت مطالعه و تخمین اندازه نانو ذرات از میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل KYKY-3200 ساخت کشور امریکا و ژاپن استفاده شد. برای اندازه گیری نقطه ذوب نمونه های سنتز شده از دستگاه الکتروترمال مدل ۹۱۰۰ استفاده شد. پایداری حرارتی نمونه های رزین اپوکسی تهیه شده با استفاده از دستگاه آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) مدل Perkin-Diamond, USA Elmer Pyris بررسی شد.

۲-۲- روش تهیه پلیمر ۲-آمینوفنول

برای تهیه ی نمونه پلیمری ابتدا ۰/۰۰۹ مول مونومر ۲-آمینوفنول در ۱۰۰ میلی لیتر محلول هیدروکلریک اسید ۱ مولار به خوبی حل شد و به بالن انتقال داده شد. در این پژوهش برای ساخت پلیمر و کامپوزیت از آغازگر KIO_3 استفاده شد. به این صورت که مقدار ۰/۰۰۴ مول آغازگر KIO_3 در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. سپس این محلول به بورت انتقال داده شد. در ادامه محلول آغازگر در مدت زمان ۳۰ دقیقه و در دمای محیط به محلول مونومر درحال همزده شدن افزوده شد. پس از اضافه شدن کامل آغازگر به محتویات بالن، مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت روی همزن قرار داده شد تا واکنش کامل شود، پس از کامل شدن واکنش، مخلوط حاصل با استفاده از کاغذ صافی

ویژگی ها و خواص رزین اپوکسی که پیشتر اشاره شد به سیستم پخت آن بستگی دارد. فرآیند پخت رزین شامل واکنش گروه اپوکسی رزین با سایت فعال عامل سخت کننده یا عامل پخت است که در طی آن یک شبکه سه بعدی با اتصالات عرضی ایجاد می شود و محصول نهایی فرآورده ای خنثی و پایدار می باشد [۴،۳]. گرمای مبادله شده، سینتیک پخت و تخریب حرارتی رزین اپوکسی و همچنین خواص نهایی محصول مانند گرانشی، زمان ژل شدن سامانه رزین، عمر مفید آن، دمای انتقال شیشه ای، نوع پیوند شیمیایی، درجه شبکه ای شدن، مقاومت شیمیایی و گرمایی رزین به عواملی چون شرایط پخت، نوع رزین و نوع عامل پخت بستگی دارد. فرآیند پخت رزین می تواند تحت شرایط مختلف از جمله پخت در دمای اتاق، پخت با اعمال حرارت و پخت با استفاده از تابش دهی توسط پرتو الکترونی، مادون قرمز یا نور ماوراء بنفش انجام گردد [۹-۱۲]. انتخاب نوع عامل پخت یکی از مهم ترین پارامترهای موثر در خواص رزین اپوکسی پخت شده می باشد. به دلیل اهمیت نقش عامل سخت کننده در سیستم پخت، تاکنون پژوهش های زیادی برای بهبود خواص رزین اپوکسی از طریق پخت با سخت کننده های مختلف انجام شده است. در تحقیق حاضر، مشتقات بنزیلیدین بیس (۴- هیدروکسی کومارین) (شکل ۱)، به عنوان عامل پخت با استفاده از ۲-آمینوفنول و طارونه نخل طی روشی کارآمد سنتز گردید. طارونه نخل، غلاف چوبی با بافتی نرم است که در آن سلول های جنسی به صورت رشته هایی حاوی گرده وجود دارد. از این غلاف عرق گیاهی خوش عطری به دست می آید که آرامبخش، ضد استرس و برای درمان یرقان موثر است. پس از سنتز، اثر ساختار شیمیایی عامل پخت بر خواص حرارتی رزین اپوکسی پخت شده بررسی گردید و با روش آنالیز وزن سنجی حرارتی، خواص حرارتی آن بررسی شد.



R: 4-NO₂, 4-Cl, 4-F, 4-Me

شکل ۱. ساختار مشتقات بنزیلیدین بیس (۴-هیدروکسی کومارین)

پایه ۲-آمینوفنول و طارونه نخل به عنوان کاتالیستی ناهمگن و کارآمد سنتز گردید [۱۳].

