

تهیه رزین‌ها از تری‌گلیسیریدها و اپوکسی‌دار کردن آن‌ها

رحیم ابراهیمی بریسا^{۱*}، محرم حضرتی^۲، ژینو شیخی^۱، علیرضا شاکری^۳
 ۱- گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ
 ۲- تهران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی
 ۳- تهران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه شیمی

دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱، پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۵

به دلیل مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی، به تری‌گلیسیریدها برای تهیه چسب و مواد کامپوزیتی، نسبت به مواد نفتی، توجه بیشتری شده است. در مقاله پیش رو، روش‌های مختلف تولید رزین از تری‌گلیسیریدها و اپوکسی‌دار کردن آن‌ها مطالعه و بررسی شده است. مناطق فعال موجود در تری‌گلیسیریدها مانند پیوندهای دوگانه، کربن‌های آلیلی و گروه استری می‌توانند پیوند شیمیایی برقرار کنند. تری‌گلیسیریدها را می‌توان با واکنش‌هایی مانند پلیمرشدن رادیکال آزاد، حلقه‌گشا یا تراکمی و نیز به کمک اصلاح با انیدریدها، پلی‌ایزوسیانات‌ها و دی‌اسیدها به رزین تبدیل کرد. برای اپوکسی‌دار کردن تری‌گلیسیریدها نیز می‌توان از مواد مختلفی از جمله پرکربوکسیلیک اسیدها، پراکسیدهای آلی یا معدنی و هالوهیدرین‌ها استفاده کرد. اپوکسی‌دار کردن رزین‌های تری‌گلیسیرید باعث شاخه‌دار شدن پلیمر و ایجاد پیوند عرضی در زمان اتصال می‌شود. در نتیجه، پیوند ایجاد شده با رزین‌های تری‌گلیسیرید مقاوم‌تر است. نتایج نشان داده است، استفاده از رزین‌های تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار شده نسبت به رزین‌های معدنی، مانند اوره فرمالدهید، موجب تولید کامپوزیت و دیواره‌های چوبی مقاوم‌تر می‌شود.

بسیار ش

فصلنامه علمی- ترویجی

سال ششم، شماره ۱،

صفحه ۴۳-۵۱، ۱۳۹۵

ISSN: 2252-0449

چکیده



رحیم ابراهیمی بریسا



محرم حضرتی



ژینو شیخی



علی‌رضا شاکری

واژگان کلیدی

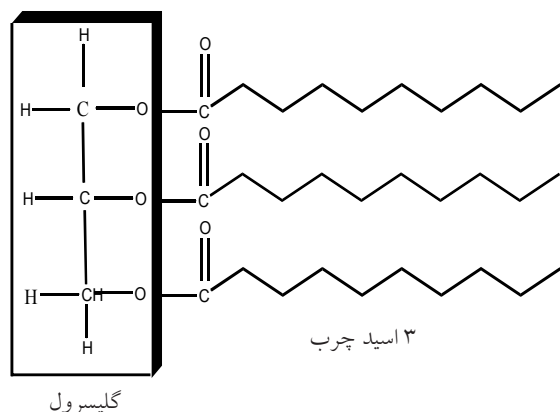
تری‌گلیسیرید،

رزین،

اپوکسی‌دار کردن،

کامپوزیت،

پیوند عرضی



شکل ۱- ساختار اصلی روغن تری‌گلیسیرید.

موجود در ساختار خود به کمک واکنش تراکمی با کومونومرهای مانند دی‌اسید، اپوکسی یا انیدرید می‌توانند به پلیمر تبدیل شوند. گروه‌های مالئیکی نیمه‌استر به مونوگلیسیریدها متصل می‌شوند و از راه واکنش پلیمرشدن رادیکالی اتصال عرضی ایجاد می‌کنند. واکنش تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار با آکریلیک اسید، گروه‌های آکریلی را به ساختار تری‌گلیسیرید وارد می‌کند. واکنش اپوکسی‌دار کردن مونوگلیسیریدها نیز باعث تشکیل پیوندهای عرضی می‌شود [۱].

رزین‌های طبیعی

کامپوزیت‌ها با ماده زمینه پلیمری، از مواد نفتی به‌دست می‌آیند. با افزایش مصرف مواد نفتی، استفاده از منبع جایگزین ضروری است. پیشرفت‌های انجام شده در مهندسی ژنتیک، توسعه الیاف طبیعی و علوم کامپوزیت باعث ایجاد محصولات جدید بهبود یافته از مواد طبیعی تجدیدپذیر می‌شود که می‌توانند تجزیه و بازیافت شوند. از سال ۱۹۹۶، روش‌های شیمیایی زیادی برای استفاده از روغن‌های تری‌گلیسیرید طبیعی به‌عنوان منبع تهیه پلیمرها، چسب‌ها و مواد کامپوزیتی به‌کار رفته‌اند. در شکل ۲ چرخه پلیمرهای برپایه روغن‌های تری‌گلیسیرید نشان داده شده است [۶]. این محصولات نسبت به مواد نفتی، دارای مزایای اقتصادی بودن و زیست‌تجزیه‌پذیری هستند. از این جهت، منبع جایگزین مناسبی برای مواد نفتی به‌شمار می‌روند.

