جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴
ص۲۰۹-۲۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۲

بررسی برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های هیبرید الیاف کاغذ مجلهٔ بازیافتی و الیاف شیشه- پلی‌پروپیلن

❖ **منیره ایمانی*؛** دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
❖ **علی قاسمیان؛** دانشیار، گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکدهٔ مهندسی چوب و کاغذ، گرگان، ایران
❖ **علی‌رضا شاکری؛** دانشیار، دانشکدهٔ شیمی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
❖ **ایمان اکبرپور؛** دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکدهٔ مهندسی چوب و کاغذ، گرگان، ایران

Archive of SID

چکیده

در این پژوهش الیاف کاغذ مجلهٔ بازیافتی (OMG) و الیاف شیشه (GF) در سطوح مختلف ۱۰،۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد (از نظر وزنی) با پلی‌پروپیلن (PP) در دو سطح ۵۰ و ۶۰ درصد مخلوط و چندسازهٔ ساخته‌شده با چندسازهٔ حاصل از پلی‌پروپیلن خالص بررسی شدند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از معادله‌های نرمال‌سازی در تیمارهای مختلف انجام‌شده، دو تیمار برتر از نظر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهتر براساس معادلهٔ نرمال‌سازی انتخاب و سپس با دو سطح صفر و ۴ درصد پلی‌پروپیلن مالئیک انیدریددارشده (MAPP) اصلاح شیمیایی شدند. نتایج حاصل نشان داد که تیمارهای با نسبت ۶۰:۲۰:۲۰ و همچنین ۵۰:۳۰:۲۰ (به‌ترتیب GF، OMG و PP) چندسازه‌های با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهتری را نتیجه دادند. استفاده ازMAPP در دو تیمار بهینهٔ تعیین‌شده، موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی و کاهش واکشیدگی ضخامت و جذب آب چندسازه شد. نتایج عکس‌برداری الکترونی پویشی (SEM) نشان داد که چندسازه‌های حاوی MAPP به شکل بهتری با فاز زمینه پلیمری بهتر ترکیب شده و عمل دربرگیری الیاف به‌وسیلهٔ پلی‌پروپیلن بهتر انجام شده است.

واژگان کلیدی: الیاف مجلهٔ بازیافتی، چندسازهٔ هیبریدی، مالئیک انیدرید، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های مکانیکی.

* نویسندهٔ مسئول تلفن:۰۹۸۹۱۵۶۴۱۶۵۹۰+
Email: Monir_Imani@yahoo.com

www.SID.ir

مقدمه

فراورده‌های چندسازه به مواد متشکل از اختلاط دو یا چند ماده گفته می‌شود، به‌طوری‌که اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن به‌گونه‌ای با یکدیگر تلفیق می‌شوند که خواص مفید هر یک از آن‌ها در فراوردهٔ چندسازه حفظ شود. به‌طور کلی، فراورده‌های مرکب شامل سه فازند: فاز زمینه یا پیوسته؛ فاز پرکننده یا تقویت‌کننده و فاز حد واسط بین دو فاز زمینه و پرکننده. نقش فاز تقویت‌کنندهٔ تحمل تنش‌های مکانیکی وارده است و فاز زمینه تنش‌های وارده را از یک جزء تقویت‌کننده به جزء دیگر منتقل کرده و درنتیجه در تمام قسمت‌های فراوردهٔ چندسازه توزیع می‌کند [۱].

چند سالی است که استفاده از الیاف سلولزی در ساخت چندسازه‌های الیاف- پلیمر در بیشتر کشورهای توسعه‌یافتهٔ جهان مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای مهم این مواد می‌توان به وزن و هزینهٔ کم، سایش ناچیز تجهیزات، اختلاط و آلوده نکردن محیط زیست اشاره کرد. جذب رطوبت و سازگاری نداشتن فازهای ترکیبی و تشکیل‌دهنده از مشکلات تهیهٔ چنین مواد به‌شمار می‌آید [۲]. استفاده از الیاف لیگنوسلولزی به‌منزلهٔ پرکننده و تقویت‌کننده در پلیمرها، بعد از کربنات کلسیم و الیاف شیشه در مقام سوم قرار دارد. سازگاری ناچیزی بین پلیمر گرمانرم غیرقطبی و الیاف قطبی وجود دارد، بنابراین با استفاده از یک عامل شیمیایی جفت‌کننده با برقراری اتصال، این دو ماده با هم سطوح مشترک و اتصال بیشتری می‌یابند. عامل جفت‌کنندهٔ نیروهای واندروالس بین الیاف و پلیمرهای گرمانرم را به پیوند کووالانسی و یا هیدروژنی تبدیل می‌کند. فرایند جفت شدن تحت تأثیر عواملی مثل نوع الیاف، مادهٔ پلیمری، روش تولید، نسبت وزنی الیاف به پلیمر و میزان مادهٔ جفت‌کننده قرار می‌گیرد. معمولاً عوامل جفت‌کننده روی سطح الیاف سلولزی یا مواد گرمانرم پیوند زده می‌شوند [۳].