۲-۶- روش پخت رزین اپوکسی با مشتقات بنزیلیدین- بیس- (۴-هیدروکسی کومارین)

در طی فرآیند پخت پس از مخلوط کردن صحیح رزین اپوکسی و سخت کننده، مخلوط رزین اپوکسی شروع به سخت شدن می کند تا به جسمی جامد تبدیل شود. بدین منظور رزین اپوکسی با عامل پخت (هاردنر) با نسبت استوکیومتری مشخص مخلوط شد و کاملاً به صورت همگن در آمد. برای این کار، ۰/۱۱۴ گرم رزین اپوکسی به ۰/۲۲۸ گرم سخت کننده مشتقات بنزیلیدین- بیس- (۴-هیدروکسی کومارین) اضافه شد. در مرحله بعد، نمونه در ابتدا به مدت ۲۴ ساعت درون آن در دمای 80°C و سپس در دمای 120°C به مدت ۶ ساعت در شرایط پخت آهسته قرار گرفت تا فرآیند پخت تکمیل گردد.

۳- نتایج و بحث

تعیین اندازه ذرات و بررسی شکل هندسی سطحی پلی ۲-آمینوفنول و نانوکامپوزیت ۲-آمینوفنول/طارونه نخل با استفاده از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گرفت. تصاویر SEM مربوطه که در شکل ۲ آورده شده است، نشان می دهد اندازه متوسط ذرات پلی ۲-آمینوفنول حدود ۱۸۷ نانومتر و میانگین ابعاد نانوکامپوزیت ۴۰٪ در حدود ۴۱ نانومتر می باشد. همانطور که مشاهده می شود پلیمر ابتدایی به دلیل خاصیت چسبندگی ذاتی پلیمرها تمایل به کلوخه شدن دارد و ابعاد ذرات در نمونه پلی ۲-آمینوفنول بیشتر است. اما در نمونه نانوکامپوزیت به علت قرار گرفتن الیاف طارونه به عنوان هسته و چینش ذرات پلیمر روی آن یک ساختار با توزیع یکنواخت و با اندازه ذرات کوچکتر تشکیل شده است. قابل ذکر است که کاهش ابعاد ذرات از طریق افزایش نسبت سطح به حجم، خاصیت کاتالیستی نانوکامپوزیت را بهبود می بخشد [۱۳].

از آنجایی که نقطه ذوب هر ترکیب، یک ثابت فیزیکی است می توان از آن به عنوان یکی از معیارهای شناسایی فرآورده های یک واکنش معین و یا سنجش نسبی خلوص یک ماده استفاده کرد.

صاف گردید و به منظور خارج شدن مونومرهای واکنش نداده با متانول شستشو داده شد. در نهایت پلیمر سنتز شده که بر روی کاغذ صافی باقی مانده بود، به درون آن با دمای 60°C منتقل شد و به مدت ۲۴ ساعت درون آن نگهداری شد تا آب باقی مانده درون آن نیز خارج شود.

۲-۳- آماده سازی طارونه نخل

ابتدا این الیاف با آب مقطر جهت حذف ناخالصی هایی از قبیل شن، ماسه، برگ و ترکیبات رنگی شستشو داده شد. سپس درون آن در دمای 100°C برای مدت زمان ۲ ساعت خشک شد. سپس مواد خشک شده در یک آسیاب خانگی خرد شدند و چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد تا ناخالصی های باقی مانده نیز حذف شوند. بعد از صاف کردن، پوسته های خرد شده توسط الک های ۲۰۰-۶۰ مش، دانه بندی شدند. پودر حاصل در ظرفی بدون منفذ تا زمان استفاده نگهداری شد.