از آنجا که ویژگی فیزیکی تری‌گلیسیریدها بسته به نوع اسیدهای چرب آن‌ها متفاوت است، انتخاب تری‌گلیسیرید مناسب برای دستیابی به پلیمر با ویژگی‌های مدنظر دارای اهمیت است. برای نمونه، بزرگ به‌طور معمول برای ساخت اتصال‌دهنده رنگ استفاده می‌شود. زیرا بزرگ دارای اسیدهای چرب سیرنشده است که با

مقدمه

تری‌گلیسیریدها از اتصال گروه کربوکسیل اسیدهای چرب با گلیسرول به‌وجود می‌آیند. اسیدهای چرب از زنجیر هیدروکربنی بلند آگریز و سر آبدوست گروه کربوکسیل تشکیل شده است. این ترکیبات، بسته به تعداد پیوندهای دوگانه، به دو گروه سیرنشده و سیرنشده دسته‌بندی می‌شوند. در اسیدهای چرب سیرنشده، اتم‌های کربن بیشترین تعداد اتم هیدروژن را با توجه به ظرفیت پذیرش آن‌ها دریافت می‌کنند. ساختار زنجیر هیدروکربن اسیدهای چرب سیرنشده مستقیم است. این موضوع، موجب افزایش دمای ذوب آن‌ها می‌شود. اما در اسیدهای چرب سیرنشده، ظرفیت پذیرش هیدروژن برای یک یا چند اتم کربن خالی است. وجود پیوندهای دوگانه موجب پدید آمدن خمیدگی در ساختار زنجیر هیدروکربن و در نهایت، کاهش دمای ذوب این اسیدها می‌شود.

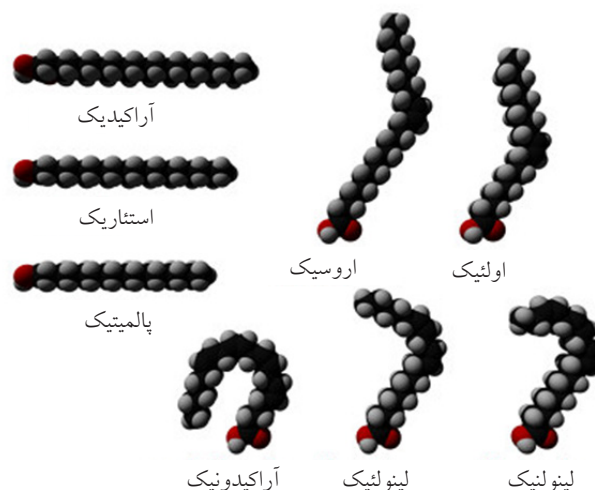
استفاده از روغن‌های تری‌گلیسیرید طبیعی برای تهیه چسب و مواد کامپوزیتی در چند سال گذشته، توجه پژوهشگران و صنایع را به خود جلب کرده است. این محصولات، نسبت به مواد برپایه نفت، مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی دارند. از این رو، جایگزین مناسبی برای چسب‌های پایه‌نفتی هستند [۳-۱]. روغن‌های تری‌گلیسیرید، ترکیبات استری هستند. آن‌ها از یک مولکول گلیسرول و ۳ مولکول اسید چرب تشکیل شده‌اند (شکل ۱). این روغن‌ها در آب نامحلول‌اند و از منابع حیوانی یا گیاهی به‌دست می‌آیند. اغلب روغن‌ها از اسیدهای چرب تشکیل شده‌اند. تعداد کربن‌های آن‌ها نیز بین ۱۴ تا ۲۰ کربن، به همراه ۰ تا ۳۰ پیوند دوگانه به ازای هر اسید چرب است [۴]. در ساختار اسیدهای چرب، گروه‌هایی مانند اپوکسی، هیدروکسیل یا پیوند سه‌گانه نیز می‌تواند وجود داشته باشند. از عوامل مهمی که بر ویژگی‌های روغن و اسید چرب اثرگذار است، درجه سیرنشده‌گی است. از آنجا که خواص فیزیکی تری‌گلیسیریدها بسته به نوع اسیدهای چرب آن‌ها متفاوت است، انتخاب تری‌گلیسیرید مناسب برای دستیابی به پلیمری با خواص مدنظر دارای اهمیت است [۵]. تری‌گلیسیرید را می‌توان به مونوگلیسیرید تبدیل کرد. این محصول، که به‌طور معمول رزین آلکید نیز نامیده می‌شود، به‌دلیل قیمت کم و انعطاف‌پذیری خوب به‌عنوان پوشش‌های سطحی به‌کار می‌رود. در این کاربرد، پیوندهای دوگانه موجود در مونوگلیسیرید برای ایجاد پوشش سطحی وارد واکنش می‌شوند.

واکنش گلیکول‌کافت روشی برای تبدیل تری‌گلیسیرید به مونوگلیسیرید است. از مونوگلیسیریدها می‌توان برای پوشش‌های سطحی استفاده کرد. مونوگلیسیریدها به‌واسطه گروه‌های الکلی