نتایج مقایسهٔ خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با مخلوط الیاف بامبو و الیاف شیشه نشان داد که افزایش ۵ درصد پلی‌پروپیلن مالئیک انیدریددارشده (MAPP) به‌منزلهٔ جفت‌کننده سبب بهبود خواص مکانیکی چندسازهٔ حاصل می‌شود. همچنین با استفاده از اختلاط حاوی ۱۰ درصد الیاف شیشه و ۱۰ درصد الیاف بامبو، بیشترین مدول الاستیسیته و مقاومت کششی به‌دست می‌آید [۴]. بررسی اثربخشی اتیل وینیل استات (EVA) بر روی خواص مکانیکی چندسازه‌های تقویت‌شده با الیاف شیشهٔ بافته‌شده نشان داد که با اصلاح مادهٔ زمینهٔ پلی‌پروپیلن و الیاف پارچه‌شیشه، خواص مکانیکی چندسازه‌های اصلاح‌شده بهبود یافته است. همچنین مطالعات میکروسکوپی در سطح شکست نمونه‌های چندسازهٔ ساخته‌شده با الیاف پارچه‌شیشهٔ اصلاح‌شده بیانگر بهبودی در چسبندگی سطح مشترک چندسازه‌ها در مقایسه با نمونه‌های اصلاح‌نشده بود [۵]. نتایج مقایسهٔ چندسازه‌های ساخته‌شده از هیبرید الیاف شیشه و کاغذ روزنامه- پلی‌پروپیلن نشان داد که بعضی از خواص مکانیکی چندسازه نسبت به پلی‌پروپیلن بدون الیاف افزایش یافت. همچنین جفت‌کنندهٔ MAPP اثر معناداری بر خواص مکانیکی چندسازه داشت و چندسازه‌های ساخته‌شده با ۱۰ درصد وزنی الیاف شیشه و ۲۰ درصد وزنی الیاف کاغذ روزنامه، استحکام کششی، خمشی و ضربه‌ای

Archive of SID

www.SID.ir

بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان دادند [۶]. نتایج بررسی ویژگی‌های مکانیکی و آنالیزهای مکانیکی- دینامیکی چندسازه‌های مخلوط الیاف کنف و الیاف کربن نشان داد که مقاومت خمشی چندسازهٔ ساخته‌شده با ۱۵ درصد الیاف کربن و کنف افزایش، اما استفادهٔ بیش از این مقدار موجب کاهش آن می‌شود [۷]. بررسی به‌عمل‌آمده از تأثیر استفاده از سطوح مختلف الیاف روزنامهٔ بازیافتی و الیاف شیشه در اختلاط با پلی‌پروپیلن بیانگر آن است که استفاده از اختلاط شامل ۱۰ درصد الیاف شیشه و ۳۰ درصد الیاف روزنامهٔ بازیافتی و یا اختلاط ۴۰ درصد الیاف بازیافتی، بدون الیاف شیشه، درمجموع چندسازه‌های با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهتری را نتیجه می‌دهد. همچنین استفاده از مالئیک انیدرید جفت‌شده با پلی‌پروپیلن موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه می‌شود [۳].

نتایج استفاده از الیاف باگاس (با درصدهای وزنی ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد) در اختلاط با ۵ درصد الیاف شیشه (از نظر وزنی) با استفاده از رزین اپوکسی نشان داد که افزودن الیاف باگاس موجب افزایش مدول الاستیسیتهٔ رزین اپوکسی شد. همچنین افزودن الیاف باگاس موجب کاهش مقاومت کششی شد درحالی‌که افزودن الیاف شیشه در مقایسه با چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس، موجب افزایش مقاومت کششی نهایی چندسازه شد. الیاف باگاس تقویت‌شده با شیشه[1] به‌دلیل الاستیسیتهٔ بیشتر در مقایسه با مادهٔ ماتریکس، موجب بهبود مقاومت ضربهٔ مادهٔ اپوکسی شد. افزایش مصرف الیاف باگاس موجب افزایش ظرفیت جذب آب و کاهش مقاومت خمشی چندسازه شد اما افزودن الیاف شیشه مقاومت خمشی چندسازه را حتی بیشتر از مقاومت خمشی چندسازه‌های تجاری موجود که از باگاس خالص ساخته شده است، افزایش داد.

شواهد حاصل از الیاف چوبی هیبریدی با الیاف شیشه در ماده زمینهٔ پلی‌پروپیلن نشان داده است که استفاده از الیاف چوبی بهبود ملایمی را در مقاومت کششی ویژگی‌های خمشی و ضربهٔ چندسازه نتیجه داد. استفاده از ۱۰ درصد وزنی الیاف چوبی بیشترین مقاومت کششی، استفاده از ۱۵ درصد وزنی الیاف بیشترین مقاومت خمشی و بیشترین مقاومت ضربه در چندسازه‌های ساخته‌شده با استفاده از ۲۰ درصد الیاف به‌دست آمد. افزایش مصرف الیاف چوبی موجب افزایش مدول کششی و خمشی چندسازه‌ها شده است و بیشترین این مقادیر با ۲۵ درصد الیاف حاصل شد [۸]. در این پژوهش چندسازه‌های پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با الیاف کاغذ مجلهٔ بازیافتی، پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با الیاف شیشه و پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با مخلوط الیاف شیشه/ الیاف مجلهٔ بازیافتی تهیه شد. اثر نسبت‌های مختلف الیاف شیشه/ الیاف کاغذ مجلهٔ بازیافتی (۴۰ و ۵۰ درصد) و اثر جفت‌کنندهٔ مالئیک انیدرید (دو سطح صفر و ۴ درصد) بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