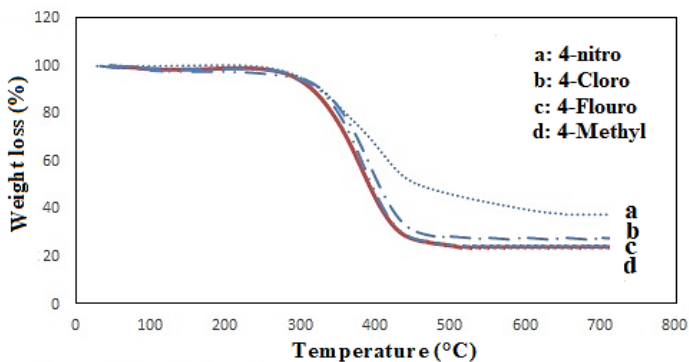
۲-۴- روش تهیه نانوکامپوزیت ۴۰ درصد

برای تهیه ی ۱ گرم نانو کامپوزیت ۴۰ درصد، در مرحله ی اول، ۰/۴ گرم طارونه ی نخل و ۰/۶ گرم مونومر (۲-آمینو فنول) به ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۱ مولار HCl اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه درون حمام اولتراسونیک قرار گرفت. در مرحله ی دوم، ۱/۴۸ گرم آغازگر KIO_3 در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده و به درون بورت انتقال داده شد. محلول درون بورت به آرامی و در مدت زمان ۳۰ دقیقه به محلول اول یعنی مخلوط مونومر، طارونه ی نخل و هیدروکلریک اسید افزوده شد. در این مدت محلول به خوبی توسط همزن همزده شد. در انتها پس از صاف کردن کامپوزیت تشکیل شده، رسوب حاصل با استفاده از ۱۰۰ میلی لیتر متانول شستشو داده شده و سپس در درون آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ الی ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شد.

۲-۵- روش تهیه مشتقات بنزیلیدین- بیس- (۴-هیدروکسی کومارین)

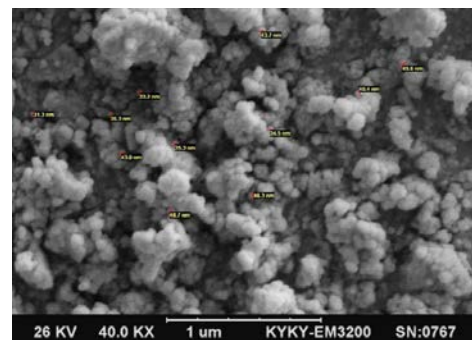
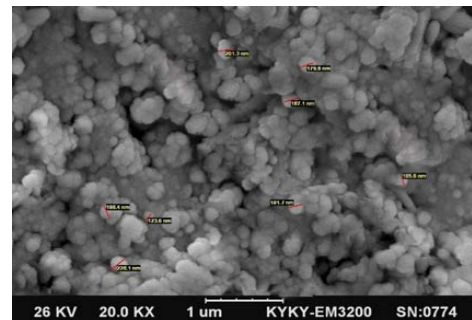
مشتقات بنزیلیدین- بیس- (۴-هیدروکسی کومارین) مطابق آنچه قبلاً گزارش شده است، با استفاده از نانوکامپوزیت پلیمر هادی بر

رزین اپوکسی دی گلیسیدیل بیس فنول A با ترکیب ۳ و ۳'-(۴-نیتروبنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)، ۳ و ۳'-(۴-کلرو بنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)، ۳ و ۳'-(۴-فلوئورو بنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) و ۳ و ۳'-(۴-متیل بنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) تحت پخت قرار گرفت و جهت بررسی پایداری آن از آنالیز وزن سنجی حرارتی استفاده شد که نمودار آن بر حسب دما نسبت به درصد افت وزنی در شکل ۳، آورده شده است. اندازه گیری در محدوده دمای محیط تا ۸۰۰°C تحت اتمسفر نیتروژن و اکسیژن و با سرعت حرارت-دهی ۷/۵ °C/min انجام شد. در منحنی ترکیب ۳ و ۳'-(۴-نیترو بنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) یک افت وزنی در دمای ۲۷۵°C است که انرژی شکست پیوندهای تشکیل یافته با ۳ و ۳'-(۴-نیتروبنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) بالا می باشد. در سایر منحنی ها نتایج مشابه می باشد و اختلاف ناچیزی مشاهده می شود. با توجه به منحنی ها، پخت با عامل پخت ۳ و ۳'-(۴-نیترو بنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) بالاترین مقاومت و پخت با عامل پخت ۳ و ۳'-(۴-متیل بنزیلیدین)- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) پایین ترین مقاومت حرارتی را نشان می دهد.



شکل ۳. طیف TGA رزین اپوکسی پخت شده با مشتقات بنزیلیدین بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)

برای محاسبه انرژی فعالسازی (Ea) رزین اپوکسی پخت شده می توان از داده های منحنی های TGA، از طریق روش انتگرال مبتنی بر معادلات هورویتز-متزگر^[۱۴] و برویدو^[۱۵] استفاده کرد (معادلات ۱ و ۲).