پلیمرهای نفتی، ایجاد کرد. هدف از این کار دستیابی به وزن مولکولی و چگالی پیوند عرضی بیشتر است. همچنین، می‌توان با به‌کاربردن گروه‌های شیمیایی ویژه، در شبکه پلیمر سفتی ایجاد کرد (مانند ساختارهای آروماتیک و حلقوی). در شکل ۳، روش‌های مختلف پلیمرشدن تری‌گلیسیریدها نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد، در ساختارهای ۵ تا ۸ و ۱۱ پیوندهای دوگانه موجود در تری‌گلیسیرید، مواضع فعال برای واکنش با گروه‌های پلیمر شده هستند. در تری‌گلیسیرید طبیعی این امکان وجود دارد که گروه‌های مالئیکی (ساختار ۵) به آن متصل شوند. همچنین، از مناطق سیر نشده موجود در تری‌گلیسیرید می‌توان برای واکنش با گروه‌های اپوکسی (ساختار ۷) یا گروه‌های هیدروکسیل (ساختار ۸) استفاده کرد. چنین تغییراتی باعث می‌شود، تری‌گلیسیرید با پلیمرشدن تراکمی یا حلقه‌گشا پلیمر شود. این مراحل شیمیایی در تری‌گلیسیریدهای طبیعی نیز، که دارای گروه‌های اپوکسی و هیدروکسیل‌اند، درست است. واکنش تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار شده با آکریلیک اسید باعث وارد شدن گروه‌های آکریلی به ساختار تری‌گلیسیرید می‌شود (ساختار ۶). در حالی که، واکنش تری‌گلیسیرید هیدروکسیل‌دار شده با مالئیک انیدرید باعث ورود مالئیک نیمه‌استر و استرها به ساختار تری‌گلیسیرید می‌شود (ساختار ۱۱). چنین مونومرهایی در مرحله بعد مانند اغلب رزین‌های وینیل‌استر با حلال واکنش‌گر ترکیب شده و به‌وسیله پلیمرشدن رادیکال آزاد، پخت می‌شوند [۷].

روش دوم سنتز مونومرها از تری‌گلیسیریدها، تبدیل تری‌گلیسیرید به مونوگلیسیرید با واکنش گلیسرول‌کافت (Glycerolysis) (ساختار ۳-الف) یا واکنش آمیدی شدن (ساختار ۲ و ۳-ب) است. مونوگلیسیریدها به‌دلیل قیمت کم و انعطاف‌پذیری به‌عنوان پوشش‌های سطحی به‌کار می‌روند. به‌طور معمول، مونوگلیسیریدها را رزین‌های آلکید نیز می‌نامند. در این حالت، پیوندهای دوگانه



شکل ۲- نمای تعدادی از اسیدهای چرب [۷].

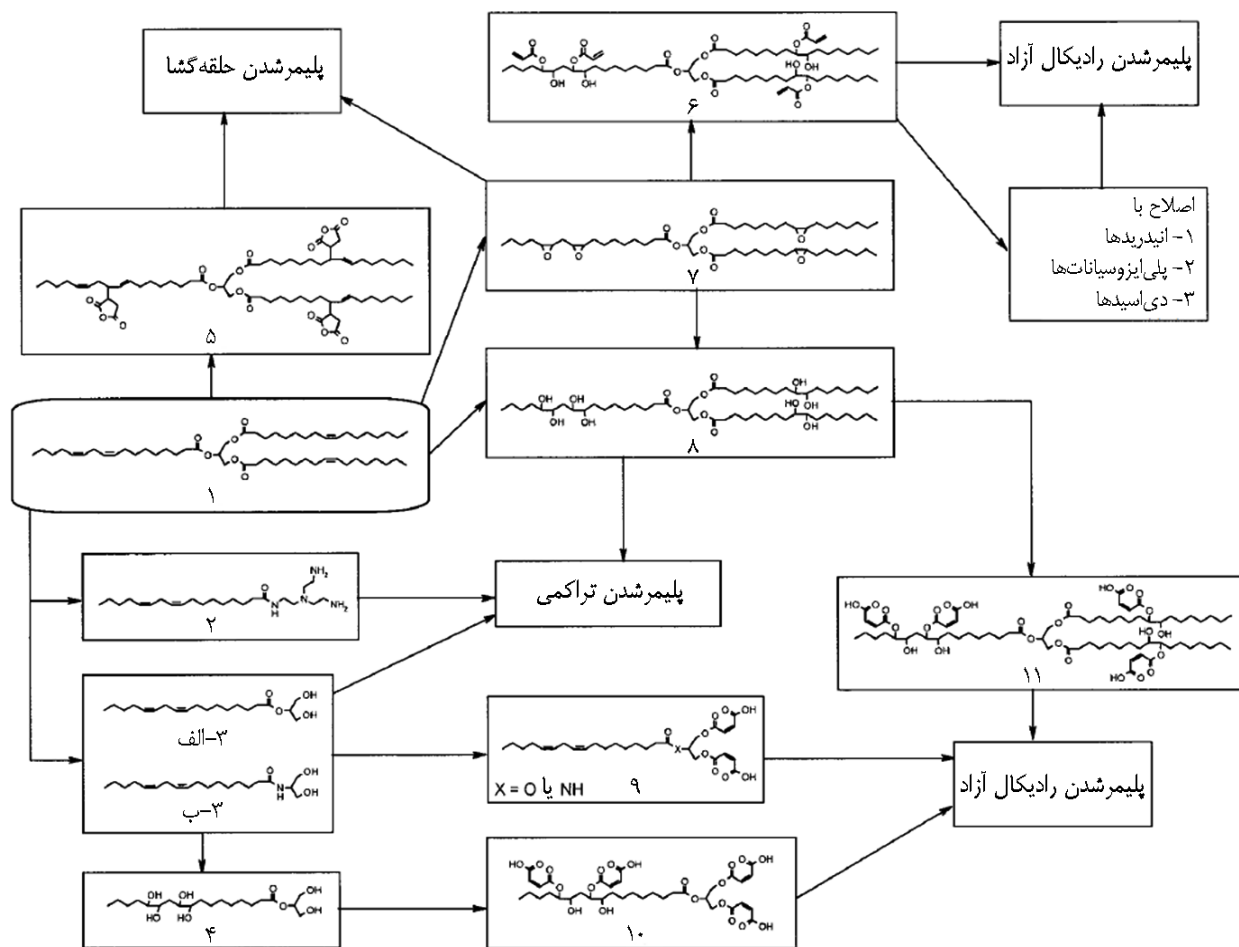
اکسایش، در هوا می‌گیرد. روغن کرچک برای ساخت پلیمرهای با شبکه‌های درهم‌نفوذی مناسب است، زیرا دارای گروه‌های هیدروکسیل است که برای واکنش با گروه‌های ایزوسیانات و کربوکسیل مناسب‌اند. قرارگیری اسیدهای چرب را می‌توان با شبیه‌ساز رایانه‌ای مشخص کرد. بدین ترتیب، اتصال مولکولی برای ساختن پلیمرهای خطی، شاخه‌دار یا دارای اتصال عرضی معین می‌شود. در جدول ۱ ویژگی فیزیکی تعدادی از روغن‌های گیاهی نشان داده شده است.

