

# بررسی اثر الیاف شیشه بر خواص ترکیبات قالبگیری ملامین-فرمالدهید

The Effect of Glass Fiber on the Properties of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds

مرادعلی خطیبی، محمدحسین بهشتی\*، جلیل مرشدیان

تهران- پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۷۹/۶/۶، پذیرش: ۸۰/۸/۱۹

## چکیده

از مصرف رزینهای ملامین-فرمالدهید در ساختن وسایل آسبزه‌خانه روز به روز کاسته می‌شود و امروزه تلاش بر آن است که از این رزین بیشتر برای کارهای پوشش‌دهی، تزیینات و دکوراسیون استفاده شود. علاوه بر این، به دلیل داشتن خواص عالی مثل سختی، برایت سطح، مقاومت گرمایی و الکتریکی، لزوم استفاده از این مواد در کاربردهای ساختاری شدت احساس می‌شود. در این پژوهش، از الیاف شیشه به علت داشتن مدول و استحکام زیاد به عنوان تقویت کننده، در آمیزه‌های قالبگیری ملامین-فرمالدهید استفاده شده و اثر این الیاف بر خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه‌های یاد شده تا میزان ۶۰ درصد وزنی مورد مطالعه قرار گرفته است. آزمونه‌های مختلف خواص فیزیکی و مکانیکی روی قطعات بدست آمده انجام شده و رفتار گرمایی آمیزه‌ها نیز به وسیله دستگاه DSC/TG بررسی شده است. از نتایج بدست آمده چنین برمی‌آید که آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در مقایسه با آمیزه‌های تقویت شده با الیاف آلفا سلولوز از خواص مکانیکی برتر است. برحسور ایزد و آمیزه‌ای که با ۵۰ درصد وزنی الیاف شیشه تقویت شده است دارای بهترین خواص مکانیکی است.

واژه‌های کلیدی: ملامین-فرمالدهید، ترکیبات قالبگیری، الیاف شیشه، الیاف آلفا سلولوز، کامپوزیت

Key Words: melamine-formaldehyde, molding compounds, glass fiber,  $\alpha$ -cellulose fiber, composite

## مقدمه

قالبگیری ملامین-فرمالدهید دارای خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب برای کاربردهای عمومی‌اند، ولی توسعه کاربرد این ترکیبات در کاربردهای مهندسی ایجاب می‌کند که در بهبود هر چه بیشتر خواص این مواد تلاش شود، تا بتوان آنها را در کاربردهای ساختاری نیز مورد استفاده قرار داد [۵].

استحکام ضربه‌ای، انعطاف‌پذیری و پایداری ابعادی کم و جمع‌شدگی زیاد ضعفهای عمده‌ای برای ترکیبات قالبگیری ملامین-

ناکون روی ستر رزین ملامین-فرمالدهید کارهای بسیاری انجام شده [۱، ۴]، ولی روی خواص و بهینه کردن آمیزه‌های قالبگیری آنها کارهای پژوهشی چندانی صورت نگرفته است. از این رو، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی و طراحی آمیزه‌هایی که بتواند خواص و کیفیت بهتر داشته باشد، ضروری بنظر می‌رسد. هر چند ترکیبات

مستول مکاتبات، پیام‌نگار: M.Beheshty@proxy.upi.ac.ir

فرمالدهید محسوب می‌شوند. هرچند که با افزایش برکنده‌ها و نفوذ کنندگان در بعضی موارد این ضعفها برطرف می‌شوند. ولی نیاز به اصلاحات و تحقیقات بیشتر در این زمینه‌ها وجود دارد [۸-۶]. کامپوزیت‌های نفوذناپذیر شده با الیاف شیشه با آرایش اتفاقی موادی با خواص مطلوب‌اند. این ترکیبات روانی خوبی داشته و برای تولید محصولات با حجم زیاد و دارای قسمت‌های پیچیده مصرف می‌شوند. بنابراین از ترکیبات یاد شده می‌توان برای ساختن قطعات مهندسی انبوه استفاده کرد. طراحی این آمیزه‌ها نیازمند تحقیق و توسعه بیشتر برای کاربردهای مهم است [۹].

هدف اصلی در این پژوهش، بررسی استفاده از الیاف شیشه و نقش آن بر خواص ترکیبات قالبگیری ملایم-فرمالدهید برای کاربردهای مهندسی است.