شکل ۲. تصویر SEM پلی ۲-آمینوفنول (بالا) و نانوکامپوزیت ۲-آمینوفنول / طارونه نخل (پایین)

بدین منظور مشتقات بنزیلیدین بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) توسط اندازه گیری نقطه ذوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل که در جدول ۱ آورده شده است، نشان داد که اعداد به دست آمده با منابع موجود مطابقت دارد [۱۳].

جدول ۱. نقطه ذوب مشتقات بنزیلیدین بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)

ردیف	آلدهید	نقطه ذوب (°C)
۱	۴-نیترو بنزآلدهید	۲۳۲-۲۳۴
۲	۴-کلرو بنزآلدهید	۲۵۶-۲۵۸
۳	۴-فلوئورو بنزآلدهید	۲۱۱-۲۱۲
۴	۴-متیل بنزآلدهید	۲۶۶-۲۶۸

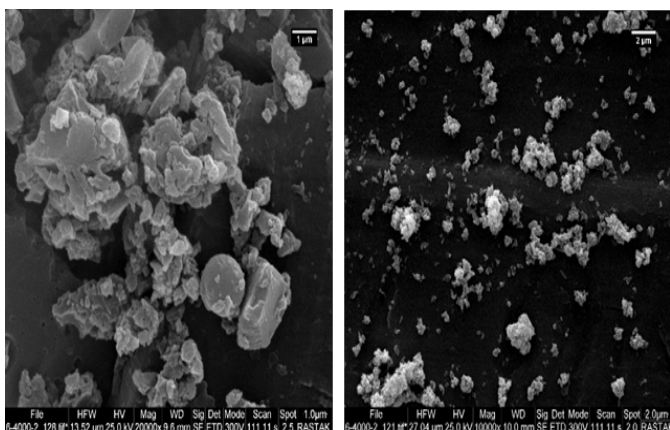
استفاده از روش های آنالیز حرارتی برای مطالعه و بررسی رفتار حرارتی و سینتیک تخریب رزین اپوکسی بسیار معمول است. با استفاده از این روش ها پارامترهای سینتیکی واکنش های انجام شده در طی فرآیند تخریب حرارتی رزین های اپوکسی قابل تعیین است. از بین این روش ها، روش آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA) برای مطالعه سینتیک تخریب حرارتی و محاسبه انرژی حاصل از فرآیند تخریب حرارتی بیشتر استفاده می شود. اساس روش وزن سنجی حرارتی تغییر وزن نمونه با افزایش دما یا زمان است که با توجه به تغییرات وزنی، واکنش تخریب حرارتی نمونه مطالعه بررسی می شود.

¹ Horowitz-Metzger

² Broido

جدول ۲. پارامترهای بدست آمده توسط روش های هارونیز- مترکز و بریدو برای رزین اپوکسی پخت شده با مشتقات بنزیلیدین بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)

عامل پخت	۴- نیترو بنزآلدئید	۴- کلرو بنزآلدئید	۴-فلوئورو بنزآلدئید	۴-متیل بنزآلدئید
انرژی فعال سازی هارونیز- مترکز	۶۳/۲۶	۹۸/۷۴	۸۹/۵۷	۹۸/۹۶
انرژی فعال سازی بریدو	۶۲/۰۱	۹۷/۸۳	۸۹/۵۱	۹۸/۴۴
دمای شروع تخریب	۵۵۵	۵۵۲	۵۴۸	۵۵۰
دمای ماکزیمم	۶۷۱	۶۲۲	۶۵۰	۶۴۸
بازده کربن باقی مانده	۳۷	۲۸	۲۵	۲۳



شکل ۶ عکس های SEM با بزرگنمایی متفاوت مربوط به رزین اپوکسی پخت شده با ۳ و ۳' و ۴- نیتروبنزیلیدین- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)