روش‌های تولید رزین از تری‌گلیسیریدها

در ساختار تری‌گلیسیریدها بخش‌های فعالی وجود دارد که آماده برقراری پیوند شیمیایی هستند. این مناطق شامل پیوندهای دوگانه، کربن‌های آلیلی، گروه‌های استری و کربن‌های آلفای متصل به گروه استری هستند. گروه‌های پلیمری را در این مواد می‌توان با استفاده از مناطق فعال موجود در تری‌گلیسیریدها، با همان روش‌های سنتز

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی تعدادی از روغن‌های گیاهی [۷].

روغن	گرانروی در ۳۷/۸°C (cSt)	وزن مخصوص (۲۰°C/۴°C)	ضریب شکست (n _D 20)	دمای ذوب (°C)
کرچک	۲۹۳/۴	۰/۹۵۱-۰/۹۶۶	۱/۴۷۳-۱/۴۸۰	-۲۰ تا -۱۰
بزرک	۲۹/۶	۰/۹۲۵-۰/۹۳۲	۱/۴۸۰-۱/۴۸۳	-۲۰
نخل	۳۰/۹۲	۰/۸۹۰-۰/۸۹۳	۱/۴۵۳-۱/۴۵۶	۴۰-۳۳
سویا	۲۸/۴۹	۰/۹۱۷-۰/۹۲۴	۱/۴۷۳-۱/۴۷۷	-۲۰ تا -۲۳
آفتاب‌گردان	۳۳/۳۱	۰/۹۱۶-۰/۹۲۳	۱/۴۷۳-۱/۴۷۷	-۱۶ تا -۱۸



روش‌های ایو کسی دار کردن تری گلیسیریدها

موجود در مونوگلیسیرید برای ایجاد پوشش سطحی، وارد واکنش می‌شوند. همچنین، مونوگلیسیریدها می‌توانند به کمک گروه‌های الکلی موجود در ساختار آن‌ها با واکنش‌های تراکمی با کومونومرهای مانند دی‌اسید، اپوکسی یا انیدرید نیز پلیمر شوند. گروه‌های مالئیکی نیمه‌استر نیز می‌توانند به این مونوگلیسیریدها متصل شوند تا واکنش پلیمرشدن رادیکال آزاد رخ دهد (ساختار ۹).

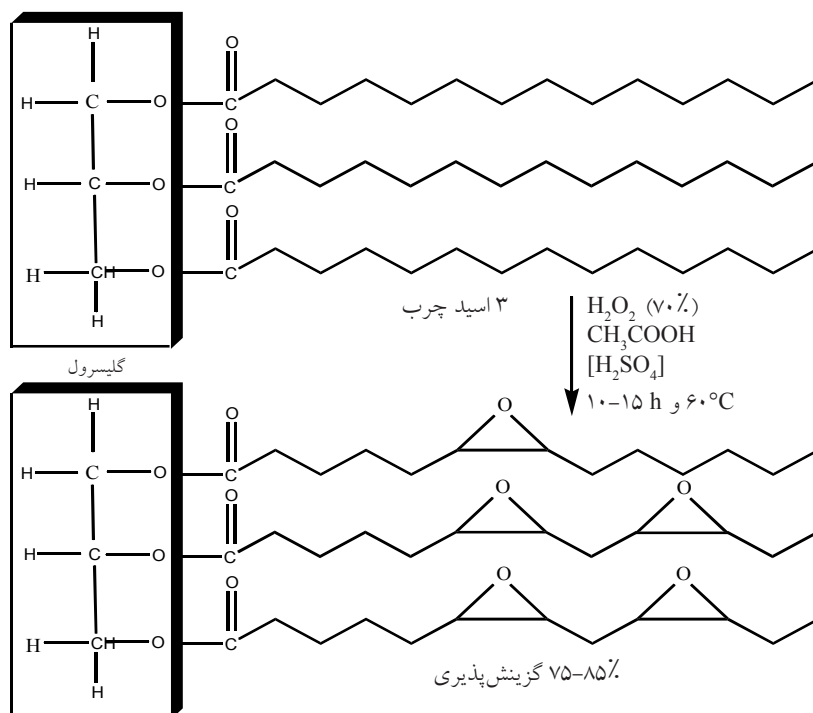
[۶-۸].

