

تأثیر آلیاژسازی رزین پلی استر غیراشباع با بوتیل اکریلات بر چقرمگی ماتریس و خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف کنف و شیشه

چکیده

در این تحقیق اثر آمیختگی رزین پلی استر غیراشباع ارتوفتالیک با مونومر بوتیل-اکریلات بر چقرمگی این آلیاژ و همچنین کامپوزیت ساخته شده با آن بررسی شده است. در فاز اول، آلیاژ مورد نظر با دو شرایط متفاوت و هر کدام با ترکیب درصدی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد بوتیل اکریلات پخت و آماده سازی شده است. پخت سرد با کاتالیست متیل اتیل کتون پراکسید و پخت گرم با کاتالیست دی بنزوئیل-پراکسید. از آزمون مقاومت به ضربه ایزود برای ارزیابی میزان چقرمگی نمونه‌های آلیاژ شده استفاده شد. در فاز دوم، از آلیاژ با بالاترین میزان چقرمگی به عنوان ماتریس برای ساخت کامپوزیت‌های الیاف کنف و الیاف شیشه استفاده شد و خواص مکانیکی آن‌ها شامل چقرمگی، انرژی شکست، استحکام در نقطه شکست، مدول الاستیسیته و دمای انحنای حرارتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین چقرمگی ماتریس مربوط به سطح ۱۵ درصد بوتیل اکریلات در سیستم پخت سرد برابر با $1/91 \text{ kJ/m}^2$ می‌باشد. در مقایسه با کامپوزیت با ماتریس پلی استر خالص، چقرمگی در کامپوزیت با ماتریس آلیاژ پلی استر به میزان حدود ۳۱ درصد افزایش داشته است. نتایج مدول الاستیسیته کامپوزیت‌ها نشان داد مدول الاستیسیته کامپوزیت با ماتریس آلیاژ شده با بوتیل اکریلات حدود ۱۳۳ درصد کمتر از مقدار این ویژگی برای کامپوزیت با ماتریس پلی استر خالص می‌باشد. همچنین مشخص شد استفاده از مونومر بوتیل اکریلات باعث کاهش استحکام در نقطه شکست و دمای انحنای حرارتی کامپوزیت‌های الیاف شیشه و کنف با ماتریس آلیاژ شده، گردیده است.

واژگان کلیدی: پلی استر غیراشباع ارتوفتالیک، مونومر بوتیل اکریلات، آلیاژ کردن، کامپوزیت الیاف شیشه، کامپوزیت الیاف کنف، چقرمگی، مدول الاستیسیته.

احمد عطایی فر^۱

حمید زارع حسین آبادی^{۲*}

فرامرز افشار طارمی^۳

مجید عزیزی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، فرآورده‌های چندسازه چوب، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

^۳ استاد، دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران

^۴ استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

hzareah@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

مجموع رزین‌های مصرفی، رزین‌های پلی استر غیراشباع^۱ تقریباً سه چهارم از کل رزین‌های مورد استفاده را به خود اختصاص داده‌اند و بنا به قول برخی پژوهشگران این رزین ستون فقرات صنعت کامپوزیت است [۱]. کامپوزیت‌های

مقدمه

کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی و غیرلیگنوسلولزی به دو دسته ترموست و ترموپلاستیک تقسیم می‌شوند. علیرغم برخی ویژگی‌های ترموپلاست‌ها در حوزه کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌های ترموست بالاترین رتبه مصرف را دارند. از

^۱ Unsaturated Polyester Resin (UPR)

زیاد، چقرمگی کم و انقباض حجمی این رزین طی واکنش شبکه‌ای شدن رزین می باشد [۱۰]؛ اما برخی خواص مکانیکی رزین‌های پلی‌استر غیراشباع می‌تواند با ترکیب یا آلیاژ کردن آن با مواد مختلف تغییر یابد؛ اما آنچه مربوط به این پژوهش است ضعف چقرمگی این رزین می‌باشد. براساس یک گزارش پژوهشی حداقل از سال ۱۹۳۵ یعنی زمان ساخت رزین تا سال ۲۰۰۱ [۱۱] و همچنین تا زمان حاضر بر اساس بررسی صورت گرفته بر روی منابع، تحقیقات قابل ملاحظه‌ای در خصوص چقرمه سازی و افزایش انرژی شکست رزین پلی‌استر غیراشباع انجام نشده است. افزایش چقرمگی از حیث کاربردی سبب ارتقاء مقاومت به ضربه و مقاومت کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی و غیر لیگنوسلولزی در برابر ازهم‌گسیختگی در مواجهه با تنش و برخوردهای موضعی، از طریق افزایش انرژی شکست می‌شود. این ارتقاء در برخی کاربردهای صنعتی از حیث ایمنی و امنیتی اهمیت بسزایی دارد. از جمله پژوهش‌های انجام گرفته در این حوزه می‌توان به تحقیق Chakradhar و همکاران (۲۰۱۲) بر روی آلیاژ نمودن رزین اپوکسی با رزین پلی‌استر غیراشباع در درصدهای مختلف از نانورس که منجر به افزایش مقاومت به ضربه و چقرمگی آن شد اشاره کرد [۱۲]. Ariawan و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی نشان دادند استفاده از تیمار هیدروکسید سدیم بر روی الیاف بافته نشده کف سبب افزایش چقرمگی و مقاومت خمشی کامپوزیت حاصل از آن خواهد شد [۱۳]. Mohammed و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود نشان دادند با افزایش تعداد لایه‌های کف، استحکام، سفتی و پایداری حرارتی کامپوزیت تا حدود دو برابر افزایش می‌یابد [۱۴]. Duan و همکاران (۲۰۰۹) اصلاح چقرمگی رزین پلی‌استر غیراشباع با استفاده از هگزامتیلن‌دی‌ایزوسیانات‌تریمر را بررسی کردند. در این تحقیق مشخص شد تا درصد مشخصی با افزایش هگزامتیلن‌دی‌ایزوسیانات، چقرمگی افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد [۱۵]. Rusli و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند خواص خمشی کامپوزیت‌های پلی‌استر/کف با افزایش تعداد لایه‌های نمدی کف افزایش می‌یابد [۱۶]. Mohammed و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند کامپوزیت‌های پلی‌استر/کف در معرض شرایط آب و هوایی تا ۸۵٪