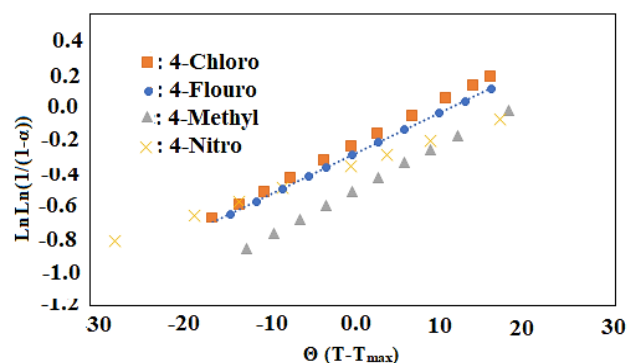
۴- نتیجه گیری

در نتیجه پخت رزین اپوکسی با مشتقات بنزیلیدین ۴-هیدروکسی کومارین، رزین اپوکسی با کارایی بالا و پایداری حرارتی عالی ایجاد شد. مشتقات بنزیلیدین ۴-هیدروکسی کومارین در حضور کاتالیست نانوکامپوزیت ۲-آمینوفنول/طارونه نخل سنتز شد. با مقایسه دماهای شروع تخریب، مقدار کربن باقیمانده و پارامترهای سینتیکی که با استفاده از آنالیز وزن سنجی حرارتی بدست آمد، پایداری حرارتی رزین اپوکسی پخت شده مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که از بین مشتقات بنزیلیدین ۴-هیدروکسی کومارین، مشتق دارای ۴-نیترو دمای شروع تخریب و کربن باقیمانده بالاتری دارد و در نتیجه پایداری حرارتی بالاتری نسبت

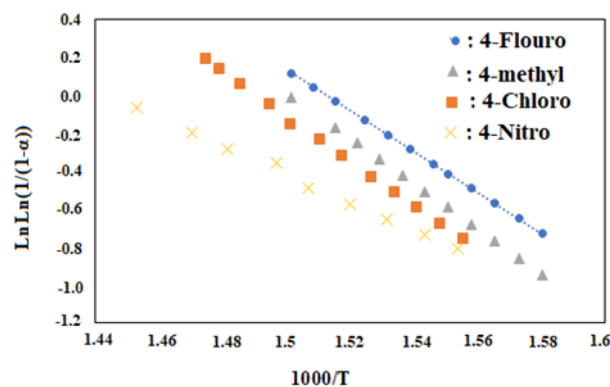
$$\ln[\ln(1-\alpha) - 1] = Ea\theta/RT_{Max}^2 \quad (1)$$

$$\ln[\ln(1-\alpha) - 1] = -Ea/RT_{Max} \quad (2)$$

که نسبت تخریب، θ تفاوت بین T و T_{Max} ، T_{Max} دمای حداکثر سرعت کاهش وزن و R ثابت گاز ایده آل است. E_a بر اساس معادله هورویتز-مترکز و معادله بریدو در شکل های ۴ و ۵ مشاهده می شود. همچنین محاسبات مربوطه در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۴. نمودار هورویتز-مترکز رزین اپوکسی پخت شده با مشتقات بنزیلیدین بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)



شکل ۵. نمودار بریدو رزین اپوکسی پخت شده با مشتقات بنزیلیدین بیس-(۴-هیدروکسی کومارین)

تصاویر SEM مربوط به رزین اپوکسی پخت شده با ۳ و ۳' و ۴- نیتروبنزیلیدین- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) در شکل ۶ آورده شده است. پراکندگی ذرات ۳ و ۳' و ۴- نیتروبنزیلیدین- بیس-(۴-هیدروکسی کومارین) در تصاویر مشاهده می شود، که در برخی نقاط تمایل به کلوخگی وجود دارد.

4. H.Q. Pham, J.M. Maurice, Epoxy resins, Ullmann's Encycl, Ind. Chem. 156-244 (2000).
5. S. Montserrat, M. Jiří, Thermochem. Acta. 228, 47-60 (1993).
6. K. Liu, L. Sun-Mou, H. Jin-Lin, H. Kuo-Huang, Polym. Compos. 41, 4277-4287 (2020).
7. H. Du, C.X. Zhao, J. Lin, J. Guo, B.Wang, Z. Hu, Q. Shao, D. Pan, E.K. Wujcik, Z. Guo, Chem. Record, 18, 1365-1372 (2018).
8. L. Zhang, H. Jiao, H. Jiu, J. Chang, Sh. Zhang, Y. Zhao, Compos. 90, 286-295 (2016).
9. I. Yarovsky, E. Evans, Polymer. 43, 963-969 (2002).
10. M. Vafayan, M.H.R. Ghoreishy, H. Abedini, M.H. Beheshty, Iran. Polym. 24, 459-469 (2015).
11. H.G. Waddill, W.Y. Su, Accelerator for curing epoxy resins (1993).
12. O. Hara, Three Bond Technical News. 32, 1-10 (1990).
13. M.R. Nazarifar, G. Rahpeima, J. Khezri, Iran. Chem. 40 (1), 45-53 (2021).
14. H.H. Horowitz, G.A. Metzger, Anal. Chem. 35, 1464 (1963).
15. A. Broido, Polym. Sci. Part A-2: Polym. Phys. 7, 1761 (1969).

