بررسی اثر الیاف αـسلولوز بر خواص ترکیبات قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید

The Effect of α-Cellulose Fibers on the Properties of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds

مرادعلی خطیبی، محمدحسین بهشتی*، جلیل مرشدیان
تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵
دریافت: ۷۹/۳/۱۱، پذیرش: ۷۹/۱۱/۱۵

چکیده
ترکیبات قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید به دلیل خواص خوبی چون سختی زیاد، براقیت خوب، استحکام و مدول بالا کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارند. یکی از اجزای اصلی این ترکیبات تقویت کننده لیفی αـسلولوز است که حجم قابل توجهی از ترکیب را به خود اختصاص می‌دهد و اثر زیادی بر خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه دارد. با وجود استفاده درازمدت از این الیاف در ترکیبات ملامین ـ فرمالدهید، هنوز ویژگیهای اصلی این الیاف و اثر آنها بر خواص بخوبی بررسی نشده است. در این مقاله، اثر دو نوع لیف αـسلولوز، یک نمونه داخلی و یک نمونه تجاری خارجی بر خواص این ترکیبات نظیر جمع‌شوندگی، مدول و استحکام ضربه‌ای، استحکام ضربه‌ای، سختی و براقیت بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با وجود تفاوت ریزساختار این دو نوع لیف که اثر زیادی بر شرایط فرآوری آنها دارد تفاوت زیادی در خواص مکانیکی آنها مشاهده نمی‌شود، اما به دلیل اهمیت زیاد براقیت در کاربردهای خانگی ترکیبات قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید و کم‌رنگ بودن ترکیبات تقویت شده با الیاف αـسلولوز داخلی، نمی‌توان در این گونه کاربردها از این الیاف استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات قالبگیری، رزین ملامین ـ فرمالدهید، پرکننده، الیاف αـسلولوز، کامپوزیت
Key Words: molding compounds, melamine-formaldehyde resin, filler, α-cellulose fiber, composite

مقدمه

ترکیبات قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید، آمیزه‌هایی از رزین ملامین ـ فرمالدهید، الیاف αـسلولوز و تعدادی مواد افزودنی دیگرند که آماده قالبگیری و تبدیل به محصول نهایی‌اند. اولین آمیزه‌های قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید در سال ۱۹۳۸ به صورت تجارتی وارد بازار گردید و پس از آن چگونگی واکنش پخت آنها هم منتشر شد [۵-۱].

برای تهیه این ترکیبات قالبگیری، رزین ملامین ـ فرمالدهید با الیاف کوتاه αـسلولوز در مخلوط‌کن تحت خلاء مخلوط می‌شود تا عملیات آغشته‌سازی و اختلاط ابتدایی آنها انجام شود. سپس، این مخلوط به صورت یکنواخت خشک و پیش پخت می‌گردد و پس از اضافه کردن دیگر افزودنیها نظیر کاتالیزور و عوامل جداکننده، به ذرات ریز یا گرانول برای قالبگیری تبدیل می‌شود.

رزینهای ملامین ـ فرمالدهید در بسیاری از کاربردهایی که در آن از دیگر رزینهای گرماسخت استفاده می‌شود، از جمله چسبها، چند لایه‌ایها، پیشخوانها، کابینتها و رویه میزها مورد استفاده قرار

* مسئول مکاتبات، نام‌نگار: M.Beheshty@proxy.ipi.ac.ir

می‌گیرد. همچنین، از این رزینها برای بهبود مقاومت پارچه در برابر چین و چروک، کاهش سفتی، کنترل جمع شوندگی، بهبود دفع آب و افزایش مقاومت در برابر اشتعال در صنایع نساجی استفاده می‌شود. ترکیبات قالبگیری آنها نیز بطور گسترده در تهیه ظروف آشپزخانه، عایقهای الکتریکی، وسایل تزیینی، پوشش‌دهی سطوح و تهیه رنگها بکار می‌رود [۶].

این آمیزه‌ها رنگهای روشن و سفید تولید می‌کنند. و قطعاتی که از این ترکیبات بدست می‌آیند خواص زیر را دارند:

- سختی سطح بالا،
- خواص پخت بهتر نسبت به آمیزه‌های قالبگیری اوره - فرمالدهید،
- براقیت و جلای سطح زیاد،
- مناسب برای ساخت ظروف و وسایل آشپزخانه،
- مقاومت زیاد در برابر خراشیدگی،
- مناسب نبودن برای تماس با آب جوش به مدت طولانی و
- جمع شوندگی زیاد.

آمیزه‌های قالبگیری ملامین - فرمالدهید که برای سطوح براق بکار می‌رود، دارای الیاف « - سلولوزند و برای کاهش جمع‌شوندگی این ترکیبات، از آنها استفاده بسیار می‌شود. یک آمیزه قالبگیری ملامین - فرمالدهید معمولا شامل مواد زیر است [۷]:

- ۳۰ تا ۴۰ درصد الیاف خرد شده « - سلولز،
- ۶۰ تا ۷۰ درصد رزین ملامین - فرمالدهید،
- ۵ تا ۸ درصد رطوبت،
- ۰/۵ تا ۱ درصد اسید چرب مانند روی استئارات،
- ۰ تا ۵/۰ درصد رنگدانه،
- ۰/۵ تا ۳ درصد کاتالیزور و
- ۰ تا ۱ درصد نرم‌کننده.