پلی‌استر غیراشباع دارای خواص مکانیکی برتر هستند که می‌توانند با موفقیت در جایگزینی فلزات موجود و مواد کامپوزیت فلزی بکار رفته در کاربردهای خودرو و سازه مورد استفاده قرار گیرند [۲]. همچنین پرمصرف‌ترین رزین ترموست در کامپوزیت‌ها برای بخش‌های دریایی، ریلی و ساختمانی می‌باشند [۳]. در ایران شاید بیش از ۹۰٪ کامپوزیت‌ها در حوزه کامپوزیت‌های پلیمری اعم از لیگنوسلولزی و غیر لیگنوسلولزی با استفاده از ماتریس پلی‌استر غیراشباع می‌باشد. علاوه بر حجم زیاد واردات، سالانه ۷۵۰۰۰ تن از این رزین در ایران تولید می‌شود. اطلاعات برگرفته از بازار شاهد روند رو به رشد تولید و مصرف آن در ایران و جهان می‌باشد [۴]. دلایل اقبال و مصرف بالای پلی‌استر غیراشباع، ساخت راحت و آسان، قیمت ارزان، مقاومت در برابر خوردگی [۵] و همچنین ویژگی‌هایی چون فرمولاسیون‌های متعدد، رنگ بلوری و روشن، داشتن فرم‌های مایع و خمیری یا پودر، قادر به پلیمریزه شدن با تعداد زیادی کاتالیزور، قادر به عبور امواج ریز، خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی خوب، قابلیت دیرسوز شدن می‌باشد [۶]. رزین پلی‌استر از سه مؤلفه شیمیایی اسیدهای کربوکسیلیک اشباع، اسیدهای کربوکسیلیک غیراشباع و گلیکول ساخته می‌شود. با تغییر کیفی و کمی هریک از این مخلفه‌ها می‌توان خواص خروجی رزین پخت شده را برای کاربری‌های متنوع تغییر داد [۷]، لذا برخی از تولیدکنندگان این رزین بیش از ۳۰ نوع رزین برای کاربری‌های مختلف طراحی و فرموله کرده اند [۸]. رزین پلی‌استر غیراشباع ارتوفتالیک یکی از پرکاربردترین و ارزان‌ترین این گروه از رزین‌هاست که به دلیل استفاده از اسید کربوکسیلیک ارتوفتالیک در ساختار آن، خواص موردنیاز برای کاربردهای عمومی را فراهم می‌نماید. در صنعت کامپوزیت از این نوع رزین پلی-استر غیراشباع و رزین‌های ترموست دیگر به‌عنوان ماتریس کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی و غیر لیگنوسلولزی (تقویت‌کننده‌های معدنی و مصنوعی) برای ساخت قطعاتی در صنایع خودروسازی، صنایع دریایی، صنایع هوایی، صنایع مبلمان و دکوراسیون، صنایع الکتریکی، صنایع ساختمان و پوشش‌های سطحی استفاده می‌شود [۹]. از مشکلات مهم و نقاط ضعف رزین پلی‌استر غیراشباع تردی

(۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵، ۰) از مونومر بوتیل اکریلات با دو سیستم پخت سرد و گرم دو سری آلیاژ قالب گیری و پخت شدند. بعد از پخت کامل آزمون مقاومت به ضربه فاق دار برای هر دو سری آلیاژ انجام گرفت و در ادامه میانگین ها در دو سری سیستم پخت سرد و گرم هر یک با درصد های مختلف آلیاژ سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با شناسایی بالاترین میانگین در هر یک از سیستم های پخت، درصد آلیاژی که از همه چقرمه تر بود به عنوان فرمول یا ترکیب اصلی ماتریس برای فاز دوم که ساخت کامپوزیت با استفاده از تقویت کننده های الیاف کنف و شیشه بود در نظر گرفته شد. در این پژوهش، نتایج آزمون مقاومت به ضربه فاق دار به عنوان معیار چقرمگی در نظر گرفته شده است [۱۶].

جهت برنامه ریزی و اجرای هدف فوق در فاز اول آلیاژ سازی، در سیستم پخت سرد، رزین پلی استر غیر اشباع با نسبت های مختلف اختلاط با بوتیل اکریلات در ۶ سطح (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) با کاتالیزور کتون-پراکسید و در سیستم پخت گرم رزین پلی استر غیر اشباع با سطوح اختلاط مشابه اما با کاتالیزور دی بنزوئیل پراکسید استفاده شد. عوامل ثابت برای پخت سرد، دمای پخت (۲۵ درجه سانتیگراد)، درصد شتاب دهنده (۰/۴ میلی لیتر در ۱۰۰ گرم رزین)، کاتالیزور کتون پراکسید (۰/۷ میلی لیتر در ۱۰۰ گرم رزین، زمان پخت (۱۲ روز پخت کامل) و برای پخت گرم، دمای پخت (۸۰ درجه سانتیگراد)، کاتالیزور دی بنزوئیل پراکسید (۰/۲ در ۱۰۰ گرم رزین) بودند. برای تهیه نمونه های آزمون مقاومت به ضربه، قالب هایی با ابعاد استاندارد (بر اساس استاندارد ASTM D256-10) برای آزمون مقاومت به ضربه آیزود فاق دار تهیه و قالب گیری انجام شد. در حالت پخت سرد، پس از شکل دهی و سخت شدن، نمونه ها به منظور گیرایی کامل مدت ۱۲ روز در دمای ۲۵-۲۲ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. در حالت پخت گرم، پس از شکل دهی، قالب ها جهت پخت کامل به مدت دو ساعت داخل آون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. با در نظر گرفتن ۲ سیستم پخت با ۶ نسبت مختلف بوتیل اکریلات ۱۲ تیمار به دست آمد که با احتساب ۶ تکرار برای هر تیمار در ۷۲ نمونه آزمون ساخته شده و آزمون مقاومت به ضربه آیزود فاق دار بر اساس استاندارد ASTM D256-10 و

کاهش استحکام کششی داشته اند [۱۷]. Salem و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی دریافتند کامپوزیت ساخته شده با کنف تیمار شده با اسید استناریک جذب آب کمتری نسبت به نمونه شاهد دارد [۱۸]. Panda و همکاران (۲۰۱۷) با افزودن ۱۰٪ ضایعات گل قرمز به کامپوزیت پلی استر/بامبو خواص کاربردی کامپوزیت را افزایش دادند [۱۹].

هدف از این پژوهش افزایش چقرمگی رزین پلی-استر غیر اشباع ارتوفتالیک با استفاده از آلیاژ کردن یا کوپلیمر کردن آن با مونومر بوتیل اکریلات می باشد. علاوه بر این، تاثیر این آلیاژ بر چقرمگی و برخی خواص یک نوع کامپوزیت لیگنوسولولزی (با تقویت کننده الیاف کنف) و کامپوزیت غیر لیگنوسولولزی (تقویت کننده الیاف شیشه) بررسی گردید. برای انجام آلیاژ سازی از دو سیستم پخت متفاوت استفاده شد.

مواد و روش ها

در این تحقیق از رزین پلی استر غیر اشباع ارتوفتالیک (ساخت ایران)، پلی وینیل الکل (ساخت ایران) و واکس رها کننده (ساخت ایران)، کاتالیزور متیل اتیل کتون پراکسید با نام تجاری Butanox M-50 تهیه شده از شرکت AKZO NOBEL (ساخت هلند)، کبالت نفتنات به عنوان شتاب دهنده از شرکت AKZO NOBEL (ساخت هلند)، کاتالیزور دی بنزوئیل پراکسید (مرک آلمان)، مونومر بوتیل-اکریلات تهیه شده از شرکت مواد مهندسی مکرر، الیاف شیشه نوع E-glass chopped strand mat تهیه شده از شرکت CNBM international Corporation (ساخت چین) و الیاف کنف تهیه شده از شرکت کنف بافت مازند استفاده گردید (شکل ۱).