آماده‌سازی الیاف مجلهٔ بازیافتی

ابتدا کاغذ مجلهٔ تهیه‌شده به‌مدت ۴۸ ساعت در آب خیسانده شد. سپس جداسازی الیاف در آب توسط

1. Bagasse-glass reinforced

Archive of SID

www.SID.ir

همزن آزمایشگاهی به‌مدت ۲ ساعت انجام و سپس در خشک‌کن با دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. الیاف خشک‌شده پس از آسیاب‌شدن، از الک با منافذ ۵۰ مش عبور داده شد و سپس در تیمارهای مورد نظر براساس جدول ۱ استفاده شدند.

تهیهٔ پلی‌پروپیلن (PP[1])، الیاف شیشه (GF[2]) و مالئیک انیدرید (MA[3])

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن (تهیه‌شده از شرکت پتروشیمی بندر امام‌خمینی با شاخص مذاب ۶ گرم بر دقیقه)، پلی‌پروپیلن پیونددارشده با مالئیک انیدرید (MAPP) به‌منزلهٔ جفت‌کننده (ترکیب MAPP شامل ۰/۶ درصد مالئیک انیدرید) با نام تجاری 101 PP-G ساخت شرکت کیمیا جاوید سپاهان (اصفهان) با شاخص جریان مذاب ۱۰۰g/۱۰min استفاده شد. همچنین الیاف شیشه (از نوع E-glass با مشخصات دانسیتهٔ ۲/۲۵ g/cm^3، طول متوسط ۱۲ میلی‌متر محصول شرکت Exssone کرهٔ جنوبی) تهیه و در تیمارهای انجام‌شدهٔ این پژوهش استفاده شدند.

ساخت چندسازهٔ آزمایشگاهی

الیاف مجلهٔ بازیافتی و الیاف شیشه با توجه به سطوح مختلف وزنی (جدول ۱) توزین و سپس مخلوط شدند و سپس چندسازه (با ابعاد ۱۵×۲۰ سانتی‌متر) با استفاده از پرس گرم ساخته شد. برای ساخت چندسازه به روش منقطع (ناپیوسته)، از پرس آزمایشگاهی مدل OTT استفاده شد. به‌طوری‌که بعد از قرار گرفتن سینی حاوی کیک در دستگاه پرس، ابتدا مرحلهٔ پیش‌پرس به‌مدت زمان ۵ دقیقه بدون هیچ‌گونه اعمال فشار تنها با دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد انجام شد. پرس گرم تحت شرایط مدت زمان ۵ دقیقه، فشار ۳۰کیلوگرم بر متر مربع و دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد اعمال و دهانهٔ پرس بسته نگه داشته شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه، تختهٔ مورد نظر برداشته شده و به ابعاد ۱۵×۲۰ سانتی‌متر به‌صورت چندسازه تولید شده و پس از قراردادن آن‌ها در پرس سرد به‌مدت ۵ دقیقه، تخته‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت توسط گیره و پیچ‌دستی بسته شدند تا هیچ‌گونه انحنایی در آن‌ها حاصل نشود. از چندسازه‌های ساخته‌شده نمونه‌های آزمایشگاهی مطابق با استانداردهای مربوطه تهیه و خواص فیزیکی- مکانیکی آن‌ها اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. درصد وزنی اجزای تشکیل‌دهندهٔ چندسازه در تیمارهای مختلف

شمارهٔ تیمار	PP	الیاف کاغذ مجله	الیاف شیشه	MAPP
۱	۶۰	۴۰	۰	۰
۲	۶۰	۳۰	۱۰	۰
۳	۶۰	۲۰	۲۰	۰
۴	۶۰	۱۰	۳۰	۰
۵	۶۰	۰	۴۰	۰
۶	۵۰	۵۰	۰	۰
۷	۵۰	۴۰	۱۰	۰
۸	۵۰	۳۰	۲۰	۰
۹	۵۰	۲۵	۲۵	۰
۱۰	۵۰	۲۰	۳۰	۰
۱۱	۵۰	۱۰	۴۰	۰
۱۲	۵۰	۰	۵۰	۰
۱۳	۱۰۰	۰	۰	۰
۳B	۵۶	۲۰	۲۰	۴
۸B	۴۶	۳۰	۲۰	۴

PP: پلی‌پروپیلن، MAPP: مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن‌دار