کامپوزیتهای بر پایه ملامین - فرمالدهید همانند کامپوزیتهای بر پایه رزینهای اپوکسی و رزینهای پلی‌استر سیرنشده بخوبی شناخته شده نیستند. همچنین، با وجود استفاده درازمدت از ترکیبات قالبگیری آنها، تاکنون مقالات چندانی در این زمینه منتشر نشده است.

یکی از اجزای اصلی ترکیبات قالبگیری ملامین - فرمالدهید که به مقدار زیادی در این ترکیبات بکار می‌رود، الیاف خرد شده « - سلولز است و خوشبختانه انواع مختلف این لیف در کشور ما برای کاربردهای مختلف تولید می‌شوند، ولی هنوز الیاف « - سلولزی که در ترکیبات ملامین - فرمالدهید مورد استفاده قرار می‌گیرد، نوع خارجی آن است که به میزان زیادی از خارج وارد می‌گردد.

در این کار پژوهشی، استفاده از الیاف « - سلولز تولید داخلی به جای نوع خارجی آن بطور عمیق بررسی شده است تا چگونگی جایگزینی الیاف داخلی به جای نوع خارجی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اهمیت الیاف طبیعی به دلیل مشکلات زیست‌محیطی دیگر الیاف، انتظار می‌رود که در آینده توجه به آنها فزونی یابد.

تجربی

مواد

رزین مایع ملامین - فرمالدهید مصرفی در این پژوهش رزین تولیدی شرکت صنایع شیمیایی فارس شیراز با چگالی $1/28\ g/cm^3$ است که به صورت تجارتی تولید شده و در ترکیبات قالبگیری ملامین - فرمالدهید مصرف می‌شود. مواد افزودنی مصرفی نظیر عکزاین، روی استئارات و فتالیک انیدرید از نوع تجارتی بوده‌اند. از الیاف « - سلولوز خارجی ساخت سوئیس (که به میزان انبوه در تولید ترکیبات قالبگیری ملامین - فرمالدهید تجاری مصرف می‌شود) و الیاف « - سلولوز داخلی ساخت شرکت لینتر پاک ایران استفاده شده است. الیاف « - سلولوز داخلی از نوع کاغذبوده که مناسبترین نوع برای استفاده در ترکیبات قالبگیری است.

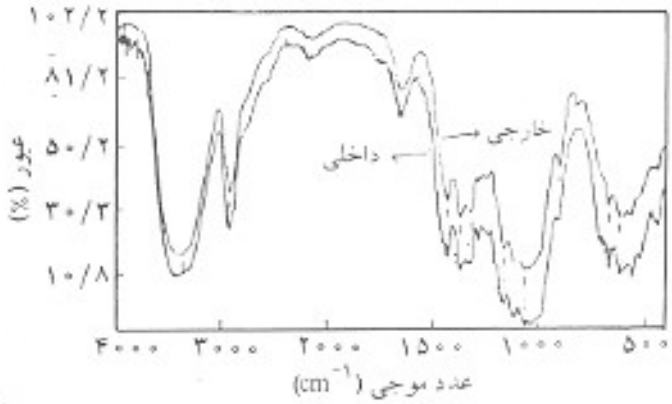
دستگاهها و آزمونها

طیفهای زیرقرمز تبدیل فوریه الیاف با دستگاه طیف‌سنج بروکر مدل IFS۴۸ و به کمک قرص KBr آنها گرفته شد. برای بررسی سطح الیاف از میکروسکوپ الکترون پویشی استرئوسکن مدل S۳۶۰ ساخت شرکت کمبریج استفاده شد و آزمونهای گرماسنجی نیز به وسیله دستگاه DSC-TG ساخت شرکت Polymer Laboratory مدل STA-۶۲۵ انجام گرفت و برای تعیین خواص مکانیکی از دستگاه اینسترون مدل ۶۰۲۵ استفاده گردید. کلیه آزمونهای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مطابق روشهای استاندارد ASTM صورت گرفت. نتایج گزارش شده در این مقاله متوسط نتایج حداقل پنج اندازه‌گیری است. آزمونهای خواص فیزیکی مانند چگالی (ASTM DV۹۲)، جذب آب (ASTM D۵۷۰)، جمع شوندگی (ASTM D۲۲۴۰)، براقیت و سختی (Shore D) روی نمونه‌های بدست آمده به عمل آمد. خواص مکانیکی مانند استحکام کششی (ASTM D۳۰۳۹) استحکام خمشی (ASTM DV۹۰)، استحکام ضربه‌ای (ASTM D۲۵۹) و استحکام برشی بین لایه‌ای (ASTM DV۹۰) نمونه‌ها نیز معین گردید. جریان آمیزه‌هانیز به روش جریان‌پذیری دیسک (Disk Flow) اندازه‌گیری شد.