آلیاژ سازی و ساخت کامپوزیت

این تحقیق در دو فاز جداگانه انجام شده است. در فاز اول با هدف شناسایی بالاترین الیاز چقرمه در هر یک از دو سیستم پخت و انتخاب یک آلیاژ چقرمه تر برای ساخت ماتریس کامپوزیت در فاز دوم برنامه ریزی شد. لذا با استفاده از رزین پلی استر غیر اشباع با درصد های

^۱ Red mud

اکریلات (با بالاترین میزان چقرمگی حاصل از آزمون‌های فاز اول به عنوان ماتریس کامپوزیت)، میزان شتاب‌دهنده کبالت (۰/۴ میلی لیتر در ۱۰۰ گرم رزین)، میزان کاتالیست کتون‌پراکسید (۰/۷ میلی لیتر در ۱۰۰ گرم رزین)، میزان الیاف کنف (۱۰٪)، زمان ماندگاری پخت کامل (۱۲ روز) می‌باشند. بدلیل کاربرد غالب روش قالب‌گیری دستی (HAND LAY-UP) در صنعت کامپوزیت‌های ترموست و نقش تاثیر گذار روش ساخت در خواص فیزیکی و مکانیکی، در این تحقیق نیز از این روش برای ساخت کامپوزیت‌ها استفاده شد. با دو نوع الیاف (کنف و شیشه) و در نظر گرفتن دو نوع ماتریس (پلی استر خالص و پلی استر آلیاژ شده) در مجموع چهار نوع کامپوزیت ساخته شد. در نهایت، بر اساس جدول طراحی آزمایشات و تعداد تکرار مطابق با استانداردهای مربوطه، برای مقاومت به ضربه تعداد ۲۴ نمونه آزمونی، برای آزمون تنش- کرنش تعداد ۱۶ نمونه آزمونی و برای انحنای حرارتی تعداد ۶ نمونه آزمونی تهیه گردید (شکل ۱).



شکل ۱- الیاف و نمونه‌های آزمونی از ماتریس و کامپوزیت. (الف) الیاف شیشه، (ب) الیاف کنف، (ج) قالب سیلیکونی برای نمونه‌های آزمون ضربه و انرژی شکست ماتریس به همراه نمونه‌های آزمونی آزمون تنش- کرنش ماتریس، (د) نمونه‌های آزمونی آزمون تنش- کرنش کامپوزیت آلیاژ/الیاف کنف.

Galdabini Sun 2500, Italy و آزمون دمای انحنای حرارتی بر اساس استاندارد ASTM D 648 با دستگاه Santam SHV-303, Iran بر روی نمونه‌های آزمونی صورت گرفت. بعد از انجام آزمون‌ها، آنالیز واریانس دوطرفه و مقایسه میانگین نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد.

با استفاده از دستگاه U-F IMPACT TESTER IZOD, UESHIMA SEISAKUSHO LTD, TOKYO JAPAN بر روی آنها انجام شد.

پس از انجام آزمون و به دست آوردن نتایج، با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ آنالیز واریانس یک طرفه به صورت جداگانه برای هر یک از دو سیستم پخت انجام شده و بعدازآن با آزمون مقایسه میانگین توکی تیمار بهینه (آلیاژ با بالاترین چقرمگی) از میانگین‌های هریک از دو سیستم بصورت جداگانه انتخاب و برای اجرای فاز دوم تحقیق به کار گرفته شد. در این پژوهش بر اساس فرضیات تحقیق، تاثیر متقابل سیستم پخت و درصد بوتیل‌اکریلات تعریف و هدف‌گذاری نشده است. در انتخاب این دو سیستم پخت جنبه کاربردی و رایج‌تر در صنعت مورد نظر بوده است، چون سیستم‌های پخت متعددی وجود دارند. در فاز دوم، آلیاژ به دست آمده از تیمار بهینه در فاز اول به عنوان ماتریس کامپوزیت الیاف طبیعی (کنف) و مصنوعی (شیشه) مورد استفاده قرار گرفت. عوامل ثابت در این مرحله، دمای پخت ۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد برای تمام تیمارها شامل: آلیاژ پلی‌استر/ بوتیل-

بعد از آماده‌سازی، آزمون‌های چقرمگی بر اساس استاندارد ASTM D256-10 با دستگاه U-F impact tester IZOD, Ueshima Seisakusho Ltd, Japan آزمون تنش- کرنش (برای دستیابی به سطح زیر منحنی، مدول الاستیسیته و استحکام در نقطه شکست) بر اساس استاندارد ASTM D 3039 با دستگاه آزمون کشش

نتایج و بحث

چقرمگی و سطح زیر منحنی تنش - کرنش

ماتریس

میانگین مقادیر چقرمگی برای درصدهای مختلف بوتیل اکریلات در دو نوع سیستم پخت، همچنین خلاصه

نتایج مربوط به آنالیز واریانس که به صورت جداگانه برای اثر نوع سیستم پخت و درصد بوتیل اکریلات بر چقرمگی آلیاژ پلی استر ارتوفتالیک غیر اشباع/ بوتیل اکریلات انجام شده است در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- میانگین چقرمگی (kJ/m^2) برای درصدهای مختلف بوتیل اکریلات در دو سیستم پخت.

سیستم پخت						سیستم پخت
بوتیل اکریلات (درصد)						
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	
۱/۳۵	۱/۲۷	۱/۹۱	۱/۲۹	۱/۳	۱/۲	سرد
(۰/۰۷)	(۰/۰۶)	(۰/۰۹)	(۰/۰۵)	(۰/۰۷)	*(۰/۰۸)	
۱/۲۰	۱/۲۷	۱/۸۴	۱/۲۲	۱/۱۸	۱/۱۸	گرم
(۰/۰۸)	(۰/۰۷)	(۰/۱۰)	(۰/۰۵)	(۰/۰۹)	(۰/۰۹)	

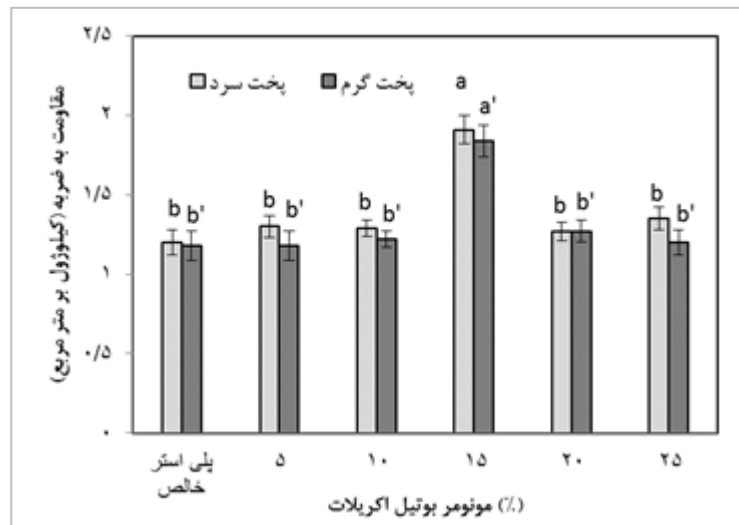
*اعداد داخل پرانتز بیانگر میزان انحراف معیار هستند.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس و آزمون T برای تاثیر درصد بوتیل اکریلات در هر کدام از سیستم های پخت و همچنین تاثیر نوع پخت.