## تجربیه

### مواد

در این پژوهش از رزین ملایم-فرمالدهید ساخت شرکت صنایع شیمیایی فارس و هگزامین، فالتیک انیدرید و روی استنارات نوع تجاری و الیاف شیشه کوتاه نوع ۱ مناسب ترکیبات قالبگیری به طول ۶ mm استفاده شده است.

### دستگاهها

از آسیاب چکشی، آسیاب گلوله‌ای و خشک‌کن با سیستم جرحش هوا برای تهیه آمیزه، پرس برای قالبگیری ترکیبات، دستگاه آزمون DSC/TG از نوع STA۶۲۵ ساخت پلیمرلاب برای بررسی رفتار گرمایی، دستگاه استرومن مدل ۲۵-۶۰ برای آزمونهای کشش و خمش، میکروسکوپ الکترون پوششی ساخت کمبریج مدل ۳۶۰ stereo scan برای بررسی سطح شکست نمونه‌ها استفاده شده است.

### روشها

#### قالبگیری

قالبگیری این ترکیبات در فشار ۱۷۰ bar، دمای ۱۵۰°C و زمان ۲/۵ دقیقه انجام شد. از دو نوع قالب استفاده شد: قالب مستطیل شکل به ابعاد ۱۰۰×۱۳۰ mm و قالب دایمی شکل به قطر ۵۱ mm.

#### روش تهیه آمیزه‌ها

مولکون ملایم دارای ۶ عامل فعال NII است. بنابراین بین ۱ تا ۶ مول

جدول ۱- اجرای اصلی بک آمیزه قالبگیری ملایم-فرمالدهید.

مقدار (Part)	مواد
۱۰۰	رزین ملایم-فرمالدهید
۰/۲	هگزامین
۰/۲	فالتیک انیدرید
۱/۵	روی استنارات

فرمالدهید قادر به انجام واکنش با هر مول ملایم است که نتیجه آن تهیه رزینهای با کاربردهای متفاوت خواهد بود. در ستر رزینهای ملایم-فرمالدهید برای تهیه پودرهای قالبگیری نسبت ملایم به فرمالدهید ۱ به ۲ است که به این رزین مواد افزودنی مورد نیاز اضافه شده و پودرهای قالبگیری موردنظر تهیه می‌شود. اجرای اصلی که در این پژوهش در ترکیب قالبگیری ملایم-فرمالدهید مورد استفاده قرار گرفت در جدول ۱ آورده شده است.

در کلیه آمیزه‌های تهیه شده مقدار اجرای یاد شده در جدول ۱ ثابت بوده و فقط میزان الیاف شیشه تغییر کرده است و آمیزه‌هایی با ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی الیاف شیشه به ترتیب با کدهای MG۲۰، MG۲۵، MG۴۰، MG۴۵، MG۵۰ و MG۶۰ تهیه شده است.

### آزمونها

کلیه آزمونهای خواص فیزیکی و مکانیکی مطابق روشهای استاندارد ASTM انجام شده است. آزمونهای خواص فیزیکی از قبیل چگالی (ASTM D۲۴۲) سختی سطح (ASTM D۲۲۴۰)، جمع‌شدگی (ASTM D۴۵۵)، جذب آب (ASTM D۵۷۰) و برایت (با استفاده از دستگاه Rheopoint gloss meter) روی ترکیبات قالبگیری انجام شد. و نیز آزمایشهای خواص مکانیکی شامل آزمون کشش (ASTM D۳۰۳۹)، خمش (ASTM D۷۹۰) و ضربه (ASTM D۲۵۶) روی نمونه‌های قالبگیری شده انجام گردید. خواص گرمایی آمیزه‌ها نیز با استفاده از روش DSC-TG مورد بررسی قرار گرفت.

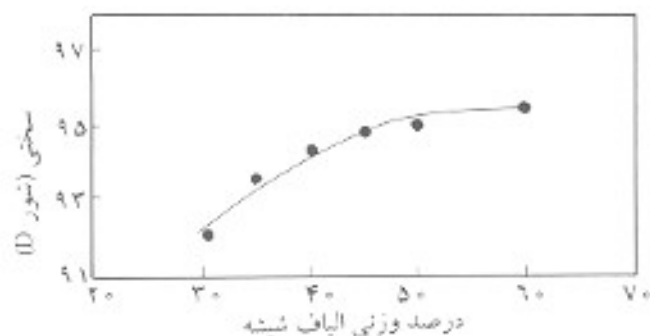
## نتایج و بحث

### بررسی خواص فیزیکی

#### بررسی چگالی

یکی از ویژگیهای کامپوزیتها سبکی آنهاست، بنابراین برای ارزیابی اثر میزان الیاف شیشه بر چگالی ترکیبات قالبگیری، چگالی ترکیبات یاد شده معین شد که نتایج آن در شکل ۱ آورده شده است.