به سایر مشتقات دارد که می توان آن را به حضور نیتروژن در این گروه نسبت داد. همچنین انرژی فعالسازی تخریب رزین اپوکسی پخت شده با مشتق دارای ۴- نیترو بدست آمده با استفاده از روش های هاروویتز-متزگر و بریدو نیز بالاتر از سایر مشتقات بود. رزین های اپوکسی پخت شده با مشتقات بنزیلیدین ۴- هیدروکسی کومارین، بدلیل حضور حلقه های آروماتیک، نیتروژن و اتمهای هالوژن پایداری حرارتی بالایی دارند.

اصلاح رزین های اپوکسی چه در زنجیر اصلی و چه در گروه های جانبی سبب بهبود خواص گرمایی و فیزیکی آنها می شود. در پژوهش حاضر ابتدا مشتقات بنزیلیدین بیس- (۴-هیدروکسی کومارین) در اثر واکنش با مشتقات بنزالدهید و ۴-هیدروکسی کومارین در حضور نانو کامپوزیت ۲-آمینوفنول/طارونه نخل سنتز شد. سپس پخت رزین اپوکسی با ۴ عامل پخت انجام شد و خواص این رزین با آنالیزهای مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که رزین پخت شده با سخت کننده ۳ و ۳- (۴-کلرو بنزیلیدین)-بیس- (۴-هیدروکسی کومارین) از پایداری حرارتی بیشتری برخوردار است.

قدردانی

بدین وسیله از حمایت های دانشگاه آزاد اسلامی واحد لامرد و معاونت پژوهش و فناوری آن در زمینه انجام این پژوهش و فراهم نمودن تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق صمیمانه تشکر و قدردانی می گردد.

مراجع

1. P.K. Balguri, D.G. Harris Samuel, U. Thumu, Mater. 44, 346-355 (2021).
2. H. Nazarpour-Fard, K. Rad-Moghadam, F. Shirini, M.H. Beheshty, G.H. Asghari, Polimery. 63, 253-263 (2018).
3. F.L. Jin, X. Li, S.J. Park, J. Indust. Eng. Chem. 29, 1-11 (2015).

Comparison of thermal stability of cured epoxy resins with benzylidene bis-(4-hydroxycoumarin) derivatives

J. Khezri, Gh. Rahpaima*

Department of Chemistry, Faculty of Chemistry, Islamic Azad University, Lamerd Branch, Lamerd, Fars, Iran

Abstract: In this research, benzylidene bis-(4-hydroxycoumarin) derivatives were used as a curing agent to prepare epoxy resin with high performance and excellent thermal stability. For this purpose, 4-benzylidene bis-4-hydroxycoumarin derivatives were synthesized using 2-aminophenol/Phoenix dactylifera polymer nanocomposite catalyst. Scanning Electron Microscope (SEM) technique was used to investigate the morphology of cured epoxy resin. The comparison of parameters of degradation start temperature, residual carbon yield and kinetic parameters was done to evaluate the thermal stability of cured epoxy resin using thermogravimetric analysis (TGA). The results showed that the epoxy resin cured with 3,3'-(4-nitrobenzylidene)bis(4-hydroxy-coumarin) have a high degradation start temperature and good carbon efficiency rather than other derivatives. After the 4-nitro derivative, the 4-chloro, 4-fluoro and 4-methyl derivatives have higher thermal stability. So it can be said that the nitro group has provided higher thermal stability rather than chloro, fluoro and methyl groups for cured epoxy resin. As a result, benzylidene 4-hydroxycoumarin derivatives bring high thermal stability to cured epoxy resin due to having aromatic rings

Keywords: Epoxy resin, Nanocomposite, 4-hydroxycoumarin, Phoenix dactylifera, Thermal stability