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
پخت سرد					
۰/۰۰۰	۹/۳۵	۴۲۴۱۲۹	۲۱۲۰۶۴۴	۵	نوع پخت
-	-	۴۵۳۶۰	۱۳۶۰۸۱۱	۳۰	خطا
-	-	-	۳۴۸۱۴۵۵	۳۵	کل
پخت گرم					
۰/۰۰۰	۷/۲۶	۳۹۸۶۰۴	۱۹۹۳۰۲۲	۵	نوع پخت
-	-	۵۴۸۸۷	۱۶۴۶۶۰۰	۳۰	خطا
-	-	-	۳۶۳۹۶۲۲	۳۵	کل
آزمون T برای مقایسه میانگین دو نوع پخت با تیمار ۱۵ درصد بوتیل اکریلات					
مقدار P	مقدار T	درجه آزادی	خطای استاندارد	انحراف معیار	
-	-	-	۰/۱۲۵	۰/۳۰۷	پخت سرد
-	-	-	۰/۱۷۰	۰/۴۱۵	پخت گرم
۰/۶۷۹	۰/۴۳	۱۰	-	-	اختلاف میانگین

تاثیر معنی داری بر روی مقادیر چقرمگی نداشته است. نتایج به دست آمده از آزمون های مقایسه میانگین حاکی از این بود که در هر دو سیستم پخت، آلیاژ با حضور ۱۵٪ بوتیل اکریلات به احتمال ۹۹ درصد تفاوت معنی داری با سایر نسبت های اختلاط دارد. تاثیر درصد بوتیل اکریلات بر روی چقرمگی آلیاژ پلی استر/ بوتیل اکریلات در دو سیستم پخت مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است.

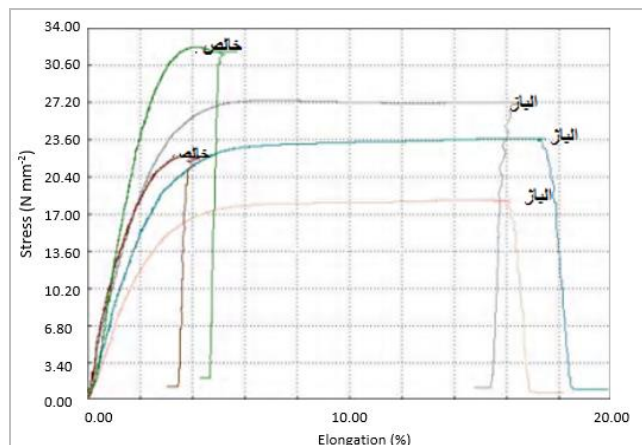
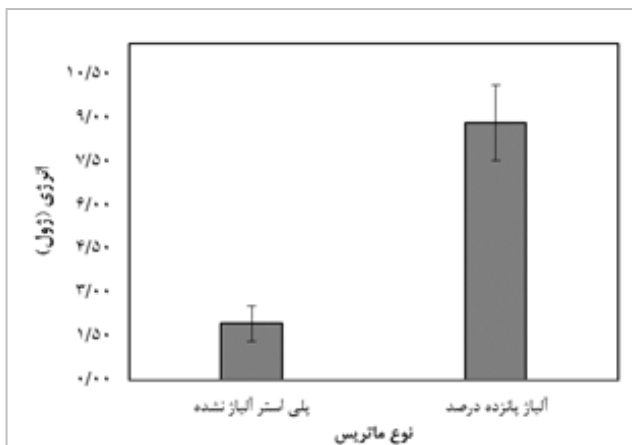
همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است اختلاف مقادیر میانگین چقرمگی بین درصدهای مختلف بوتیل اکریلات برای هر دو سیستم پخت در سطح ۰/۰۱ معنی دار شده است، اما برای نوع پخت در سطح ۰/۰۵ معنی دار نشده است. این بدان معنی است که تغییر درصد بوتیل اکریلات به احتمال ۹۹ درصد بر روی مقادیر چقرمگی تاثیر معنی دار گذاشته و تغییر نوع سیستم پخت



شکل ۲- اثر درصد بوتیل اکریلات بر روی مقاومت به ضربه آلیاژ پلی استر/ بوتیل اکریلات در پخت سرد و پخت گرم (گروه بندی پخت گرم با علامت ' متمایز شده است).

همانطور که در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است، بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به سطح ۱۵ درصد بوتیل اکریلات در سیستم پخت سرد با مقدار ۱/۹۱ کیلوژول بر مترمربع می باشد. میانگین مقاومت به ضربه برای سیستم پخت سرد (۱/۳۹ کیلوژول بر مترمربع) حدود شش درصد بیشتر از پخت گرم (۱/۳۱ کیلوژول بر مترمربع) بود. به منظور تایید و تقویت نتایج آزمون چقرمگی، سطح زیر منحنی تنش- کرنش نیز به عنوان معیاری برای انرژی لازم برای شکست نمونه ها در یک آزمون کشش محوری استاندارد برای آلیاژ ۱۵٪ و نمونه شاهد (آلیاژ نشده) به دست آمد (شکل ۳).

همانطور که در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است، بیشترین مقاومت به ضربه مربوط به سطح ۱۵ درصد بوتیل اکریلات در سیستم پخت سرد با مقدار ۱/۹۱ کیلوژول بر مترمربع می باشد. میانگین مقاومت به ضربه برای سیستم پخت سرد (۱/۳۹ کیلوژول بر مترمربع) حدود شش درصد بیشتر از پخت گرم (۱/۳۱ کیلوژول بر مترمربع) بود. به منظور تایید و تقویت نتایج آزمون چقرمگی، سطح زیر منحنی تنش- کرنش نیز به عنوان معیاری برای انرژی لازم برای شکست نمونه ها در یک آزمون کشش محوری استاندارد برای آلیاژ ۱۵٪ و نمونه شاهد (آلیاژ نشده) به دست آمد (شکل ۳).

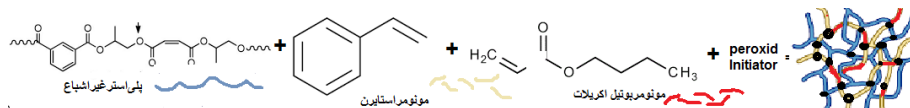


شکل ۳- نمودار ستونی انرژی شکست و سطح زیر منحنی تنش- کرنش پلی استر غیر اشباع خالص و آلیاژ پانزده درصد.