از آنجا که چگالی الیاف شیشه نوع ۱ برابر ۲/۵ g/cm<sup>3</sup> و

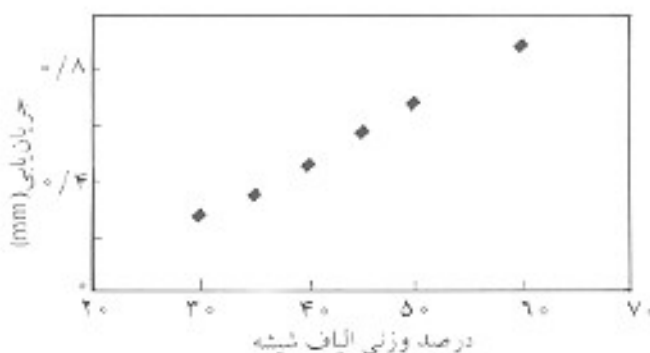


شکل ۲- سختی سطح آمیزه‌های متفاوت ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

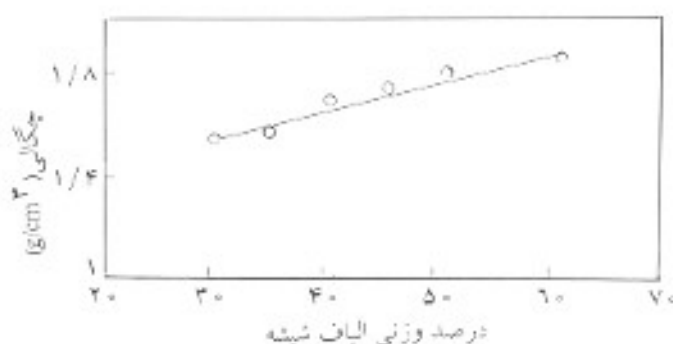
ملامین- فرمالدهید تقویت شده با درصد‌های مختلف الیاف شیشه با روش جریان صفحه (disk flow) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه میزان ضخامت قطعه قالبگیری شده افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، نتایج بیانگر این است که با افزایش درصد الیاف شیشه از میزان جریان‌یابی آمیزه‌ها کاسته می‌شود که نتیجه‌ای قابل انتظار از چین آمیزه‌هایی است، زیرا افزایش الیاف شیشه مانع از جریان‌یابی و سیلان رزین در قالب می‌شود.

#### بررسی جمع‌شدگی

یکی از مشکلات ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید جمع‌شدگی زیاد این ترکیبات پس از قالبگیری است. جمع‌شدگی زیاد رزین‌های ملامین- فرمالدهید پس از پخت، ناشی از آن است که واکنش‌های پخت آنها از طریق تراکم گروه‌های متیلول صورت می‌گیرد و همراه با آزاد شدن محصول فرعی آب است که به صورت بخار هنگام قالبگیری خارج می‌شود. به همین دلیل، امکان قالبگیری رزین ملامین- فرمالدهید



شکل ۳- جریان‌یابی آمیزه‌های متفاوت ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.



شکل ۱- چگالی ترکیبات ملامین- فرمالدهید تقویت شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

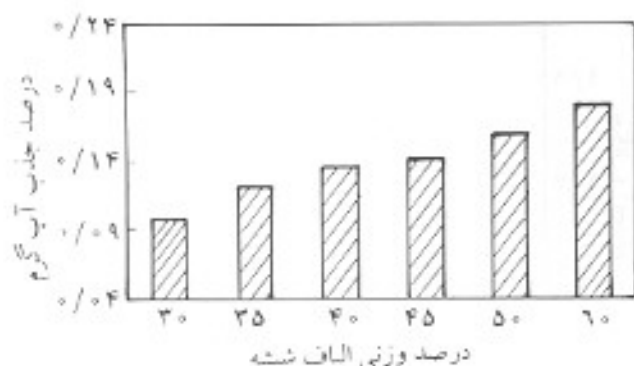
چگالی رزین ملامین- فرمالدهید  $1/48 \text{ g/cm}^3$  گزارش شده است [۸]. چگالی ترکیبات قالبگیری تهیه شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه نیز بر اساس قانون مخلوطها [۱۰] محاسبه گردید که نتایج آن همراه با نتایج تجربی در شکل ۱ رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف شیشه چگالی این ترکیبات افزایش می‌یابد و تطابق خوبی بین نتایج محاسباتی و تجربی وجود دارد.