روش سوم، استفاده از مناطق سیر نشده و تبدیل تری گلیسیرید به مونوگلیسیرید است. این روش می‌تواند با واکنش گلیسرول کافت در تری گلیسیرید سیر نشده، همراه با هیدروکسیل دار شدن یا گلیسرول کافت تری گلیسیرید هیدروکسیل دار شده، اتفاق افتد (ساختار ۴). مونومر به دست آمده می‌تواند با مالئیک انیدرید واکنش دهد. از این راه مونومری ایجاد می‌شود که می‌تواند واکنش پلیمر شدن رادیکال آزاد را انجام دهد (ساختار ۱۰) [۸].

۳- استفاده از هالویدرین‌ها، اسیدهای هیپوهالوژن و نمک‌های این مواد، به‌عنوان معرف اپوکسی‌دارکردن پیوندهای دوگانه کمبود الکترون [۹] و

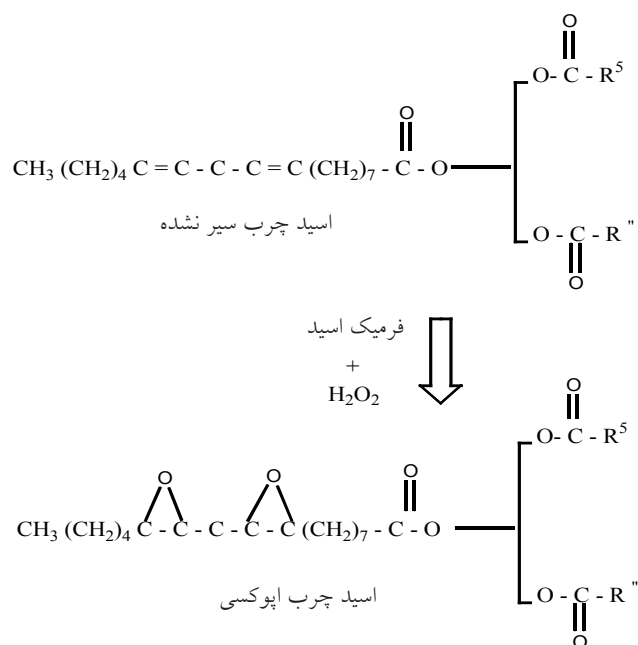
۴- استفاده از مولکول اکسیژن [۹].

در فرایند اپوکسی‌دار کردن روغن‌های گیاهی، تنها موارد ۱ و ۲ به دلیل تمیزی و کارآمد بودن بررسی می‌شوند [۱۲]. این فناوری‌ها



شکل ۴- اپوکسی‌دار کردن تری‌گلیسیرید [۱۳].

شده در شکل ۶ نشان داده شده است. برای تهیه روغن سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی می‌توان براساس روش زیر عمل کرد. ابتدا روغن سویای اپوکسی‌دار شده، که روش تهیه آن پیشتر گفته شد، در بشری ریخته می‌شود. در بشری دیگر به آکریلیک اسید، هیدروکینون و کاتالیزور افزوده می‌شود. سپس، مواد



شکل ۵- روش متداول اپوکسی‌دار کردن روغن‌های گیاهی [۱۵].

را می‌توان با استفاده از کاتالیزورهای ناهمگن، جایگزین روش‌های سنتی همگن کرد. شکل ۴ واکنش اپوکسی‌دار شدن تری‌گلیسیرید را نشان می‌دهد.

برای اپوکسی‌دار کردن، ابتدا باید روغن تری‌گلیسیرید و فرمیک اسید داخل ظرفی در حمام آب گرم (دمای حدود $50 \pm 2^\circ\text{C}$) مخلوط شوند. این مخلوط باید با سرعتی ثابت (حدود ۵۵۰ rpm) به چرخش درآید. سپس برای شروع اپوکسی‌دار کردن، محلول پراکسید هیدروژن به تدریج در ۵ h اولیه واکنش به داخل مخلوط تزریق شود. پس از آن، واکنش با همزدن و کنترل دما تا ۵ h دیگر ادامه می‌یابد. پس از گذشت این زمان، مخلوط سرد شده و چند بار با آب شست‌وشو داده می‌شود تا مقداری از pH اسیدی آن کاسته شده و به pH خنثی نزدیک شود. در مرحله بعد، از دی‌اتیل اتر به منظور جداسازی آسان‌تر فراورده روغنی از فاز آب استفاده می‌شود. فراورده نهایی باید در دمای کمتر از 50°C در اتوکلاو خشک شود [۱۴-۶]. روش متداول آماده‌سازی روغن‌های گیاهی اپوکسی‌دار شده برای نمونه در شکل ۵ نشان داده شده است.

تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار در صنعت ساخت PVC به عنوان پایدارکننده (گرمایی و نوری) و نرم‌کننده، به عنوان جایگزینی برای ترکیبات فتالات، به کار می‌رود [۷]. این محصول در ایران نیز به همین منظور استفاده می‌شود. نمونه‌ای از روغن سویای اپوکسی‌دار

از روغن سویای اپوکسی‌دار شده یا اپوکسی‌دار شده آکریلی می‌توان برای ساخت انواع دیواره‌های چوبی استفاده کرد. مقاومت دیواره‌های ساخته شده با روغن سویای اپوکسی‌دار شده یا اپوکسی‌دار شده آکریلیکی نسبت به رزین‌های معدنی (مانند فرمالدهید) بیشتر است. مقایسه مقاومت خمشی تخته‌های ساخته شده با استفاده از رزین روغن سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی و سایر تخته‌ها در شکل ۸ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقاومت خمشی تخته‌های ساخته شده با رزین سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی از همه تخته‌ها بیشتر است. این تخته‌ها در مقایسه با تخته‌های ساخته شده از کاه گندم و رزین اوره فرمالدهید، بیش از ۵۰٪ افزایش در مقدار مقاومت خمشی نشان می‌دهند. این موضوع بیانگر سازگاری خوب رزین مزبور با کاه گندم است. در مقایسه با تخته شرکت چوب شمال که از خرده چوب و رزین اوره فرمالدهید ساخته شده است، مقاومت خمشی تخته‌های ساخته شده از کاه گندم و رزین اپوکسی سویا بیش از ۳۰٪ افزایش نشان می‌دهد. این نتایج بیان می‌کند، می‌توان از کاه گندم تخته‌های مقاوم‌تر نسبت به منابع چوبی ساخت. مقاومت تخته‌های ساخته شده از کاه گندم و رزین سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی حتی از استاندارد اروپا هم ۱۰٪ بیشتر است.

چسبندگی داخلی ویژگی دیگری است که به‌شکل مستقیم عملکرد چسب را نشان می‌دهد. چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده از کاه گندم با رزین سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی و سایر تخته‌ها در شکل ۹ مقایسه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، چسبندگی داخلی تخته‌های رزین اپوکسی سویا به‌مقدار درخور توجهی از چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده از کاه گندم و رزین اوره



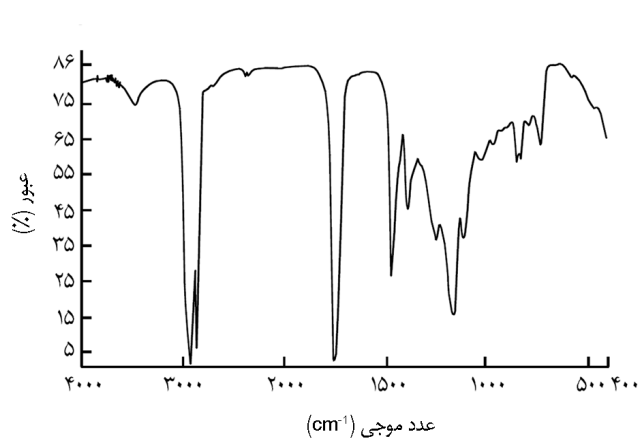
(ب)

(الف)

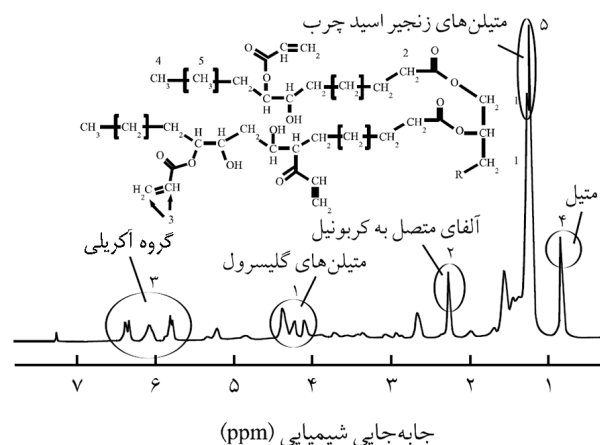
شکل ۶- روغن سویای: (الف) اپوکسی‌دار شده و (ب) معمولی [۷].

داخل بشر با همزن مغناطیسی، هم‌زده می‌شود تا ماده‌ای به‌نسبت همگن به‌دست آید. در ادامه، این ترکیب به بشر دارای روغن سویای اپوکسی‌دار افزوده می‌شود. سپس، مخلوط را به حمام آب گرم انتقال می‌دهند. عمل هم‌زدن باید به مدت ۱۳ h با همزن مکانیکی ادامه یابد. در نهایت، محصولی عسل‌مانند به‌دست می‌آید که سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی نام دارد [۱].

شکل ۷ طیف ^1H NMR و FTIR روغن سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی را نشان می‌دهد. باتوجه به طیف ^1H NMR می‌توان مشاهده کرد، با افزودن آکریلیک اسید به ترکیب روغن سویای اپوکسی‌دار شده، در محل گروه‌های اپوکسی، گروه‌های آکریلی قرار می‌گیرند. این اتفاق باعث شاخه‌دار شدن ترکیب می‌شود و در آماده‌کردن ماده برای پلیمر شدن و ایجاد پیوند عرضی نقش مؤثری دارد. همچنین، در طیف FTIR، قله 1611 cm^{-1} به ارتعاش حلقه اپوکسی مربوط است که در واکنش اپوکسی‌دار شدن به روغن سویا اضافه شده است. اپوکسی‌دار شدن روغن سویا نیز باعث ایجاد پیوند عرضی می‌شود.