شبکه دخالت دارند. پیش پلیمر پلی استر غیر اشباع، مونومر استایرن و مونومر بوتیل اکریلات. بدیهی است که مکانیسم واکنش استایرن و پلی استر به صورت رادیکالی با شروع کننده هایی چون متیل اتیل کتون و بنزوئیل پراکسید انجام شده و ساختار صلب، شکننده و ترد را ایجاد می نماید. استایرن در این شبکه نقش یک کراسلینگر غیر منعطف را

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با آلیاژسازی انرژی شکست حدود چهار برابر افزایش یافته است که دلیل آن تغییر رفتار پلی استر غیر اشباع از حالت ترد به نرم می باشد (شکل ۳). ساختار ایجاد شده توسط رزین پلی استر غیر اشباع یک ساختار شبکه ای با اتصالات عرضی است. سه مؤلفه در ساختار پلیمریزاسیون و تشکیل

کربوکسیلیک غیراشباع و بوتیل اکریلات و در ادامه باند وینیلی، چهار واکنش همزمان استایرن با پلی استر، استایرن با بوتیل اکریلات، استایرن با استایرن و بوتیل-اکریلات با استایرن قابل پیش بینی است. شبکه آلیاژ پلی-استر با بوتیل اکریلات و مونومرهای شرکت کننده در واکنش رادیکالی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- شبکه آلیاژ پلی استر/بوتیل اکریلات و مونومرهای شرکت کننده در واکنش رادیکالی.

بازی می کنند. از سویی استایرن با مونومر بوتیل اکریلات با همان شرایط قابلیت واکنش رادیکالی با شروع کننده بنزوئیل پراکسید و تشکیل واحدهای کوپلیمری را دارد. هسته و محل فعال واکنش هر سه مولفه از طریق باندهای دوگانه مستقر در روی زنجیر پلی استر غیراشباع، باند وینیلی استایرن و مونومر بوتیل اکریلات می باشد. لذا با ایجاد رادیکال آزاد از سوی شروع کننده روی باندهای اسید

خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف شیشه و کنف با

ماتریس پلی استر خالص و آلیاژ شده

نتایج آنالیز واریانس تاثیر مستقل و متقابل نوع ماتریس و نوع الیاف بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت های الیاف شیشه و کنف با ماتریس پلی استر خالص و پلی استر آلیاژ شده در جدول ۳ ارائه شده است.

بوتیل اکریلات با ماهیت قابل انعطاف و کشسان با وارد شدن در این شبکه صلب و شکننده نقش یک عامل میرا را بازی می کند [۲۱]. در نتیجه می توان گفت افزایش انرژی شکست به ماهیت نرم کنندگی بوتیل اکریلات و ساختار شبه لاستیکی آن در استهلاک ضربه و تنش مکانیکی مرتبط است. بخشی از این استهلاک نیز به صورت ازیاد طول نمایانگر می شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس اثرات مستقل و متقابل نوع ماتریس و نوع الیاف بر خواص مکانیکی کامپوزیت.

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
مدول الاستیسیته	سطح زیر منحنی تنش- کرنش	چقرمگی	خطا
۱۵۹۰۳۲۶۷**	۲۲۸/۹۹ ^{ns}	۱/۸۲۲۵*	۶۹۷۷۰۲۷۱*
۶۳۹۳۲۰ ^{ns}	۱۴۵۸/۲۹**	۶/۰۲۷۰**	۱۷۶۸۶۰۳۵۸۵**
۳۴۹۶۰ ^{ns}	۱۷۴/۵۷ ^{ns}	۰/۷۲۲۵ ^{ns}	۲۱۸۰ ^{ns}
۲۴۲۵۰۲	۷۲/۴۱	۰/۴۸۴۱	۸۹۲۹۲۶۲
-	-	-	۱۵
			کل

* معنی دار در سطح ۵ درصد، ** معنی دار در سطح ۱ درصد، ^{ns} بدون تاثیر معنی دار.

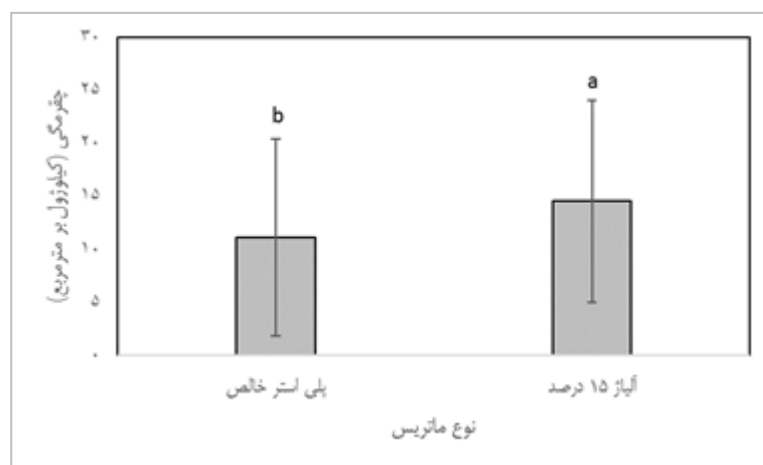
با ۱۵ درصد بوتیل اکریلات همراه با گروه بندی نتایج در جدول ۴ و شکل های ۵ تا ۹ نشان داده شده است. نتایج جدول ۴ و شکل ۵ حاکی از آن است که در مقایسه با کامپوزیت پلی استر خالص، مقاومت به ضربه و چقرمگی در کامپوزیت آلیاژ پلی استر تا حدود ۳۱ درصد افزایش داشته است. این اتفاق را با چند دلیل می توان توجیه نمود.

همانطور که نتایج نشان می دهد تاثیر مستقل نوع ماتریس و نوع الیاف عمدتاً بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت های ساخته شده معنی دار بوده است، اما اثر متقابل این دو پارامتر بر روی هیچکدام از خواص مکانیکی در سطح ۵ درصد معنی دار نشده است (جدول ۳). همچنین، نتایج میانگین خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف شیشه و کنف با ماتریس های پلی استر خالص و آلیاژ شده

جدول ۴- میانگین خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف شیشه و کنف با ماتریس های پلی استر خالص و آلیاژ شده.

میانگین خواص مکانیکی				متغیر
چقرمگی (kJ/m ²)	سطح زیر منحنی تنش- کرنش (J)	استحکام در شکست (MPa)	نقطه مدول الاستیسیته (MPa)	
نوع ماتریس				
پلی استر خالص				
۱۱/۰۹۹	۱/۱۳	۳۷/۷۳	۳۴۹۳/۳۹	
(۹/۳۲۰)*	(۱/۰۷)	(۱۵/۷۹)	(۱۲۷۳۳)	
آلیاژ ۱۵ درصد				
۱۴/۵۰۹	۱/۸۰	۳۰/۱۶	۱۴۹۹/۴۴	
(۹/۴۹۵)	(۰/۸۱)	(۱۰/۴۰)	(۵۳۲)	
نوع الیاف				
شیشه				
۲۱/۳۸۹	۲/۰۸	۴۳/۴۹	۲۶۹۶/۳۱	
(۴/۳۴۱)	(۰/۹۰)	(۱۱/۲۹)	(۱۱۵۷)	
کنف				
۴/۲۲۰	۰/۸۵	۲۴/۴۰	۲۲۹۶/۵۲	
(۱/۹۳۲)	(۰/۶۲)	(۷/۳۷)	(۱۱۶۴)	
نوع ماتریس*نوع الیاف				
پلی استر خالص* شیشه				
۱۹/۶۹۳	۱/۹۵	۵۰/۵۷	۳۷۴۰/۰۲	
(۳/۷۱۶)	(۰/۸۹)	(۱۰/۹۱)	(۶۳/۳۴)	
پلی استر خالص* کنف				
۲/۵۰۵	۰/۳۰	۲۴/۸۸	۳۲۴۶/۷۵	
(۰/۱۹۸)	(۰/۲۱)	(۴/۷۳)	(۶۰۷/۳۵)	
آلیاژ ۱۵ درصد* شیشه				
۲۳/۰۸۴	۲/۲۰	۳۶/۴۰	۱۶۵۲/۵۹	
(۴/۵۵۵)	(۱/۰۲)	(۶/۶۸)	(۴۶۱/۸۶)	
آلیاژ ۱۵ درصد* کنف				
۵/۹۳۵	۱/۴۰	۲۳/۹۲	۱۳۴۶/۲۹	
(۱/۰۵۷)	(۰/۳۳)	(۱۰/۱۸)	(۶۱۹/۵۲)	

* اعداد داخل پرانتز بیانگر میزان انحراف معیار هستند.