#### بررسی سختی سطح

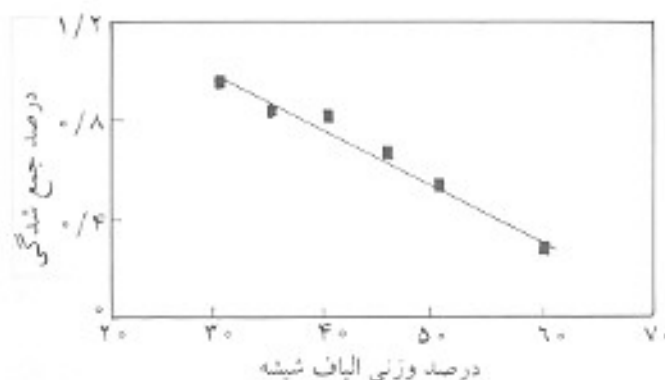
سختی سطح در ترکیبات قالبگیری از اهمیت زیادی برخوردار است، بویژه اینکه از آنها برای کاربردهای پوشش سطح، دکوراسیون و کابینت استفاده می‌شود. بنابراین، ترکیبات قالبگیری یاد شده باید از سختی سطح زیادی برخوردار باشند. از نمونه‌های تقویت شده با درصد‌های مختلف الیاف شیشه آزمون سختی به عمل آمد که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش درصد وزنی الیاف، سختی سطح آمیزه‌ها افزایش می‌یابد. چون الیاف شیشه بطور قابل توجهی سخت‌تر از رزین ملامین- فرمالدهید است، در نتیجه با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه سختی کامپوزیت‌های آنها نیز افزایش می‌یابد.

#### جریان‌یابی

جریان‌یابی ترکیب قالبگیری از اهمیت زیادی برخوردار است، بویژه برای رزین‌های گرماسختی که با روش قالبگیری فشاری شکل‌دهی می‌شوند. اگر جریان‌یابی کم باشد، پودر قالبگیری تمام قالب را پر نمی‌کند و بدین ترتیب قطعه سالم و بدون نقص بدست نمی‌آید. اگر جریان‌یابی زیاد باشد، مواد از قالب بیرون می‌ریزد و در این صورت قطعه با همان ضخامت دلخواه و عاری از حلال و فرج حاصل نخواهد شد. در ضمن، حباب‌های موجود در قطعه بسیار زیاد می‌شود و ضایعات مواد نیز افزایش می‌یابد. از این رو، جریان‌یابی آمیزه‌های قالبگیری



شکل ۶- میزان جذب آب گرم ترکیبات قالبگیری مختلف ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.



شکل ۴- میزان جمع شدگی ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

ساعت انجام شد در شکل ۵ آورده شده است. چنانچه دیده می شود با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه جذب آب نمونه ها زیاد می شود، ولی در کل این آمیزه ها میزان جذب آب کمی دارند. یادآوری می شود از آنجا که امکان قالبگیری رزین ملامین- فرمالدهید به تنهایی وجود ندارد (در قسمت قبل شرح آن آمد)، امکان اندازه گیری جذب آب رزین به تنهایی مقدور نیست.

ب- جذب آب گرم: چنانچه در شکل ۶ دیده می شود با افزایش درصد الیاف، جذب آب نمونه ها در محیط گرم، که مطابق استاندارد مربوط در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  و به مدت نیم ساعت انجام شد، نیز افزایش می یابد. جذب آب چنین ترکیباتی در مقایسه با ترکیبات تقویت شده با الیاف آلفا سلولوز بسیار کمتر است و ناشی از آن است که الیاف شیشه در مقایسه با الیاف آلفا سلولوز قابلیت جذب آب کمتری دارند. به همین جهت، این قطعات جذب آب کمتری نسبت به ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید تقویت شده با الیاف آلفا سلولوز نشان می دهند.