روشها

تهیه نمونه‌ها

ابتدا الیاف خرد شده « - سلولوز با درصدهای وزنی موردنظر با



شکل ۱ ـ مقایسه دو طیف FTIR مربوط به α ـ سلولوز داخلی و خارجی.

رزین آغشته شد. سپس، این مخلوط در دمای ۷۰°C خشک شده و با آسیاب چکشی آسیاب گردید و برای یکنواخت شدن بیشتر با آسیاب گلوله‌ای به مدت ۳ ساعت به صورت مخلوط یکنواخت درآمد. سپس، مواد افزودنی مانند هگزامین، فالیک انیدرید و روی استئارات به مقدار لازم برای هر آمیزه به صورت پودری به سیستم افزوده شده و دوباره این آمیزه‌ها برای اختلاط بیشتر به مدت سه ساعت دیگر با آسیاب گلوله‌ای مخلوط شدند.

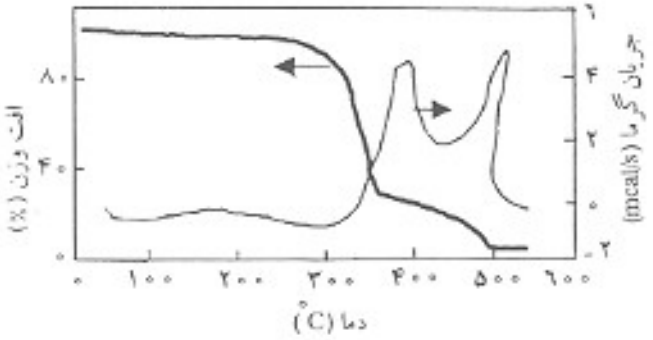
سه آمیزه به ترتیب با ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد وزنی الیاف α ـ سلولوز داخلی و سه آمیزه دیگر به ترتیب با ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد وزنی الیاف α ـ سلولوز خارجی تهیه گردید. از پودر قالبگیری ملامین - فرمالدهید تجاری با کد MT تولیدی شرکت صنایع شیمیایی فارس هم یک آمیزه انتخاب شد.

قالبگیری پودرهای ملامین - فرمالدهید

پودرهای قالبگیری بدست آمده در دمای ۱۵۰°C و فشار ۱۷۰ bar به مدت ۲/۵ دقیقه قالبگیری شد. دو نوع قالب مورد استفاده قرار گرفت. یک قالب به صورت دیسک و به قطر ۵۱ mm و قالب دیگر به ابعاد ۱۳۰ mm × ۱۱۰ mm و ضخامت قطعات قالبگیری شده ۳/۲ mm بود.

نتایج و بحث

طیفهای زیرقرمز تبدیل فوریه بدست آمده از دو نوع لیف در شکل ۱ آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که دو طیف تقریبا بر هم منطبق شده و همپوشانی خوبی دارند. در نتیجه از نظر



شکل ۲ ـ گرمانگاشتهای DSC-TG الیاف α ـ سلولوز خارجی.

ساختار شیمیایی و گروههای عاملی دو نوع لیف تفاوتی با هم ندارند.

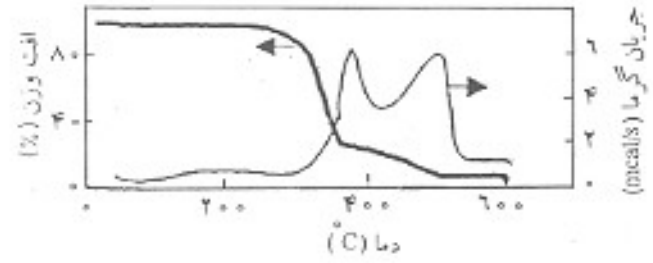
از آنجا که پایداری گرمایی الیاف بکار رفته در ترکیبات قالبگیری بسیار اهمیت دارد، پایداری گرمایی دو نوع لیف به کمک DSC-TG بررسی شد که نتایج حاصل در شکلهای ۲ و ۳ نشان داده شده است. از منحنیهای بدست آمده چنین برمی‌آید که از نظر رفتار گرمایی این دو لیف تفاوتی با هم نداشته و پایداری گرمایی مشابهی دارند. اشاره می‌شود که آزمایش با سرعت گرمادهی ۱۰°C/min و در محیط گاز نیتروژن انجام شده است.