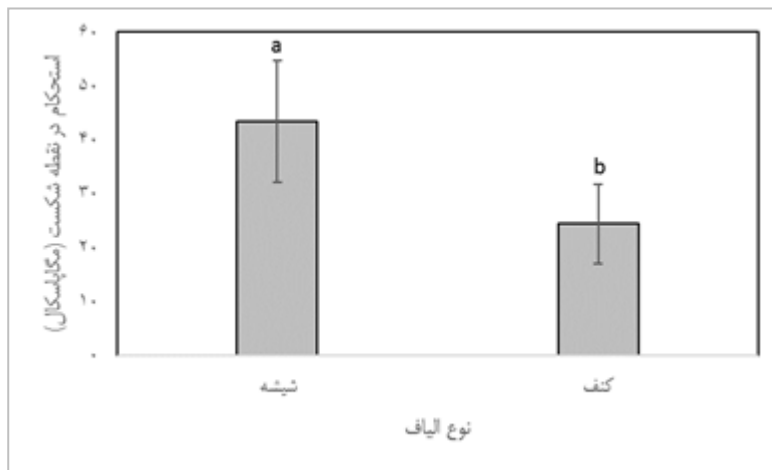
شکل ۵- اثر مستقل نوع ماتریس بر مقاومت به ضربه (چقرمگی) کامپوزیت های الیاف شیشه و کنف.

استهلاک انرژی شده که در نهایت می تواند منجر به افزایش چقرمگی شود. از طرف دیگر وجود الیاف با جهت یابی تصادفی در مسیر توزیع تنش، علیرغم کاهش استحکام نسبی سبب افزایش انرژی شکست یا چقرمگی

۱- یک ماتریس چقرمه طبیعتا کامپوزیت را هم چقرمه می کند. ۲- یک تقویت کننده چقرمه هم سبب افزایش مقاومت به ضربه کامپوزیت می شود. ۳- چسبندگی ضعیف بین الیاف و ماتریس سبب لغزش و

کمتر می باشد. علاوه بر این، استحکام در نقطه شکست کامپوزیت با ماتریس پلی استر آلیاژ شده با بوتیل اکریلات بیش از ۲۳ درصد کمتر از استحکام در نقطه شکست کامپوزیت با ماتریس آلیاژ نشده می باشد (جدول ۴). این کاهش در استحکام بدلیل تاثیر سیستم از قانون مخلوطها است. در اغلب چقرمه سازیها ماده چقرمه کننده و نرم کننده اثر کاهندگی نسبی بر استحکام کششی و مدول دارند و این یک اصل تقریبی پذیرفته شده است [۲۰]. لذا در نسبت مقادیر و نوع مواد برحسب کاربرد باید طراحی مهندسی مناسب انجام شود.

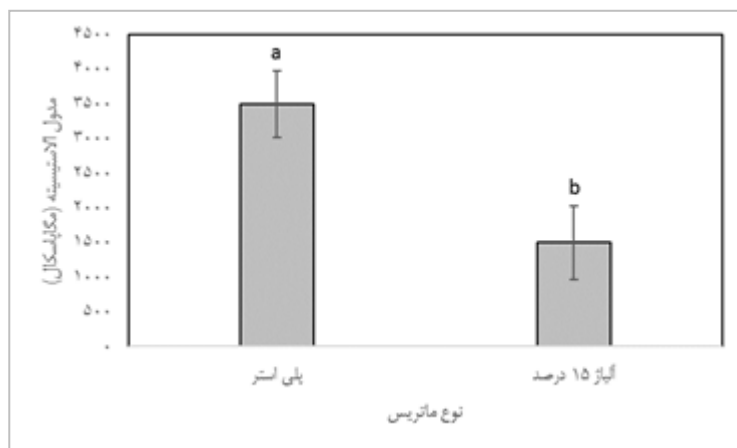
بیشتر کامپوزیت خواهد شد [۶]. همچنین، مقایسه نتایج اثر مستقل دو کامپوزیت الیاف شیشه و الیاف کنف نشان می دهد مقاومت به ضربه کامپوزیت الیاف شیشه حدود ۴۰۰ درصد بیشتر از مقاومت به ضربه کامپوزیت الیاف کنف می باشد (جدول ۴). این اختلاف می تواند ناشی از مقاومت به ضربه بالاتر الیاف شیشه و همچنین برهمکنش متفاوت آلیاژ با الیاف کنف از یک طرف و الیاف شیشه از طرف دیگر باشد. نتایج جدول ۴ و شکل ۶ نشان می دهند استحکام کششی در نقطه شکست کامپوزیت الیاف کنف در مقایسه با کامپوزیت الیاف شیشه حدود ۷۸ درصد



شکل ۶- اثر مستقل نوع الیاف بر استحکام در نقطه شکست کامپوزیت های با ماتریس پلی استر خالص و ماتریس آلیاژ شده.

میزان کرنش بیشتری در ساختار ایجاد شده و در نهایت مدول الاستیسیته کاهش می یابد. مدول الاستیسیته کامپوزیت الیاف شیشه نیز به میزان حدود ۱۷ درصد بالاتر از مدول الاستیسیته کامپوزیت الیاف کنف به دست آمد که دلیل آن مدول الاستیسیته ذاتی بالاتر الیاف شیشه در مقایسه با الیاف کنف است (جدول ۴).

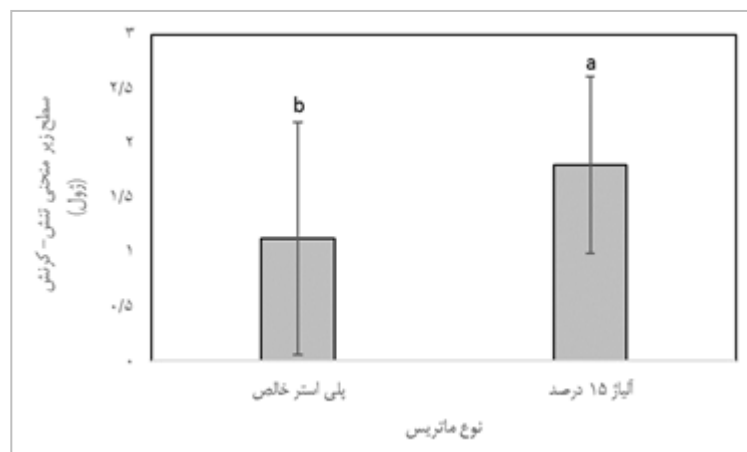
نتایج مدول الاستیسیته در آزمون کششی کامپوزیت ها نشان می دهد مدول الاستیسیته کامپوزیت با ماتریس آلیاژ نشده (پلی استر خالص) حدود ۱۳۳ درصد بیشتر از مدول الاستیسیته کامپوزیت با ماتریس آلیاژ شده است (جدول ۴ و شکل ۷) که علت آن تغییر رفتار کامپوزیت از حالت ترد به نرم و افزایش انعطاف پذیری آن در حین بارگذاری می باشد. در این حالت در ازای تنش های کمتر



شکل ۷- اثر مستقل نوع ماتریس بر مدول الاستیسیته کامپوزیت های الیاف شیشه و کنف.