#### براقیت سطح

براقیت سطح ظاهری قطعات قالبگیری یکی از پارامترهای مهم در کاربردهای پوشش دهی سطح و کاربردهای دکوراسیونی و تزیینی است. بر این اساس روی آمیزه های مختلف تقویت شده با الیاف شیشه آزمون براقیت سطح انجام شد که نتایج آن در شکل ۷ آورده شده است.

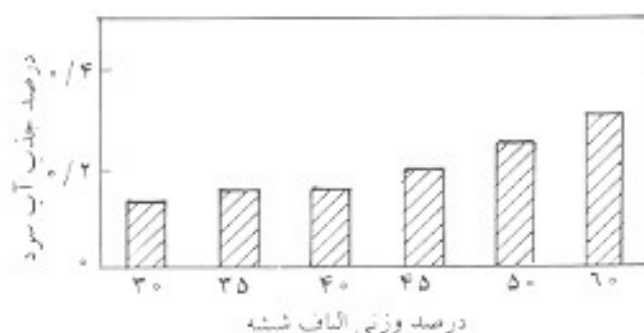
با توجه به اینکه الیاف شیشه جاذب نورند، به همین دلیل با افزایش درصد وزنی این الیاف جذب نور افزایش پیدا می کند و در نتیجه انعکاس کمتر می شود و براقیت کاهش می یابد. اشاره می شود که در روش اندازه گیری براقیت، میزان براقیت مواد مختلف بین ۱ تا ۱۰۰

به تنهایی وجود ندارد و همواره باید آن را به صورت ترکیب قالبگیری دارای پرکننده شکل داد. به همین منظور، میزان جمع شدگی آمیزه های مختلف اندازه گیری شد که نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است. چنانچه دیده می شود با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه جمع شدگی آمیزه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد که این مشاهده به دلیل وجود الیاف شیشه است، زیرا جمع شدگی آمیزه ناشی از واکنشهای پخت رزین است و با افزایش مقدار الیاف و به عبارتی کاهش مقدار رزین در واحد حجم، جمع شدگی آن کاهش می یابد.

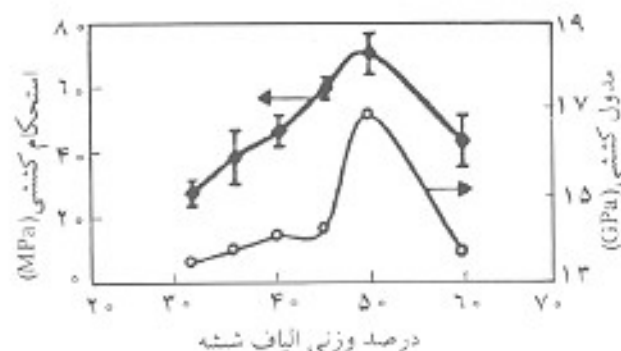
#### جذب آب

جذب آب ترکیبات قالبگیری یکی از مهمترین ویژگیهای آن است، بویژه ترکیباتی که در معرض رطوبت قرار می گیرند باید کمترین میزان جذب آب را داشته باشند.

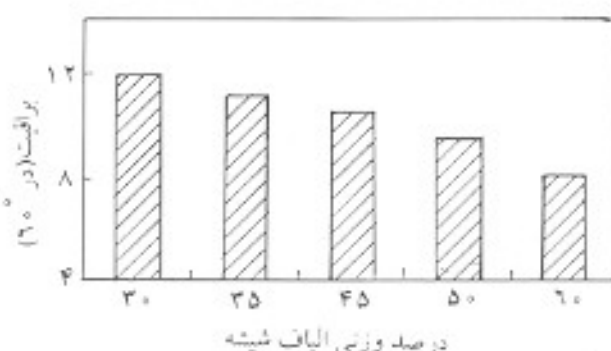
الف- جذب آب سرد: مقادیر جذب آب سرد نمونه های تقویت شده با الیاف شیشه که مطابق استاندارد مربوط در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۲۴



شکل ۵- میزان جذب آب سرد ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.



شکل ۸- خواص کششی آمیزه‌های تقویت شده با درصد‌های وزنی مختلف الیاف شیشه.



شکل ۷- براقیت سطح ترکیبات قالبگیری مختلف ملابین- فرمالدهید با درصد‌های وزنی مختلف الیاف شیشه.