1. Polypropylene
2. Glass fibre
3. Maleic anhydride

Archive of SID
www.SID.ir

آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه

ویژگی‌های فیزیکی چندسازه شامل واکشیدگی ضخامت، جذب آب و دانسیته مطابق با آیین‌نامهٔ D ۷۵۱۹ استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های مکانیکی شامل کشش و خمش به‌ترتیب مطابق با آیین‌نامه‌های D۴۷۶۱ و D ۶۱۰۹ و مقاومت ضربه مطابق با آیین‌نامهٔ D۶۲۵ از استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری مربوط به آزمون کشش و خمش تخته‌ها با استفاده از دستگاه مدل شنک[1] انجام شد. فاصلهٔ بین دو فک این دستگاه ۶/۵ سانتی‌متر و سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه بوده است. ابعاد اسمی نمونه‌های آزمون کششی (طول اسمی ۱۷ سانتی‌متر، عرض ۱ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۷ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. نمونه‌های آزمون خمشی مستطیل‌شکل و به ابعاد اسمی (طول ۳۰ سانتی‌متر، عرض۱۶ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۷ سانتی‌متر) لحاظ شد. فاصلهٔ بین دو تکیه‌گاه،۱۰ سانتی‌متر و سرعت بارگذاری مطابق استاندارد،۴ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. آزمون مقاومت به ضربه با استفاده از دستگاه پاندولی ساخت شرکت زویک[2] انجام شد. در این آزمون برای هر تیمار ۳ نمونه به ابعاد اسمی (۶×۱/۲×۰/۷) سانتی‌متر به شکل بدون شکاف طبق استاندارد تهیه و مقاومت به ضربهٔ آن‌ها تعیین شد. در بین تیمارهای انجام‌شده، دو تیمار از نظر بهترین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی از طریق معادله‌های نرمال‌سازی انتخاب و سپس با استفاده از مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن‌دار (MAPP) در دو سطح صفر و ۴ درصد از آن‌ها چندسازه ساخته شد و اثر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری

طرح آماری استفاده‌شده در این پژوهش برای مقایسهٔ ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از اختلاط‌های مختلف، از نوع کاملاً تصادفی است. تجزیهٔ واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام و مقایسهٔ میانگین مقادیر به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد انجام شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست نمونه‌هایی که در ازت مایع قرار داده شده بودند به کمک میکروسکوپ FE-SEM مدل S-4160 ساخت شرکت هیتاچی ژاپن با ولتاژ شتاب‌دهندهٔ 20eV تهیه شد.

نتایج و بحث

انتخاب بهترین تیمار آزمایشی از طریق محاسبهٔ معادلهٔ نرمال‌سازی

در تیمارهای آزمایشی مختلف انجام‌شده با درصدهای مختلف GF، OMG و PP، محاسبهٔ معادلهٔ نرمال‌سازی انجام شد تا بهترین تیمارهای آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد نظر (جدول۲) تعیین شود. نتایج امتیازبندی تیمارها براساس معادلهٔ نرمال‌سازی در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تیمارهای آزمایشی ۳ و ۸ با توجه به اینکه بیشترین امتیاز را داشتند، به‌منزلهٔ بهترین تیمار انتخاب شدند. درصد اهمیت با توجه به نوع کاربرد پیش‌بینی می‌شود.

1. SCHENCK
2. Zwick

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. درصد اهمیت خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازهٔ مورد نظر در محاسبهٔ معادلات نرمال‌سازی

خواص فیزیکی و مکانیکی	الگوی مورد نظر	علامت اختصاری
مقاومت کششی	۳۰	X_1
مقاومت به ضربه	۲۰	X_2
جذب آب	۲۰	X_3
مدول گسیختگی	۱۰	X_4
مدول الاستیسیتهٔ کششی	۵	X_5
مدول الاستیسیتهٔ خمشی	۵	X_6
کرنش کششی	۵	X_7
دانسیته	۵	X_8

معادلهٔ نرمال‌سازی براساس الگوی مورد نظر در مرحلهٔ اول:

$$۰/۰۱۱۸X_۱ + ۰/۰۰۳۴ X_۲ + ۰/۰۲۱۸X_۳ + ۰/۰۰۲ X_۴ + ۰/۰۰۰۱۵ X_۵ + ۰/۰۱X_۶ + ۰/۰۰۰۰۱۶ X_۷ + ۰/۰۴۳۸ X_۸ = ۱$$

جدول ۳. امتیازات و رتبه‌بندی متعلق به هر یک از چندسازه‌ها

تیمار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
امتیاز	۰/۹۸۲	۱/۱۷۴	۱/۳۰۲	۰/۹۹۲	۱/۱۴۹	۰/۹۶۲	۰/۹۷۴۲	۱/۲۹۴	۱/۰۰۸	۱/۱۸	۱/۱۰۳	۱/۱	۱/۰۰۲
رتبه	۱۱	۳	۱	۱۰	۴	۱۳	۱۲	۲	۷	۵	۶	۸	۹

جدول ۴. نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی هر یک از چندسازه‌ها در مرحلهٔ اول (قبل از افزودن MAPP)