بررسی ریزساختار الیاف

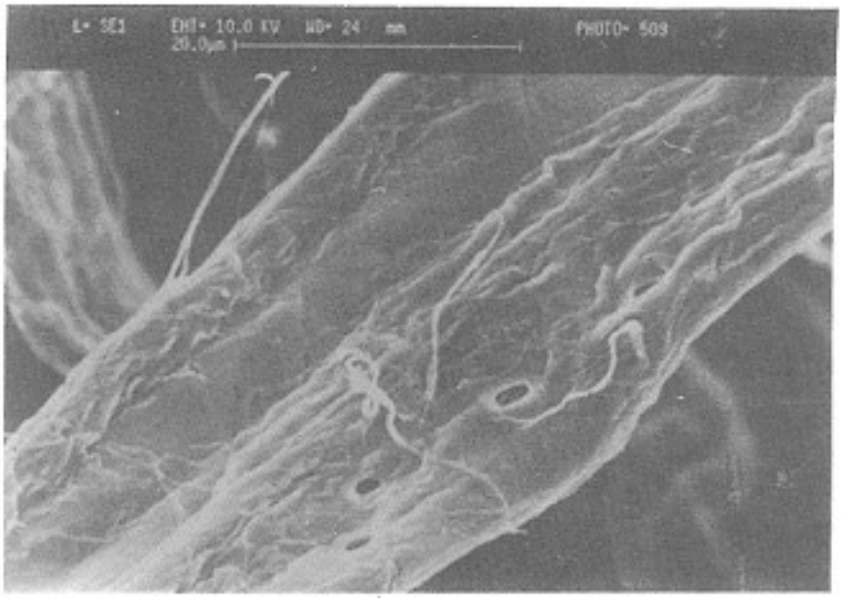
ریزساختار الیاف تاثیر زیادی بر نقش آن در یک کامپوزیت دارد [۸،۹]. به همین منظور قطر الیاف و همچنین کیفیت سطح آنها به کمک میکروسکوب الکترون پویشی مورد مطالعه قرار گرفت.

شکلهای ۴ و ۵ تصاویر میکروسکوب الکترونی دو نوع الیاف α ـ سلولوز داخلی و خارجی را نشان می‌دهد. این تصاویر بیانگر آن است که در سطح الیاف α ـ سلولوز داخلی خلل و فرجهایی وجود دارد که در نمونه‌های خارجی آنها مشاهده نمی‌گردد. این ویژگی ممکن است بر دیگر خواص این الیاف تاثیر زیادی داشته باشد.

قطر دو نوع لیف α ـ سلولوز نیز معین شد که قطر لیف α-



شکل ۳ ـ گرمانگاشتهای DSC-TG الیاف α ـ سلولوز داخلی.



شکل ۴ ـ تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح الیاف α ـ سلولوز داخلی با بزرگنمایی ۲۰۰۰.

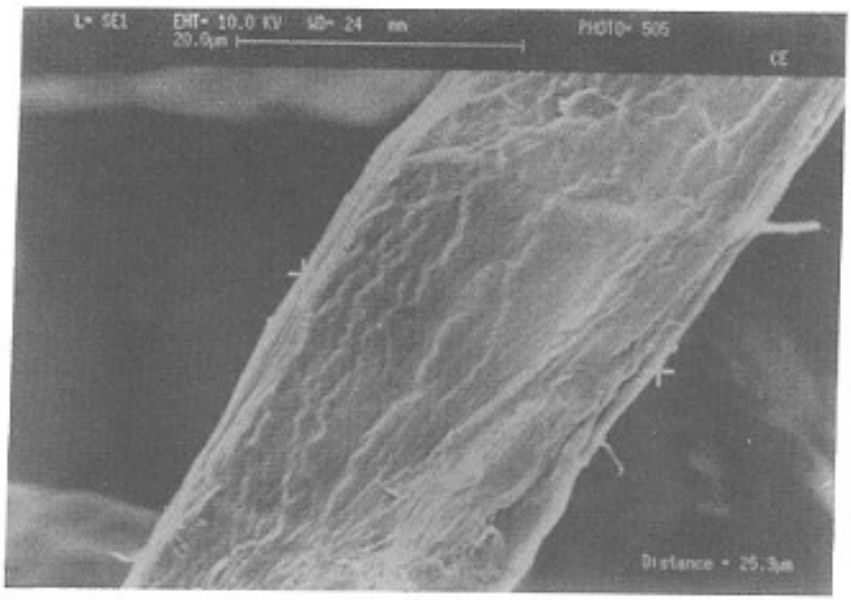
سلولوز خارجی ۳۲ μm و قطر لیف α ـ سلولوز داخلی ۲۰μm است. ازآنجا که کاهش قطر لیف سبب افزایش استحکام آنها می‌گردد [۱۰،۱۱]، در نتیجه انتظار می‌رود که الیاف α ـ سلولوز داخلی از استحکام بیشتری برخوردار باشند.

خواص فیزیکی

در جدول ۱ مهمترین خواص فیزیکی آمیزه‌های ملامین ـ فرمالدهید در درصدهای وزنی مختلف α ـ سلولوز برای دو نوع لیف آورده شده است.

چگالی

چنانچه در جدول ۱ دیده می‌شود، با افزایش مقدار درصد وزنی α ـ سلولوز، چگالی کامپوزیت نیز افزایش می‌یابد. چون چگالی رزین ملامین ـ فرمالدهید جامد $1/48\ g/cm^3$ و چگالی الیاف سلولوز



شکل ۵ ـ تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح الیاف α ـ سلولوز خارجی با بزرگنمایی ۲۰۰۰.