آغشته شدن تمام الیاف به وسیله رزین است و جریان یابی نیز کاهش می‌یابد. در ضمن، رفتار تنش-کرنش کلیه آمیزه‌ها خطی است و میزان ازدیاد طول تا پارگی آنها از ۵٪ درصد (آمیزه دارای ۶۰ درصد الیاف) تا ۷۵٪ درصد (آمیزه دارای ۳۰ درصد الیاف) متغیر بوده است.

#### خواص خمشی

با استفاده از این آزمون استحکام خمشی، مدول خمشی و میزان خمش آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه بدست آمد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

چنانچه در جدول ۲ دیده می‌شود، آمیزه MG۵۰ از بیشترین استحکام خمشی برخوردار است. در اینجا نیز آمیزه MG۵۰ مناسبترین آمیزه است و اگرچه آمیزه MG۶۰ از بیشترین مدول برخوردار است، ولی با توجه به اینکه قطعات بدست آمده از این آمیزه استحکام خمشی و استحکام کششی کمتری دارند استفاده از این آمیزه مناسب نیست.

درجه بندی شده است که بیشترین عدد مربوط به سطوح براق و کمترین میزان مربوط به سطوح مات و کدر است. چنانچه دیده می‌شود، آمیزه‌های قالبگیری ملابین- فرمالدهید تقویت شده با الیاف شیشه براقیت خوبی ندارد که از نقاط ضعف این ترکیبات در صورت استفاده از آنها در کاربردهای پوشش دهی است.

#### بررسی خواص مکانیکی

##### خواص کششی

با استفاده از آزمون کشش، استحکام کششی، مدول کششی و ازدیاد طول تا پارگی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه بدست آمد که نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش مقدار الیاف تا ۵۰ درصد خواص کششی بهبود می‌یابد و آمیزه دارای ۵۰ درصد وزنی الیاف شیشه از بیشترین استحکام و مدول برخوردار است. پس از این مقدار خواص افت می‌کند که آن هم به دلیل عدم

جدول ۲- خواص خمشی و ضربه‌ای آمیزه‌های تقویت شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه (اعداد داخل پرانتز نشان دهنده انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است).

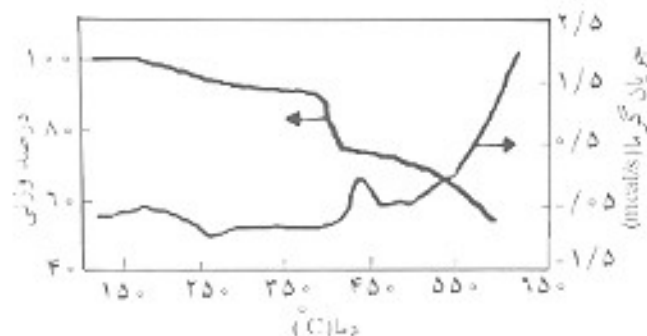
MG۶۰	MG۵۰	MG۴۵	MG۴۰	MG۳۵	MG۲۰	کد آمیزه خواص
۱۲۷/۰۶ (۸/۰۳)	۱۷۵/۷۰ (۱۴/۷۰)	۱۴۰/۸۲ (۷/۴۳)	۱۱۲/۳۵ (۱۳/۱۷)	۱۰۶/۲۰ (۸/۲۷)	۹۹/۸۲ (۸/۱۴)	استحکام خمشی (MPa)
۱۷/۹۸ (۱/۵۶)	۱۴/۹۲ (۱/۴۹)	۱۳/۸۸ (۱/۷۹)	۱۳/۵۷ (۱/۶۳)	۱۲/۸۱ (۱/۲۳)	۱۱/۲۱ (۱/۱۳)	مدول خمشی (GPa)
۰/۷۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۷	میزان خمش (%)
۳/۳۶ (۰/۵۳)	۴/۶۵ (۰/۳۷)	۴/۳۲ (۰/۴۱)	۴/۰۲ (۰/۲۶)	۳/۹۸ (۰/۳۴)	۳/۸۶ (۰/۳۳)	استحکام ضربه‌ای ایزود (kJ/m <sup>2</sup> )