خواص / تیمار	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت به ضربه (J/m)	مدول گسیختگی (MPa)	مدول الاستیسیتهٔ کششی (MPa)	مدول الاستیسیتهٔ خمشی (MPa)	کرنش کششی (٪)	جذب آب (٪)	واکشیدگی ضخامت (٪)
T_1	۲۰/۸۶۴	۶۴/۷۷۲	۳۳/۹۲۶	۱۶۷۰/۲۵	۱۶۹۹/۲۳۹	۶/۴۹۳	۵/۵۲۹	۲/۲۷۰
T_2	۲۴/۲۲۸	۶۰/۱۲	۳۴/۲۸۲	۱۶۷۷/۷۶۱	۲۰۱۱/۲۲۴	۳/۴۳۵	۴/۳۲	۱/۶۴۴
T_3	۲۵/۴۳۷	۵۹/۸۲۳	۳۷/۰۸۴	۱۹۲۷/۰۸۳	۲۱۷۴/۹۱۹	۳/۳۹۷	۳/۱۷۱	۱/۴۷۲
T_4	۲۲/۳۶۵	۵۸/۳۸۲	۶۱/۴۷	۱۹۹۵/۸۸	۲۴۱۰/۵۲۴	۲/۹۵۵	۲/۱۵۸	۱/۳۵۹
T_5	۲۵/۲۷۰	۵۵/۷۷۲	۷۷/۴۷۹	۲۰۵۶/۸۲۳	۲۷۳۴/۸۰۳	۲/۵۶۵	۱/۹۶۱	۱/۱۷۵
T_6	۱۶/۳۵۸	۵۹/۲۱۶	۲۵/۸	۱۳۰۵/۱۴۹	۱۶۴۳/۴۱۵	۴/۰۶۵	۱۲/۴۹	۳/۹۵۰
T_7	۱۸/۷۰۷	۵۲/۴۳	۲۴/۹۵	۱۴۰۵/۹۳۹	۱۶۷۵/۰۰۸	۳/۰۳	۱۱/۷۱۷	۲/۹۳۲
T_8	۲۴/۲۴۵	۵۰/۷۵۹	۲۶/۳۸۸	۱۹۸۸/۸۸	۱۹۲۰/۱۲۶	۲/۷۱۵	۸/۵۴۱	۳/۰۲۳
T_9	۲۲/۸۴۳	۴۹/۳	۳۳/۷۷	۱۷۳۸/۱۹۶	۲۱۱۹/۱	۲/۲۱۲	۶/۵۶۷	۲/۷۶۶
T_{10}	۲۲/۸۶۴	۴۸/۵	۳۴/۱۱	۲۶۳۰	۲۳۹۰/۸۵	۱/۶۰۵	۵/۷۱۰	۲/۵۸۳
T_{11}	۲۱/۵۱۰	۴۲/۱۸۴	۳۵/۰۰۲	۲۳۶۹/۲۲۹	۲۵۵۸/۴۴۱	۱/۳۱	۳/۳۷	۱/۴۶۷
T_{12}	۲۴/۱۴۵	۴۰/۳۷	۳۸/۵۶۸	۲۵۵۰/۲۰۲	۲۸۹۱/۰۳	۱/۰۲	۰/۶۱۲	۱/۲۸۰
T_{13}	۲۹	۶۸/۵	۳۹/۳۲۴	۲۹۰۰	۸۱۰/۲۵۱	۵/۶۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲

جدول ۵. نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی دو تیمار برتر در مرحلهٔ دوم (بعد از افزودن MAPP)

Archive of SID
www.SID.ir

خواص / تیمار	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت به ضربه (J/m)	مدول گسیختگی (MPa)	مدول الاستیسیتهٔ کششی (MPa)	مدول الاستیسیتهٔ خمشی (MPa)	کرنش کششی (٪)	جذب آب (٪)	واکشیدگی ضخامت (٪)
T_3	۲۶/۹۸۱	۶۳/۷۵۸	۴۶/۱۵۱	۲۴۲۸/۲۴۱	۲۹۱۴/۸۷۳	۲/۵۰۱	۲/۲۲۵	۰/۹۷
T_8	۲۷/۷۸۸	۵۸/۶۰۱	۳۱/۷۸۹	۲۴۸۱/۲۳۵	۲۴۸۸/۲۴۲	۱/۳۴۰	۴/۱۵۲	۲/۳۲۱

مقایسهٔ کلی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها

مقاومت کششی، مدول الاستیسیتهٔ کششی و کرنش کششی

نتایج اندازه‌گیری‌های مقاومت کششی در سیزده تیمار مختلف در جدول ۴ آمده است. بیشترین مقدار مقاومت کششی را تیمار T_3 حاوی ۲۰ درصد الیاف مجله و ۲۰ درصد الیاف شیشه با مقدار MP۲۵/۴۳۷ و کمترین آن را تیمار T_6 حاوی ۵۰ درصد الیاف مجله با مقدار MPa۱۶/۳۵۸ داراست. تأثیر MAPP بر مقاومت کششی چندسازه در جدول ۵ ارائه شده است. به‌طور کلی، مقاومت کششی چندسازه در تیمارهای T_{1-5} که دارای ۴۰ درصد الیاف هستند، بیشتر از مقاومت کششی تیمارهای T_{6-12} با ۵۰ درصد الیاف است. یکی از علت‌های آن این است که در سطح ۴۰ درصد الیاف انتقال بهتر تنش از ماده زمینهٔ پلی‌پروپیلن به الیاف صورت می‌گیرد و ماده زمینه امکان دربرگیری تمام الیاف را دارند اما در مقادیر بیش از ۴۰ درصد بخشی از الیاف توسط پلیمر در بر گرفته نمی‌شوند و فضای خالی وجود دارد و بنابراین، این نقاط به‌منزلهٔ تمرکز تنش عمل می‌کنند و سبب کاهش مقاومت کششی می‌شوند. براساس جدول ۵، مقاومت کششی چندسازه با افزودن جفت‌کنندهٔ MAPP افزایش می‌یابد زیرا سازگارکننده سبب تقویت اتصال بین دو فاز می‌شود و درنتیجه مقاومت کششی را افزایش می‌دهد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهشگران قبلی مطابقت دارد [۳، ۹، ۱۰، ۱۱].