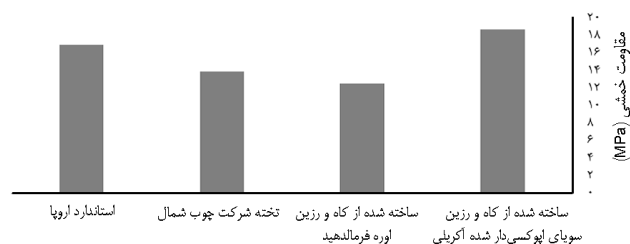
(ب)



(الف)

شکل ۷- طیف‌های روغن سویای اپوکسی‌دار شده آکریلی: (الف) ^1H NMR و (ب) FTIR [۱].

مقاومت خمشی



شکل ۸- مقاومت خمشی تخته‌های ساخته شده با رزین سوپای اپوکسی‌دار شده آکریلی در مقایسه با سایر تخته‌ها [۶-۱].

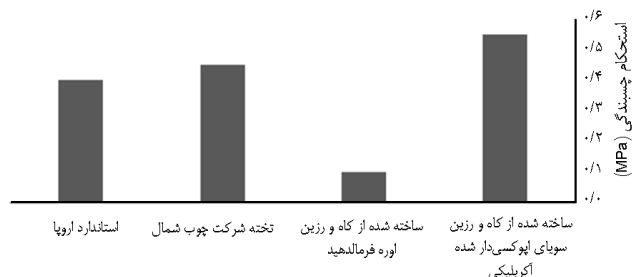
فرمالدهید بیشتر است (۴۵۰٪). این موضوع بیانگر نقش بسیار مثبت رزین سوپای اپوکسی‌دار شده در اتصال خرده‌های کاه گندم است. همچنین، چسبندگی داخلی این تخته‌ها به ترتیب ۲۲٪ از تخته‌های شرکت چوب شمال و ۳۷٪ از استاندارد اروپا بیشتر است.

کاربرد رزین‌های طبیعی

رزین‌های طبیعی می‌توانند برای تولید چسب‌های حساس به فشار، الاستومرها، لاستیک‌ها و به‌ویژه کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف سنتزی و طبیعی به‌کار روند. کامپوزیت‌ها از دو یا چند ماده ساخته شده‌اند که فازهای مختلف را تشکیل می‌دهند. رزین‌های طبیعی را می‌توان با الیاف سنتزی (شیشه، کربن و آرامید)، الیاف طبیعی حیوانی (پشم، مو و پر پرندگان) و الیاف طبیعی گیاهی (پنبه، سیسال، شاه‌دانه، کتان، چتایی و برگ‌های سوزنی کاج) استفاده کرد. برای نمونه، رزین پلی‌یورتان تهیه شده از روغن کرچک برای ساخت کامپوزیت‌های گرافیت به‌دست آمده از الیاف سنتزی به‌کار می‌رود. در کامپوزیت با الیاف طبیعی نیز می‌توان از روغن سویا استفاده کرد. محصولات ساخته شده از رزین‌های برپایه روغن سویا را می‌توان به‌عنوان سقف، کف‌پوش یا دیوار به‌کار برد [۴].

استفاده از الیاف طبیعی برای تهیه رزین‌ها، بیشتر به‌دلیل قیمت کم آن‌هاست. افزون بر آن، الیاف طبیعی بر پایه سلولوز دارای مزایایی از جمله تخریب‌پذیری، چگالی و قیمت کم هستند. الیاف طبیعی به‌دست آمده از پوست و برگ متداول‌ترین منبع تقویت‌کننده در ساخت کامپوزیت‌های طبیعی هستند. از الیاف پوست می‌توان الیاف پوست گیاهان شاه‌دانه، چتایی، کتان، رامی و کف را نام برد. برای الیاف برگ نیز به الیاف سیسال و موز می‌توان اشاره کرد. از ویژگی‌های این الیاف مقاومت و مدول کششی عالی، دوام زیاد، چگالی حجمی کم، قالب‌پذیری مناسب و بازیافت‌پذیری آن‌هاست [۲].

برای بهبود و افزایش مقاومت کامپوزیت‌های طبیعی، می‌توان الیاف تقویت‌کننده را به‌شکل ترکیبی از الیاف طبیعی و سنتزی به‌کار



شکل ۹- چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته شده با رزین سوپای اپوکسی‌دار شده آکریلی در مقایسه با سایر تخته‌ها [۷، ۵-۱].

برد. چنین کامپوزیت‌هایی را ترکیبی یا هیبرید می‌نامند. حالت‌های مختلف ساخت این کامپوزیت‌ها، مانند ترکیب الیاف چتایی-شیشه با ماده زمینه اپوکسی و پلی‌استر، آزمایش شده است. روغن سویا، بیشترین مصرف را در ساخت کامپوزیت‌های بادوام و مقاوم دارد. کامپوزیتی که از روغن سوپای اپوکسی‌دار شده به‌دست می‌آید، در مقایسه با لاستیک‌ها، ویژگی گرانش و کشسانی بهتری دارد. همچنین، ویژگی‌های پلی‌یورتان‌های ساخته شده از پلی‌ال‌های روغن سویا را می‌توان با پلی‌ال‌های مشابه تهیه شده از مواد نفتی مقایسه کرد. یعنی مقاومت آن‌ها در برابر اکسایش، گرما و آب‌کافت از محصولات نفتی بیشتر است. پلاستیک‌ها و چسب‌های برپایه سویا برای به‌کارگیری در صنایع خودرو، نظامی، هوا فضا، الکترونیک، پزشکی، سازه‌های پیشرفته عمرانی (ترکیبات به‌کار رفته در ساخت پل‌ها و بزرگ‌راه‌ها)، سازه‌های دریایی (لوله‌ها و تجهیزات داخل آب)، سازه‌های ریلی (واگن‌ها) و صنعت ساخت‌وساز (تخته خرده بدون فرمالدهید، MDF و الوار مهندسی شده) مناسب‌اند [۶، ۴، ۲].