جدول ۳- مقایسه خواص آمیزه‌های MG50 و MT

MT	MG50	خواص
		خواص فیزیکی:
۱/۴۹۴	۱/۷۸۲	چگالی ( $g/cm^3$ )
۹۳/۶۲	۹۵	سختی (شور D)
۱/۰۴۱	۰/۶۸۶	جریان بایی (mm)
		جذب آب (%)
۰/۱۳۵	۰/۱۵۸	آب گرم ( $100^\circ C$ و ۰/۵ h)
۰/۳۵۴	۰/۲۵۳	آب سرد ( $25^\circ C$ و ۲۴ h)
۲۵/۷	۹/۵	براقیت
-۱/۸۰۵	۰/۵۲۹	جمع‌شدگی (%)
		خواص مکانیکی:
۳۵/۲۳۸	۶۹/۲۲۸	استحکام کششی (MPa)
۳/۵۹۸	۱۶/۷۴	مدول کششی (GPa)
۱/۱۴۹	۰/۵۶۶	افزایش طول تا پارگی (%)
۹۶/۷۱۵	۱۷۵/۶۹۸	استحکام خمشی (MPa)
۱۰/۲۱۸	۱۴/۹۲	مدول خمشی (GPa)
۱/۴۹۵	۴/۶۵۲	استحکام ضربه‌ای ( $kJ/m^2$ )
۱۱/۲۵۷	۱۴/۲۶۸	استحکام برشی بین‌لایه‌ای (MPa)

استحکام ضربه‌ای

استحکام ضربه‌ای آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که آمیزه MG50 نیز

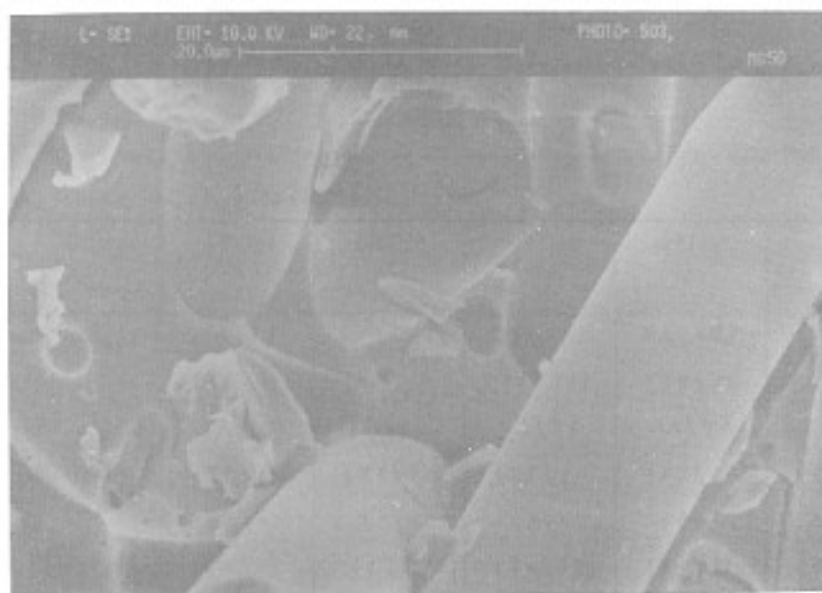


شکل ۹- گرمانگاشت DSC-TG ترکیب قالبگیری ملامین- فرمالدهید دارای ۳۵ درصد وزنی الیاف شیشه.

از بیشترین استحکام ضربه‌ای برخوردار است.

از آنجا که در این پژوهش هدف تهیه آمیزه‌هایی بوده است که بتواند در کاربردهای ساختاری مورد استفاده قرار گیرد، خواص فیزیکی و مکانیکی ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید تجاری (MT) که با حدود ۳۵ درصد وزنی الیاف سلولوز تقویت شده‌اند و در ساخت ظروف آشپزخانه از آنها استفاده می‌شود نیز معین و نتایج آن همراه با خواص آمیزه MG50، که با توجه به مباحث قبل خواص بهینه دارد، برای مقایسه در جدول ۳ ارائه شده است. طبق این جدول، اگرچه چگالی بیشتر از آمیزه MT است و براقیت کمتری نسبت به آن دارد، ولی خواص دیگر آن مثل سختی سطح، جریان بایی، جذب آب و جمع‌شدگی بر مراتب بهتر از نمونه MT است.

از نظر خواص مکانیکی نیز نمونه MG50 استحکام کششی، مدول کششی، استحکام خمشی، مدول خمشی، استحکام ضربه‌ای و



شکل ۱۰- تصویر SEM سطح شکست آمیزه MG50 با بزرگنمایی ۲۰۰۰.

تامیزان ۵۰ درصد وزنی در این آمیزه‌ها استفاده کرد. همچنین، آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه از مقاومت گرمایی زیادی نیز برخوردارند و تخریب گرمایی آنها از دمای  $450^{\circ}\text{C}$  آغاز می‌شود.