جدول ۱ ـ خواص فیزیکی آمیزه‌های ملامین ـ فرمالدهید.

درصد α ـ سلولوز	چگالی (g/cm^3)		سختی (شور D)		جمع‌شوندگی (٪)		براقیت (۶۰°)		جذب آب سرد (۲۵°C در ٪wt)		جذب آب گرم (۱۰۰°C در ٪wt)		جریان‌یابی (mm)	
	α ـ سلولوز													
	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی
۲۵	۱/۴۵۳	ـ	۹۳/۷۵	ـ	۱/۳۳۸	ـ	۱۴/۸	ـ	۰/۲۲۷	ـ	۰/۱۰۳	ـ	۰/۹۴	ـ
۳۰	۱/۴۶۹	۱/۴۵۳	۹۳/۸۷	۹۳	۱/۱۹۷	۱/۱۸۱	۱۵	۱۶/۷	۰/۲۱۷	۰/۲۳۲	۰/۱۳۴	۰/۱۲۹	۰/۹۹۱	۰/۱۸۶
۳۵	۱/۴۹۱	۱/۴۸۳	۹۴	۹۳/۵	۱/۰۳	۰/۸۰۱	۱۵/۳	۲۳/۱	۰/۴۹۸	۰/۳۸۵	۰/۱۳۸	۰/۱۳۴	۱/۳۷۲	۰/۹۶۵
۴۰	ـ	۱/۴۸۷	ـ	۹۳/۷۲	ـ	۰/۵۹۵	ـ	۲۵/۱	ـ	۰/۴۰۵	ـ	۰/۱۳۷	۱/۳۴۹	ـ
MT	۱/۴۹۴		۹۳/۶۲		۰/۸۰۵		۲۵/۷		۰/۳۵۴		۰/۱۳۵		۱/۰۴۱	

g/cm^3 ۱/۵۴۵ است، انتظار می‌رود که با افزایش درصد α ـ سلولوز چگالی کامپوزیت هم افزایش ناچیزی داشته باشد. چگالی آمیزه‌های با دو نوع متفاوت α ـ سلولوز با درصد وزنی برابر الیاف، تفاوت چندانی با هم ندارند. به عبارتی، استفاده از الیاف داخلی تاثیر منفی بر چگالی قطعات نخواهد داشت.

سختی

سختی آمیزه‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. چنانچه دیده می‌شود با افزایش مقدار درصد وزنی α ـ سلولوز، سختی آمیزه‌ها تغییر چندانی نمی‌کند. این امر می‌تواند ناشی از آن باشد که رزین ملامین ـ فرمالدهید، رزینی با سختی زیاد است. از سوی دیگر الیاف α ـ سلولوز سختی چندانی ندارند، از این رو انتظار می‌رود که با افزایش مقدار الیاف سختی قطعه کاهش یابد. اما، از آنجاکه در قالبگیری فشاری هموار، سطح قطعات غنی از رزین است، به همین دلیل تغییر محسوسی با تغییر مقدار الیاف در سختی قطعه مشاهده نمی‌شود. از طرفی، سختی آمیزه‌ها با دو نوع لیف مختلف و با درصد وزنی برابر تفاوت چندانی نمی‌کند.

جمع‌شوندگی

جمع‌شوندگی یکی از ویژگیهای اساسی ترکیبات قالبگیری است و یکی از نقاط ضعف رزینهای ملامین ـ فرمالدهید جمع‌شوندگی زیاد آنهاست. این ضعف تا حدودی با اضافه کردن الیاف به آنها کاهش می‌یابد و انتظار می‌رود که با افزایش مقدار الیاف، مقدار جمع‌شوندگی کم شود. اما، مقدار جمع‌شوندگی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف داخلی بیشتر است و مناسفانه از حد استاندارد مجاز این ترکیبات لیفی تجاوز می‌کند [۱۲]. جدول ۱ نشان می‌دهد که با افزایش درصد وزنی الیاف، جمع‌شوندگی آمیزه‌ها کاهش می‌یابد. دیده می‌شود که در آمیزه‌های تقویت شده با α ـ سلولوز داخلی، مقدار جمع‌شوندگی بیشتر است. این امر احتمالا به دلیل وجود خلل و فرج سطحی این الیاف است که در بررسیهای ریزساختاری مشاهده شد.

براقیت

چنانچه در جدول ۱ دیده می‌شود مقدار براقیت آمیزه‌ها با افزایش درصد وزنی الیاف α ـ سلولوز افزایش می‌یابد. آمیزه‌های تقویت شده با α ـ سلولوز خارجی از براقیت سطح بیشتری برخوردارند. این مسئله هم به عواملی مانند منابع تهیه الیاف و چگونگی تولید آنها بستگی دارد. بنابراین، یکی از مشکلات استفاده از الیاف α ـ سلولوز داخلی براقیت کمتر قطعاتی است که با این الیاف تقویت می‌شود. اشاره می‌شود که براقیت قطعات مطابق استاندارد مربوط در زاویه تابش ۶۰° اندازه‌گیری شد.