نتیجه‌گیری

مقایسه خواص کاربردی تخته‌های ساخته شده از رزین تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار شده آکریلی با سایر تخته‌ها نشان داده است، این تخته‌ها در همه خواص برتری دارند. مقاومت تخته‌های ساخته شده با رزین تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار نسبت به تخته‌های ساخته شده با رزین آوره فرمالدهید بیشتر است. رزین‌های قطبی و محلول در آب استفاده شده، مانند آوره فرمالدهید، به‌دلیل لایه نازک مومی غیرقطبی در سلول‌های بشره سطح کاه نفوذپذیری کمتری دارند و باعث ایجاد چسبندگی ضعیف میان ذرات کاه می‌شوند. رزین تری‌گلیسیرید اپوکسی‌دار شده آکریلی با ساختار غیرقطبی و روغنی، به‌دلیل نفوذپذیری بیشتر، موجب اتصال بهتر ذرات و

گاز فرمالدهید برای سلامتی انسان مضر و سرطان‌زاست. بازار مواد برپایه رزین‌های طبیعی به دلیل مزیت‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و دسترس‌پذیری آن‌ها در حال گسترش است. همچنین مواد مزبور، به‌عنوان مواد تجدیدپذیر تشخیص داده شده‌اند. بنابراین، می‌توانند نقش بسزایی در کاهش آثار گرم‌شدن جهانی زمین داشته باشند. از ویژگی‌های رزین‌های طبیعی، دوست‌دار محیط‌زیست بودن و قیمت کم آن‌ها، در مقایسه با مواد برپایه نفت است.

مراجع

- Shakeri A., Tabrsa T., and Tasoji M., Investigation the Properties of Acrylated Epoxidized Soy Oil-Wheat Straw Particle Board, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **23**, 29-39, 2010.
- Wool R.P. and Khot S., *Bio-based Resins and Natural Fibers*, ASM Handbook 21, Ohio, USA, 184-192, 2001.
- Campanella A., La Scala J.J., and Wool R.P., Fatty Acid-based Monomer as a Replacement for Styrene in the Production of Triglyceride-based Polymers, *12th Annual Green Chemistry and Engineering Conference*, Washington, 25-27 June, 2008.
- Wool R.P., Kusefoglu S., Palmese G., Khot S., and Zhao R., High Modulus Polymers and Composites from Plant Oils, *US Pat. 6121398*, 2000.
- Lu J. and Wool R.P., Sheet Molding Compound Resins from Soybean Oil: Thickening Behavior and Mechanical Properties, *Polym. Eng. Sci.*, **47**, 1469-1479, 2007.
- Firdous H. and Madhu B., *Synthesis and Characterization of Acrylated Epoxidized Soybean Oil for uv Cured Coating*, Department of Oil & Paint Technology, Harcourt Butler Technological Institute (HBTI), Kanpur, India, 2011.
- Tabrsa T., *Technical Investigation on Producing Wheat Straw Board (WSB) Using Acrylated Epoxydised Soya Oil in Pilot Scale*, Research Project, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 2012.
- Khot S.N., Lascala J.J., Erde C., Morye S.S., Williams G.I., Palmese G.R., Kusefoglu S.H., and Wool R.P., Development and Application of Triglyceride-Based Polymers and Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **82**, 703-723, 2001.
- Gunter S., Rieth R., and Rowbottom K.T., *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, 6th ed., 12, 2003.
- Campanella A., La Scala J.J., and Wool R.P., Fatty Acid-based Monomer as a Replacement for Styrene in the Production of Triglyceride-based Polymers, *12th Annual Green Chemistry and Engineering Conference*, Washington, 25-27 June, 2008.
- Dinda S., Goud A., Patwardhan V., and Pradhan C., Selective Epoxidation of Natural Triglycerides Using Acidic Ion Exchange Resin as Catalyst, *Asia-Pac. J. Chem. Eng.*, **6**, 870-878, 2011.
- Vaibhav V., Goud, Anand V., Patwardhan, and Narayan C.P., Studies on the Epoxidation of Mahua Oil (*Madhumica Indica*) by Hydrogen Peroxide, *Bioresour. Technol.*, **97**, 1365-1371, 2006.
- Andrew J.C. and Seng S.H., Copolymers of Tetrahydrofuran and Epoxidized Vegetable Oils: Application to Elastomeric Polyurethanes, *Polym. Chem.*, **5**, 3238-3244, 2014.
- Pim-pahn M., Niwat T., Salamah M., Sasitorn S., Wannapit J., and Chakrit T., Epoxidation of Soybean Oil and Jatropha Oil, *J. Sci. Technol.*, **13**, 491-501, 2008.
- Khot S.T.N., Lascala J.J., Can E., Morye S.S., Williams G.I., Palmese G.R., Kusefoglu S.H., and Wool R.P., Development and Application of Triglyceride-based Polymers and Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **82**, 703-723, 2001.
- Guner F., Seniha Y.Y., and Erciyes A.T., Polymers from Triglyceride Oils, *Prog. Polym. Sci.*, **31**, 633-670, 2006.