آلیاژ شده با بوتیل اکریلات در جدول ۴ و شکل ۸ نشان داده شده است.

نتایج سطح زیر منحنی تنش- کرنش برای کامپوزیت- های دارای ماتریس پلی استر خالص و ماتریس پلی استر



شکل ۸- اثر مستقل نوع ماتریس بر سطح زیر منحنی تنش- کرنش کامپوزیت های الیاف شیشه و کنف.

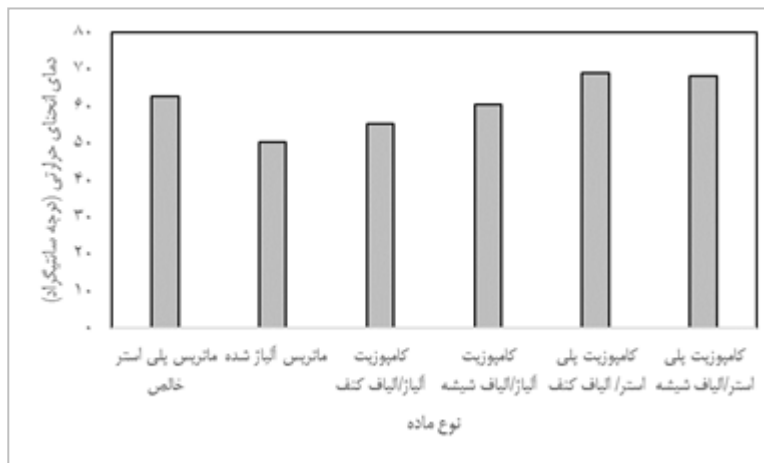
است (جدول ۴). شکل ۹ نشان دهنده مقایسه دمای انحنای حرارتی^۱ پلی استر خالص و آلیاژ پلی استر/ بوتیل اکریلات و همچنین کامپوزیت های با ماتریس خالص و آلیاژ شده با مونومر بوتیل اکریلات می باشد. از طریق این آزمون تغییر شکل و مقاومت نمونه طراحی شده تحت بار مکانیکی و در شرایط دمایی بدست آمده است. همانطور که مشاهده می شود اثر افزایش مونومر بوتیل اکریلات، بدلیل ایجاد انعطاف زنجیری باعث کاهش دمای انحنای حرارتی در نمونه آلیاژ و همچنین نمونه کامپوزیت الیاف شیشه و کنف با ماتریس آلیاژ شده گردیده است. این اثر

سطح زیر منحنی تنش- کرنش کامپوزیت که بیانگر میزان انرژی لازم برای شکست می باشد در صورت استفاده از ماتریس آلیاژ شده حدود ۵۹ درصد بیشتر از کامپوزیت با ماتریس پلی استر خالص است که بیانگر نقش مثبت و موثر بوتیل اکریلات در کاهش تردی ماتریس می- باشد. در این حالت بخشی از انرژی تحمیل شده به کامپوزیت صرف تغییر فرم آن شده و به علت اتلاف این میزان از انرژی، انرژی لازم برای شکست افزایش خواهد یافت (جدول ۴ و شکل ۸). همچنین انرژی شکست برای کامپوزیت با الیاف شیشه حدود ۱۴۵ درصد بیشتر از کامپوزیت الیاف کنف می باشد که دلیل آن نیز انرژی شکست ذاتی بالاتر الیاف شیشه در مقایسه با الیاف کنف

^۱ Heat deflection temperature

می‌شود، اما آلیاژسازی با مواد نرم کننده به علت تغییر رفتار ماتریس از ترد به نرم منجر به کاهش دمای انحنای حرارتی شده است.

کاهنده دمایی در کامپوزیت آلیاژ/الیاف کنف و کامپوزیت آلیاژ/الیاف شیشه به واسطه وجود الیاف تقویت کننده کنف و شیشه (افزایش مدول) کمتر شده است. به عبارتی کامپوزیت کردن باعث افزایش دمای انحنای حرارتی



شکل ۹- دمای انحنای حرارتی ماتریس و کامپوزیت‌های الیاف کنف و الیاف شیشه.

دمای انحنای حرارتی را کاهش و کامپوزیت کردن دمای انحنای حرارتی را افزایش می‌دهد. در خاتمه پیشنهاد می‌شود افزودنی‌هایی جهت افزایش بیشتر استحکام و مدول در کنار چقرمگی بالا به ترکیب اضافه شود تا دامنه کاربرد آن افزایش یابد. همچنین به دلیل کاربری زیاد پلی استر غیر اشباع در صنعت کامپوزیت، بررسی اثر آلیاژ موردپژوهش در ساخت پیش آغشته‌های گیاهی و لیگنوسولوزی و ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی آن در مقایسه با دیگر پیش آغشته‌های مرسوم و پرکاربرد قابل توجه می‌باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب رساله دکتری با حمایت مالی معاونت علمی دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و با شماره گرنت ۲۹۹۷۱/۶/۱۰ انجام شده است. همچنین از همکاری و مساعدت دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر و بالاخص آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا تاثیر نوع پخت و همچنین درصد‌های مختلف بوتیل اکریلات در هر کدام از سیستم‌های پخت بر روی چقرمگی ماتریس بررسی شده و در ادامه اثر آلیاژسازی با تیمار بهینه بر روی برخی خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف شیشه و الیاف کنف با ماتریس خالص و آلیاژ شده مورد بررسی قرار گرفته است. میانگین مقاومت به ضربه برای سیستم پخت سرد حدود ۶ درصد بیشتر از میانگین مقاومت به ضربه برای سیستم پخت گرم می‌باشد. علاوه بر این، بالاترین میزان چقرمگی در سطح ۱۵ درصد مونومر بوتیل اکریلات به دست آمد. آلیاژ نمودن مونومر بوتیل اکریلات با رزین پلی استر غیر اشباع باعث افزایش قابل ملاحظه چقرمگی در رزین خالص و همچنین افزایش ۳۱ درصدی مقاومت به ضربه و ۵۹ درصدی انرژی شکست در کامپوزیت الیاف شیشه و الیاف کنف شده است. این افزایش از سویی به ترتیب منجر به کاهش ۲۳ درصدی و ۱۳۳ درصدی در استحکام در نقطه شکست و مدول الاستیسیته کامپوزیت‌های ساخته شده با ماتریس آلیاژ شده گردیده است. در پایان مشخص شد آلیاژسازی