افزایش درصد الیاف شیشه موجب افزایش مدول کششی چندسازه‌های ساخته می‌شود یعنی تیمارهای حاوی الیاف شیشه نسبت به الیاف مجله چندسازه‌های با مدول الاستیسیتهٔ بیشتری را نتیجه داد (جدول۴) که با توجه به مقادیر بالای مدول الیاف شیشه نسبت به الیاف لیگنوسلولزی این افزایش منطقی به‌نظر می‌رسد. بیشترین مقدار مدول الاستیسیتهٔ کششی را تیمار T_{10} با مقدار MPa۲۶۳۰ و کمترین مقدار مدول الاستیسیته را تیمار T_6 با MPa۱۳۰۵/۱۴۹ داراست. با توجه به جدول ۵، وجود جفت‌کننده سبب افزایش مدول الاستیسیتهٔ کششی می‌شود که علت آن می‌تواند به‌دلیل افزایش چسبندگی الیاف به سطح پلیمر باشد که فضاهای خالی بین الیاف و ماده زمینه را کاهش می‌دهد. نتایج این پژوهش با نتایج منتشرشده در منابع علمی مطابقت دارد [۱۲، ۱۳].

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تمام چندسازه‌های حاوی الیاف کاغذ مجله نسبت به چندسازه‌های حاوی الیاف شیشه کرنش کششی

Archive of SID

www.SID.ir

بیشتری دارند، که این امر ناشی از سخت‌تر بودن الیاف شیشه در مقایسه با الیاف کاغذ روزنامه است. بیشترین کرنش کششی را نمونهٔ T_1 یعنی چندسازهٔ حاوی ۴۰ درصد الیاف روزنامه و کمترین آن متعلق به تیمار T_{12} بوده است که متشکل از ۵۰ درصد الیاف شیشه است. به‌نظر می‌رسد MAPP با برهمکنش و پیوندی که بین الیاف و ماده زمینه به‌وجود می‌آورد همانند یک گره‌خوردگی عمل می‌کند و مانع از لغزش زنجیرهای پلیمری به روی هم می‌شود و ازدیاد طول در نقطهٔ پارگی را کاهش نشان می‌دهد (جدول ۵). در مطالعات قبلی نیز نتایج مشابهی گزارش شده است [۲، ۳، ۱۴].

مدول گسیختگی

براساس جدول ۴ بیشترین میانگین مدول گسیختگی مربوط به تیمار T_5 با Mpa۷۷/۴۷۹ و کمترین آن مربوط به تیمار T_7 با Mpa۲۴/۹۵ است. با توجه به جدول ۵ در صورت وجود MAPP به‌منزلهٔ عامل جفت‌کننده، مدول گسیختگی چندسازه بیشتر می‌شود. ایمانی در پژوهش خود به این نتیجه رسید که با افزایش مقدار الیاف سلولزی در زمینهٔ پلیمری به‌علت ایجاد سطوح ویژهٔ الیاف سلولزی و کم‌شدن مادهٔ گرمانرم اتصال مناسب میان الیاف سلولزی و ماده زمینه ضعیف‌تر شده است که به کاهش ویژگی خمشی منجر می‌شود [۳].

مدول الاستیسیتهٔ خمشی

بیشترین میانگین مدول الاستیسیتهٔ خمشی را تیمار T_{12} با ۵۰ درصد الیاف و کمترین مدول خمشی را تیمار T_6 حاوی ۴۰ درصد الیاف داراست (جدول ۴) که این افزایش به‌علت بالابودن مقادیر مدول الیاف نسبت به ماده زمینه قابل توجیه است که افزایش الیاف سبب افزایش مدول الاستیسستهٔ خمشی چندسازه می‌شود. جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزودن مالئیک انیدرید، مدول الاستیسیتهٔ خمشی روند صعودی دارد.

مقاومت به ضربه

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است، با افزایش مقدار الیاف شیشه، مقاومت به ضربهٔ چندسازه کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بهترین مقاومت به ضربه را چندسازهٔ T_1 حاوی ۴۰ درصد الیاف روزنامه داراست و کمترین مقاومت به ضربه مربوط به تیمار T_{12} حاوی ۵۰ درصد الیاف شیشه است. به‌طور کلی، چندسازه‌های با ۴۰ درصد الیاف نسبت به چندسازه‌های با ۵۰ درصد الیاف مقاومت به ضربهٔ بیشتری داشتند. با افزایش الیاف به‌علت چسبندگی نداشتن الیاف با ماده زمینه مقدار حفره‌های بین الیاف و ماده زمینه بیشتر می‌شود و درنتیجه این نقاط سبب تمرکز تنش می‌شود و ماده از این نقطه شروع به رشد ترک می‌کند و مقاومت به ضربهٔ نمونه کاهش می‌یابد. دربارهٔ این موضوع پژوهشگران قبلی نیز به نتیجهٔ مشابهی دست یافتند [۲، ۳، ۱۴]. با توجه به جدول ۵ بر اثر افزودن مالئیک انیدرید، مقاومت به ضربه روند نزولی دارد که این امر می‌تواند ناشی از چسبندگی بهتر الیاف به ماده زمینهٔ پلیمری و افزایش شکنندگی نمونه‌ها باشد و قابل توجیه است.