جذب آب

جذب آب سرد

جدول ۱ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار درصد وزنی الیاف، میزان جذب آب در همه آمیزه‌ها افزایش می‌یابد. این ویژگی ناشی از آن است که الیاف α ـ سلولوز از قابلیت جذب آب زیادی [۹ تا ۱۸ درصد] برخوردار است [۴]. از این رو، با افزایش حجم آن در کامپوزیت جذب آب هم افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که میزان جذب آب آمیزه‌های تقویت شده با الیاف داخلی بیشتر است. این امر می‌تواند ناشی از تفاوت ریزساختار این الیاف باشد که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داده شده است.

جذب آب گرم

جذب آب گرم نمونه‌ها هم در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان جذب آب کمتر در این آزمون ناشی از آن است که نمونه‌ها نیم ساعت در آب ۱۰۰°C قرار داشته‌اند، در صورتی که نمونه‌ها به مدت ۲۴

جدول ۲ ـ خواص مکانیکی آمیزه‌های ملامین ـ فرمالدهید (SD انحراف معیار داده‌ها را نشان می‌دهد).

نمونه‌ها (انحراف معیار)	استحکام کششی (MPa)		مدول کششی (GPa)		ازدیاد طول تا پارگی (%)		استحکام خمشی (MPa)		مدول خمشی (GPa)		میزان خمش (%)		استحکام برشی بین لایه‌ای (MPa)	
	α ـ سلولوز													
	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی
۲۵	۳۱/۵۹۹	-	۳/۹۶	-	۱/۵۳۱	-	۸۶/۱۰۸	-	۸/۵	-	۱/۵۳	-	۷/۶۶۱	-
(SD)	(۶/۲۷۹)	-	(۰/۲۵)	-	(۰/۰۵۸)	-	(۷/۴۱۲)	-	(۳/۱۹)	-	(۰/۰۵۸)	-	(۰/۹۸۵)	-
۳۰	۳۲/۲۷	۲۸/۹۰۸	۳/۷۹	۴/۳۹	۱/۴۸۱	۱/۴۳۵	۹۵/۱۰۸	۹۳/۵۴۱	۸/۷۳۰	۸/۳۷	۱/۴۹۱	۱/۳۲	۷/۸۶۱	-
(SD)	(۶/۹۱۳)	(۲/۵۸۹)	(۰/۱۶۳)	(۰/۶۱)	(۰/۱۴۲)	(۰/۲۲۴)	(۹/۸۶۵)	(۱۳/۵۸۲)	(۰/۴)	(۰/۳)	(۰/۱۴۲)	(۰/۲۱)	(۱/۹۶۶)	-
۳۵	۴۰/۱۵۳	۳۱/۳۳۷	۴/۳۲۷	۴/۴	۱/۲۷۶	۱/۳۵	۹۷/۲۵۳	۱۰۱/۸۸	۹/۲۵	۱۰/۲۱	۱/۲۷۶	۱/۲۳۶	۹/۸۹۱	۱۰/۰۷
(SD)	(۴/۸۷۲)	(۴/۵۳۹)	(۰/۲۵)	(۰/۵)	(۰/۱۰۱)	(۰/۴۴۸)	(۲۰/۱۰۵)	(۱۸/۸۲)	(۰/۷)	(۰/۴۵)	(۰/۱۰۱)	(۰/۱۸)	(۰/۴۶)	(۱/۴۱۱)
۴۰	-	۲۵/۵۱۵	-	۳/۷۳	-	۰/۸۱۵	-	۱۰۰/۹۲۵	-	۱۱/۲	-	۱/۲۰۵	-	۱۲/۱۲۷
(SD)	-	(۶/۷۰۴)	-	(۰/۷۵)	-	(۰/۰۸۴)	-	(۵/۵۴۱)	-	(۰/۵۴)	-	(۰/۰۷۸)	-	(۰/۹۸)
MT	۳۵/۲۳۸		۳/۵۹۸		۱/۴۹۱		۹۶/۷۱		۱۰/۲۱		۱/۳۲		۱۱/۲۵۷	
(SD)	(۶/۱۷۱)		(۰/۳۴۱)		(۰/۱۹۹)		(۶/۱۷)		(۰/۲۳۲)		(۰/۰۷۳)		(۱/۰۱۴)	

ساعت در آب سرد $25^{\circ}C$ قرار داشته‌اند.