- [1] Dakal, H. N., Ismail, S. O., 2019. Unsaturated Polyester Resins, Elsevier, Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications, Chapter 8 - Unsaturated Polyester Resins: Blends, Interpenetrating Polymer Networks, Composites, and Nanocomposites, Pages 181-198 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00008-9>
- [2] Biswas Nil, B., Arhijit Shinha, R. B., 2019. Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin-Based Composites, Elsevier, Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications, Pages 407-434, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00016-8>
- [3] KandolaJohn, K., Ebdon, R., 2019. Flammability and Thermal Stability of Unsaturated Polyester Resin-Based Blends and Composites, Elsevier, Unsaturated Polyester Resins, Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications, Pages 435-469, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00017-X>
- [4] Rezadoust, A., Esfandeh, M., ghasaban, S., and Dayani, A., 2017. A review on composite market in Iran and overseas (1st ed.) Iran Polymer and Petrochemical Institute. Tehran (In Persian)
- [5] Li, Q., Ma, S., Xu, X., and Zhu, J., 2019. Bio-based Unsaturated Polyesters, Elsevier, Unsaturated Polyester Resins, Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications 2019, Pages 515-555, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00020-X>
- [6] Bagheri, R., 2010. Basics of mechanical properties of plastics (2nd ed.), Isfahan University Press. Pp 262. (in Persian)
- [7] Weatherhead, R., 1980. FRP technology: fiber reinforced resin systems. Applied Science Publisher. London.
- [8] Bader, S., 1994. Polyester handbook. Scott Bader Company Limited, Wellingborough.
- [9] Mohammed, L., Ansari, M. N. M., Grace, P., Mohammad, J., and Saiful Islam, M., 2015. A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. International Journal of Polymer Science: 1-15.
- [10] Sugiman, S., 2017. Hygrothermal effects of glass fiber reinforced unsaturated polyester resin composites aged in steady and fluctuating conditions. Advanced Composite Materials. DOI: 10.1080/09243046.2017.1405597
- [11] Miller, N. A., and Stirling, C. D., 2001. Effects of ATBN rubber additions on the fracture toughness of unsaturated polyester resin. Polymers & Polymer Composites, 9 (1): 31-36.
- [12] Cahkradhar, K. V. P., Venkata Subbaiah, K., Ashok Kumar, M., and Ramachandra Reddy, G., 2012. Blended epoxy/polyester polymer nanocomposites: Effect of "nano" on mechanical properties. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 51 (1). 92-96.
- [13] Ariawan, D., Salim, M. S., Taib, R. M., Thirmizir, M. Z. A. and Ishak, Z. A. M., 2017. Durability of alkali and heat-treated kenaf fiber/unsaturated polyester composite fabricated by resin transfer molding under natural weathering exposure", Adv Polym Technol. 2018; 37:1420-1434. <https://doi.org/10.1002/adv.21801>
- [14] Mohammed, M., Rahman, R., Mohammed, A. M., Osman, A. F., Adam, T., Dahham, O. S., Hashim, U., Noriman, N. Z. and Betar, B. O., 2019. Effect of Kenaf Fibre Layers on Mechanical and Thermal Properties of Kenaf/Unsaturated Polyester composites", International Conference on Materials Engineering and Science, Vol 454, August 2018, Istanbul, Turkey.
- [15] Duan, H., Jun, Z., Xiaoli, W., and Wang, Y. X., 2009. Toughening modification of unsaturated polyester resin using HDI trimer. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed, 24 (4): 627-630.

- [16] Rusli, N. W., Abu Bakar, M. B., Thirmizir, M. Z. A., Sulaiman, M. A. and Masri, M. N. 2017. Flexural and Morphology Properties of Kenaf Fibre Reinforcement Unsaturated Polymer Composite”, Materials Science Forum, Vol. 888, pp 193-197.
- [17] Mohammed, M., Rozyanty, A. R., Beta, B. O., Adam, T., Osman, A. F., Salem, I. A. S., Dahham, O. S., Al-Samarrai, M. N. and Mohammed, A. M., 2017. The weathering effect in natural environment on kenaf blast and unsaturated polyester composite”, Journal of Physics: Conference Series, Volume 908, Issue 1, article id. 012003. DOI:10.1088/1742-6596/908/1/012003
- [18] Salem, I. A. S., Rozyanty, A. R., Betar, B. O., Adam, T., Mohammed, M. and Mohammed, A. M., 2017. Study of the effect of surface treatment of kenaf fiber on chemical structure and water absorption of kenaf filled unsaturated polyester composite”, Journal of Physics Conference Series, Volume 908, Issue 1, article id. 012001. DOI:10.1088/1742-6596/908/1/012001
- [19] Panda, S., 2017. Effect of red mud on mechanical and chemical properties of unsaturated polyester-epoxy-bamboo fiber composites. Materials today: proceedings 4(2):3325-3333.
- [20] Nielson, L., and Landel, R. E., 1994. Mechanical properties of polymer and composites (2nd ed.), Marcel Dekker Publication. New York.
- [21] Arefazar, A., and Shokoohi, Sh., 2010. Polymer Blends and Alloys (1st ed.), Amikabir University Press, Tehran. Page350. (in Persian).

Effect of Blending Butylacrylate with Unsaturated Polyester Resin on Toughness of Matrix and Mechanical Properties of Kenaf and Glass Fiber- based Composites

Abstract

In this study, the effect of blending butyl acrylate with orthophthalic unsaturated polyester resin were investigated on toughness of the matrix and some mechanical properties of the composites with the same matrix. In the first phase, the blends, as matrix, have been fabricated by two different curing systems (cold cure with methyl ethyl ketone peroxide as catalyst, and hot cure with di-benzoyl peroxide as catalyst), each by combinations of 0, 5, 10, 15, 20 and 25 % monomeric butyl acrylate. Izod impact test was used to evaluate the toughness of blended matrix and pure matrix. In the second phase, kenaf and glass fiber-based composites were made by the blended matrix with the highest impact strength, then subjected to some mechanical tests such as toughness, failure energy, ultimate strength, modulus of elasticity, and heat deflection temperature. Test results showed that the highest value for impact strength, as 1.91 kJ m^{-2} was attained for cold curing system with 15% monomeric butyl acrylate. Impact strength or toughness of blended matrix/fiber composites was around 31% more than that of for pure polyester/fiber composites. In addition, modulus of elasticity of blended matrix reinforced by fibers was around 133% less than that of for pure polyester/fiber composites. Finally, the results showed that monomeric butyl acrylate had a negative effect on ultimate strength and heat deflection temperature of blended matrix/kenaf and glass fiber-based composites.

Keywords: Orthophthalic unsaturated polyester, Monomeric butyl acrylate, Blending, Glass fiber-based composite, Kenaf fiber-based composite, Impact strength, Modulus of elasticity.

A. Ataefar¹
H. Zarea Hosseinabadi^{2*}
F. Afshar Taremi³
M. Azizi³

¹ PhD student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Iran

² Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Iran

³ Professor, Department of Polymer and Color Engineering, School of Material Eng. and Advanced Processes, Amirkabir University of Technology, Iran

⁴ Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran

Corresponding author:
hzareah@ut.ac.ir

Received: 2020/01/21
Accepted: 2020/08/15