Archive of SID

www.SID.ir

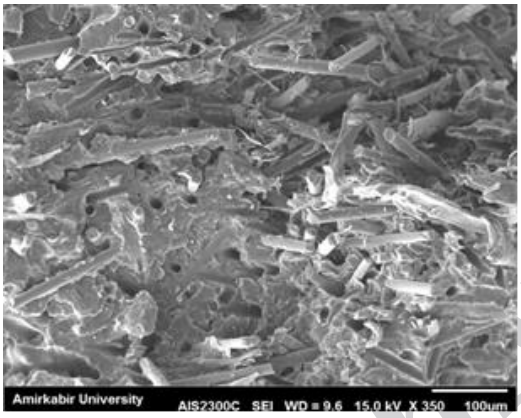
واکشیدگی ضخامت و جذب آب

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه با افزایش میزان الیاف خمیر کاغذ در چندسازه افزایش یافت که این امر با توجه به خاصیت آب‌دوست بودن الیاف سلولزی توجیه می‌شود. همچنین افزایش مادهٔ سلولزی و به‌تبع آن افزایش ریزحفره‌های چندسازه، سبب ایجاد مقدار زیادی پیوندهای ضعیف بین مادهٔ سلولزی آب‌دوست و ماده زمینهٔ آب‌گریز می‌شود و مولکول‌های آب به‌راحتی در داخل این ریزحفره‌ها وارد می‌شود و میزان جذب آب افزایش می‌یابد. شواهد این پژوهش با نتایج و یافته‌های گزارش‌شده در منابع علمی مطابقت دارد [۳، ۱۶، ۱۷، ۱۸].

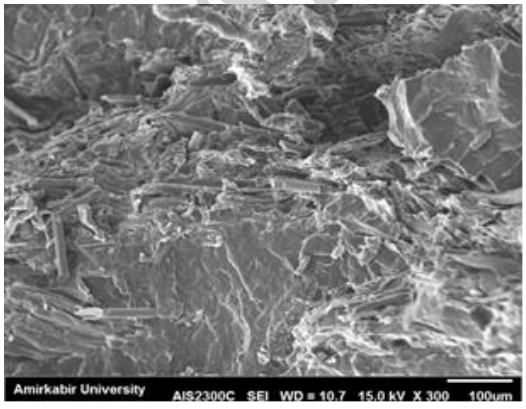
مطالعات میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

به‌منظور بررسی سطوح شکست و همچنین بررسی اثر وجود سازگارکننده بر میزان اتصال الیاف کاغذ مجلهٔ بازیافتی (OMG) و الیاف شیشه (GF) با ماده زمینهٔ پلی‌پروپیلن، مطالعاتی توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی صورت گرفت. شکل ۱ تصویری از سطح شکست تیمار به نسبت ۶۰:۲۰:۲۰ (به‌ترتیب GF، OMG و PP) بدون سازگارکننده را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود الیاف روزنامه به همراه الیاف شیشه در ماده زمینهٔ پلیمری پخش شده‌اند و پس از شکست نمونه، به‌راحتی و به‌صورت سالم از ماده زمینهٔ پلی‌پروپیلن جدا و خارج شده‌اند علت حضورنداشتن سازگارکننده و درنتیجه اتصال ضعیف بین ماده زمینه و الیاف، فواصل و حفره‌هایی نیز به چشم می‌خورد که بیانگر خارج‌شدن الیاف از جای خود است.

شکل ۲ نمایی از سطح شکست نمونهٔ تیمار به نسبت ۵۶:۲۰:۲۰ (به‌ترتیب GF، OMG و PP) و ۴ درصد سازگارکننده را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود الیاف تا حدی توسط ماده زمینه احاطه شده‌اند و چسبندگی بین این دو فاز در حدی بوده است که الیاف از جای خود خارج نشده‌اند و مقدار کمی حفره و فضای خالی نیز به چشم می‌خورد و بیانگر آن است که بین الیاف و ماده زمینه اتصال و پیوند برقرار شده است که بر اثر شکست چندسازه، علاوه بر الیاف، ماده زمینه هم شکسته شده و الیاف از ماده زمینه خارج نشده است.



شکل ۱. تصویر SEM تیمار حاوی ۴۰ درصد الیاف و بدون سازگارکننده (۱ و ۲ به‌ترتیب الیاف شیشه و مجلهٔ بازیافتی خارج‌شده از ماده زمینهٔ پلی‌پروپیلن و ۳ جای خالی الیاف)



شکل ۲. تصویر SEM تیمار حاوی ۴۰ درصد الیاف و ۴ درصد سازگارکننده (۱ و ۲: الیافی که به ماده زمینه چسبیده‌اند)