### قدردانی

از مسئولان محترم شرکت صنایع شیمیایی فارس بویژه آقایان بازشی، محمدتیا، پذیرایی و کلانتری به دلیل همکاری بی‌شائبه در این طرح صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

### مراجع

1. Sandler S. R. and Karo W.; *Polymer Synthesis*; 2, Academic, 1997.
2. Brydson J. A.; *Plastic Materials*; University, Cambridge, 1989.
3. Lee S. M.; *International Encyclopedia of Composite*; 1, VCH, 1998.
4. Mark H. F. et al.; *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*; 1, John Wiley & Sons, Canada, 1985.
5. Dominghaus H.; *Plastics for Engineers, Materials, Properties, Applications*; Hanser, New York, 1993.
6. Braun D., Unvercht R., Modification of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds with Epoxy Resins; *Angew. Makromol. Chem.*; 237, 1-44, 1996.
7. Braun D. and Unvercht R., Modification of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds with Ethylene/Vinyl Acetate Copolymers; *Angew. Makromol. Chem.*; 222, 61-87, 1994.
8. Sheldon R. P.; *Composite Polymer Materials*; University of Bradford, Wiley Interscience, Canada, 1982.
9. Hagstrand P. O., Rychwalski R. W. and Klason C., Microstructure and Analysis of a New Ternary Melamine-Formaldehyde; *Polym. Eng. Sci.*; 38, 8, 1324-36, August 1998.
10. Agarwal B. D. and Broutman L. J.; *Analysis and Performance of Fiber Composites*; (2nd Ed), Wiley, 1990.

استحکام برشی بین لایه‌های برتاب بیشتری نسبت به نمونه MT دارد. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که از آن می‌توان در کاربردهای ساختاری استفاده کرد.

### بررسی رفتار گرمایی

پایداری گرمایی یکی از ویژگیهای حائز اهمیت ترکیبات قالبگیری است، به همین جهت روی آمیزه MG25 آزمایش DSC-TG انجام شد که نتایج آن در شکل ۹ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که پخت نمونه‌ها در حدود  $150^{\circ}\text{C}$  اتفاق می‌افتد. اگرچه از حدود  $450^{\circ}\text{C}$  تخریب آن آغاز می‌شود، ولی تخریب اساسی آن از حدود  $550^{\circ}\text{C}$  شروع می‌شود. گرمانگاشت TG نمونه بیانگر بالا بودن مقاومت گرمایی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه است.

### مطالعات میکروسکوپی

به کمک میکروسکوپ الکترون پوشی (SEM)، سطح شکست آمیزه MG50 مورد بررسی قرار گرفت که نمونه‌ای از آن در شکل ۱۰ آورده شده است. این بررسی نشان می‌دهد که چسبندگی الیاف به رزین در آمیزه خیلی خوب نیست و شکست الیاف، بیرون شدن الیاف از رزین، جدا شدن فصل مشترک و شکست ماتریس بروشنی مشاهده می‌شود. اما، فصل مشترک نمونه استحکام متوسطی دارد، زیرا بقایایی از رزین نیز روی بعضی از قسمتهای الیاف مشاهده می‌شود. این ویژگی ناشی از آن است که عمل آوری الیاف شیشه مصرفی به گونه‌ای بوده است که سازگاری بسیار خوبی با رزین پلی‌استر سیر نشده داشته باشد. از این رو، سازگاری بسیار خوبی را نمی‌توان از آنها با رزین ملاتین-فرمالدهید انتظار داشت. به همین جهت، در صورت عمل آوری الیاف با عوامل اتصال دهنده مناسب، خواص مکانیکی برتاب بیشتری از آنچه در جدول ۳ نشان داده شده است حاصل خواهد شد.

### نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف کوتاه شیشه به رزینهای ملاتین-فرمالدهید سبب افزایش چگالی و سختی سطح، کاهش جمع‌شدگی، جریان‌یابی، برایت و میزان جذب آب آنها شده است. آمیزه‌های ملاتین-فرمالدهید تقویت شده با الیاف شیشه در مقایسه با آمیزه‌های ملاتین-فرمالدهید تقویت شده با الیاف سلولوز از خواص مکانیکی برتاب بیشتری برخوردار است. از تقویت کننده الیاف شیشه می‌توان