جریان‌یابی

چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار درصد وزنی الیاف، جریان‌یابی کاهش می‌یابد. کاهش جریان‌یابی به این دلیل است که با افزایش الیاف مقدار رزین کل آمیزه کمتر می‌شود و توده‌های الیاف از جریان‌یابی رزین جلوگیری می‌کند. درضمن دیده می‌شود که جریان‌یابی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز خارجی از آمیزه‌های تقویت شده با α ـ سلولوز داخلی بیشتر است. این امر احتمالا به دلیل وجود خلل و فرج روی الیاف داخلی است، زیرا در این صورت رزین بیشتری جذب شده و از جریان‌یابی سیستم می‌کاهد. مقدار استاندارد جریان‌یابی ترکیبات قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید از ۰/۸۸۹ تا ۱/۰۹۲ mm است [۱۳].

خواص مکانیکی

در جدول ۲ خواص مکانیکی آمیزه‌های ملامین ـ فرمالدهید آورده شده است که در ادامه نتایج بدست آمده بحث می‌شود.

استحکام کششی

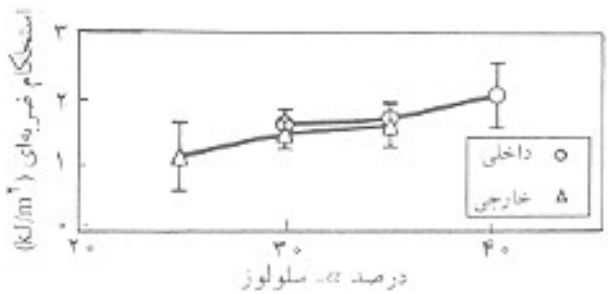
همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، در ترکیبات تقویت شده با الیاف سلولوز خارجی با افزایش مقدار درصد وزنی α ـ سلولوز تا ۳۵ درصد استحکام کششی زیاد می‌شود، ولی پس از آن استحکام کششی افت می‌کند. این امر می‌تواند ناشی از آن باشد که وقتی درصد α ـ سلولوز از ۳۵ درصد بیشتر شود، به دلیل جذب رزین زیاد این الیاف، آغشته‌سازی خوب انجام نمی‌شود و جریان‌یابی همچنان که قبلا نیز نشان داده شد، کاهش می‌یابد. بنابراین، نقصهای قطعه، یعنی نقاط عاری از رزین، زیاد شده و باعث افت خواص می‌شود. به همین دلیل بهترین مقدار درصد α ـ سلولوز خارجی برای تقویت‌کنندگی ۳۵ درصد است.

در آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز داخلی هم دقیقا همین روند منطقی مشاهده می‌شود، یعنی با افزایش مقدار درصد تقویت کننده استحکام کششی افزایش می‌یابد. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که جذب رزین الیاف α ـ سلولوز داخلی خیلی بیشتر از نوع خارجی آن است و نمی‌توان آمیزه‌ای با بیش از ۳۵ درصد وزنی الیاف تهیه کرد. با توجه به بررسیهای ریزساختاری بنظر می‌رسد که این ویژگی به دلیل خلل و فرج فراوان این الیاف باشد، بطوری که تهیه آمیزه با ۴۰ درصد وزنی α ـ سلولوز داخلی ناممکن است.

بنظر می‌رسد بیشتر بودن استحکام کششی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز داخلی در مقایسه با آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز خارجی با همان درصد وزنی، به دلیل چسبندگی بیشتر رزین و الیاف به دلیل وجود همان خلل و فرج سطحی الیاف باشد که با مکانیسمهای درهم‌گیریهای (interlocking) مکانیکی [۱۴] سبب بهبود خواص می‌گردند. علت کم بودن استحکام کششی نمونه تجاری (MT) خرد شدن بیشتر الیاف آن در اکسترودر است.

استحکام خمشی

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، استحکام خمشی آمیزه‌های



شکل ۶ ـ تغییرات استحکام ضربه‌ای برحسب مقادیر مختلف α ـ سلولوز خارجی (MI) و داخلی (MI).

ملامین ـ فرمالدهید تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز، با افزایش مقدار درصد وزنی آن بیشتر می‌شود. این افزایش در هر دو نوع لیف مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش درصد وزنی α ـ سلولوز بار خمشی اعمال شده به الیاف منتقل می‌شود و بیرون آمدن لیف و جدایی فصل مشترک مقدار زیادی از بار اعمال شده را خنثی می‌کند. چنانچه دیده می‌شود استحکام خمشی آمیزه‌های با درصدهای برابر α ـ سلولوز داخلی و خارجی تقریبا یکسان است. در آزمایش خمش ضعفهای موجود در ماده از قبیل وجود حفره، خلل و فرج و ضعفهای دیگر اثر کمتری در مقایسه با آزمون کشش نشان می‌دهد.

استحکام برشی بین لایه‌ای (ILSS)

این آزمون مطابق آزمون خمش سه‌نقطه‌ای روی نمونه‌های کوچک انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. چنانکه دیده می‌شود، استحکام برشی بین‌لایه‌ای با افزایش درصد الیاف در هر دو نوع آمیزه افزایش می‌یابد. بنظر می‌رسد که علت بیشتر بودن استحکام برشی بین لایه‌ای آمیزه‌های تقویت شده با α ـ سلولوز خارجی نقص کمتر در سطح این الیاف باشد. چون در این آزمایش بیشتر آثار فصل مشترک نقش خود را نشان می‌دهند، از این رو دیده می‌شود که استحکام آمیزه‌هایی که الیاف آن نقص کمتری دارند، بیشتر از آمیزه‌هایی است که نقص بیشتری در ساختار آنها وجود دارد.

استحکام ضربه‌ای

از آنجاکه از نظر کاربردی استحکام ضربه‌ای ترکیبات قالبگیری ملامین ـ فرمالدهید بسیار اهمیت دارد، از این رو ضروری است که استحکام ضربه‌ای این قطعات بررسی شود. نتایج آزمون ضربه در شکل ۶ ارائه شده است. در آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز داخلی و α ـ سلولوز خارجی، با افزایش مقدار α ـ سلولوز مقاومت در برابر ضربه افزایش می‌یابد که این امر ناشی از نقش الیاف در بهبود چقرمگی است. بنظرمی‌رسد علت اینکه استحکام ضربه‌ای آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز داخلی کمتر از آمیزه‌های پر شده با α ـ سلولوز خارجی است، وجود خلل و فرج در سطح این الیاف باشد که این خلل و فرج به عنوان نقاط تمرکز تنش و منابع ترکهای ریز عمل می‌کند و استحکام ضربه‌ای را کاهش می‌دهد. علت پایین بودن مقاومت در برابر ضربه مواد MT ($۴۹۵\ kJ/m^2$ / ۱) احتمالا به دلیل خردشدن زیاد الیاف آنها در اکسترودر است. چون این آمیزه‌ها با اکسترودرهای مخلوط‌کن بسیارقوی مخلوط و پیش‌پخت می‌شوند و سپس به پودرهای قالبگیری تبدیل می‌گردند، در حالی که در تهیه آمیزه‌های دیگر این مرحله وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که در بعضی از خواص آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز داخلی برتری دارند و در برخی از خواص دیگر، آمیزه‌های تقویت شده با الیاف α ـ سلولوز خارجی کارایی بهتری نشان می‌دهند، ولی با توجه به پراکندگی نتایج تفاوت زیادی از این نقطه‌نظر بین آنها مشاهده نمی‌شود. بنابراین، نتیجه‌گیری می‌شود که از لحاظ خواص مکانیکی این آمیزه‌ها تفاوت قابل توجهی با هم ندارند.

از نقطه نظر براقیت که در عمده کاربردهای خانگی این ترکیبات بسیار اهمیت دارد، ترکیبات تقویت شده با الیاف سلولوز داخلی کدرترند و این امر استفاده از آنها را با مشکل مواجه می‌کند. همچنین، نتایج میکروسکوپ الکترونی بیانگر تخلخل سطحی بیشتر الیاف سلولوز داخلی است که سبب مشکلتر شدن شرایط فراورش و کاهش استحکام ضربه‌ای آنها می‌گردد. اما با برخی اصلاحات در زمینه خواص فیزیکی الیاف α ـ سلولوز داخلی می‌توان آنها را جایگزین الیاف α ـ سلولوز خارجی کرد.

قدردانی

از مسئولان محترم شرکت صنایع شیمیایی فارس به ویژه آقایان مهندس بازغی، مهندس محمدنیا، مهندس پذیرایی و مهندس کلانتری که در تهیه نمونه‌ها همکاری داشتند قدردانی می‌شود.

مراجع

1. Sandler S. R. and Karo W.; *Polymer Syntheses*; **2**,

Academic, 1997.

2. Brydson J. A.; *Plastics Materials*; Cambridge University, 1989.
3. Hagstrand P.O., Rychwalski R.W. and Klason C., Microstructure and Analysis of a Ternary Melamine-Formaldehyde Composite; *Polym. Eng. Sci.*; **38**, 8, 1324-36, 1998.
4. Lee S. M., *Internationla Encyclopedia of Composites*, **1**, VCH, 1988.
5. Swaraj Poul; *Surface Coating Science and Technology*, Wiley Interscience, 1998.
6. Vale C. P., M. A., F. R. I. C., A. P. I., and W. G. K. Talor, B. S., A. R. I. C., *Amino Plastics*, Iliff Books, 1964.
7. H. Dominghaus, *Plastics for Engineers, Materials, Properties,*

Application Industrial Chemistry, Hanser, 1998.

8. Bunsell A. R.; *Fiber Reinforment for Composite Materials*; Elsevier, 1998.
9. Mileswki J. V. and Kast H. S.; *Handbook of Reinforced Resin Systems*; Applied Science., London, 1980.
10. Chawla K.; *Composite Materials, Science and Engineering*; Springer-Verlag, 1987.
11. Gutowski T. G.; *Advanced Composites Manufacturing*; John Wiley & Sons, 1997.
12. Annual Book of ASTM Standard, **0801**.
13. Annual Book of ASTM Standard, **0802**.
14. Hull D. and Clyne T. W.; *An Introduction to Composite Materials*; 2nd Ed., Cambridge University, 1996.