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی و مقایسهٔ تأثیر افزایش مقدار الیاف روزنامه و الیاف شیشه و مخلوط این دو با یکدیگر و همچنین بررسی اثر سازگارکنندهٔ مالئیک انیدرید بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازهٔ پلی‌پروپیلن- الیاف مجله و الیاف شیشه بود. بر روی چندسازه‌ها آزمون‌های مکانیکی شامل کشش، خمش، ضربه و خواص فیزیکی مانند جذب آب، واکشیدگی ضخامت و دانسیته انجام شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که الیاف خمیر کاغذ مجلهٔ بازیافتی می‌تواند به‌منزلهٔ یک تقویت‌کنندهٔ بسیار ارزان‌قیمت و همچنین تخریب‌پذیر به‌همراه الیاف شیشه در چندسازه‌ها استفاده شود. نتایج ارزیابی‌های به‌عمل‌آمده در این پژوهش بیانگر آن است که با افزایش الیاف هیبریدی از ۴۰ درصد به ۵۰ درصد، مقاومت کششی، مدول الاستیسیتهٔ کششی، کرنش کششی، مدول گسیختگی، مقاومت به ضربه کاهش و مدول الاستیسیتهٔ خمشی، جذب آب، واکشیدگی ضخامت افزایش یافت. تیمار ۴۰ درصد حاوی مقادیر مساوی از دو نوع الیاف شیشه و الیاف خمیر کاغذ مجلهٔ بازیافتی نسبت به سایر تیمارها خواص بهتری را از خود نشان داد. همچنین با افزودن مالئیک انیدرید جفت‌شده با پلی‌پروپیلن (MAPP)، مقاومت کششی، مدول الاستیسیتهٔ کششی، مدول گسیختگی، مدول الاستیسیتهٔ خمشی و مقاومت به ضربهٔ چندسازه‌های ساخته‌شده افزایش و کرنش کششی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Omidvar, A., and Saheb Raftar, H. (2001). The possibility of utilization of recycled newspaper fibers as reinforcer in unsaturated polyester to be used in the making of wood fibre polyester composite (WFPC). Iranian Journal Natural Resources, 53 (3):187 -198.

[2]. Ebrahimi, Gh., and Tajvidi, M. (1999). Study of the use of cellulose, paper and wood fibers in the manufacture of fiber-polypropylene composites. Iranian Journal Natural Resources, 51(2):35-45.

[3]. Imani, M. (2008). Effect of recycled newspaper and glass fiber on the physical and mechanical properties of polypropylene-paper and glass fibers composite. M. Sc. Degree Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 86p.

[4]. Thwe, M., and Laio, K. (2002). Tensile behavior of modified bamboo-glass fiber reinforced hybrid composites. Plastic, Rubber and Composites, 31(10): 422-428.

[5]. Faghihi, J., Rahimi, H., Arabi, H., and Bagheri, S.M. (2005). Effect of ethylene vinyl acetate on mechanical properties of glass mat reinforced polypropylene composites. Polymer Technology and Sciences Journal, 18 (5): 303-310.

[6]. Shakeri, A., and Raghimi, M. (2010). Studies on mechanical performance and water absorption of recycled newspaper/ glass fiber reinforced polypropylene hybrid composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29 (7): 994- 1005

[7]. Anuar, H., Ahmad, S. H., Rasid, R., Ahmad, A., Wan Busu, and W. N. (2008). Mechanical properties and dynamic mechanical analysis of thermoplastic-natural-rubber- reinforced short carbon fiber and kenaf fiber hybrid composites. Journal of Applied Polymer Science, 107(6): 4043-4052.

[8]. Kumar, N.V., and Tejomurthi, P. (2012). Investigation on mechanical properties of short vakka fiber glass reinforced hybrid thermoplastic composites. International Journal of Engineering Research & Technology, 1(7):1-7.

[9]. Shakeri, A., Omidvar, A., and Seilani, L. (2002). An investigation of fabrication cellulose fibers-polymer using recycled polystyrene and waste newspaper. Iranian Journal Natural Resources, 55(3):407 -417.

[10]. Shakeri, A., and Raghimi, M. (2010). Studies on mechanical performance and water absorption of recycled newspaper/ glass fiber reinforced polypropylene hybrid composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29 (7): 994- 1005.

[11]. Khanam, P.N., Reddy, M. M., Raghu, K., John, K., and Naidu, S. V. (2007). Tensile, flexural and compressive properties of sisal/silk hybrid composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 26(10):1065-1070.

[12]. Nabi Saheb, D., and Jog J.P. (1999). Natural fiber polymer-composites: A Review Advances in Polymer Technology, 18(4):351-363.

[13]. Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Hermanson, J. C., and Ghasemi, I. (2007). Tensile properties of wood flour/kenaf fiber polypropylene hybrid composites. Journal of Applied Polymer Science, 105(5): 3054-3059.

[14]. Ebrahimi, Gh., and Saffarzadeh,S. (2001).To study the possibility of the use of cellulosic fibers as reinforcer in the manufacture of fiber high-density polyethylene. Iranian Journal Natural Resources, 53(3):217-224.

Archive of SID

www.SID.ir

[15]. Krzysik A. M., Youngquist J. A., Myers G. E., Chahyadi I. S., and Kolosick P. C. (1990). Wood-polymer bonding in extruded and nonwoven web composite panels. in 'Proceedings of Wood Adhesives, Madison, USA, 183–189.

[16]. Rowell, R. M., Lange, S. E., and Jacobson, R. E. (2002). Effects of moisture on Aspen-Fiber/polypropylene composite. USDA, forest product service, forest products laboratory Madison. WL, USA. Progress in Wood Fiber-Plastic Composite Conference, Toronto Canada. May 23-24.

[17]. Kalaprasad, G., Francis, B., Thomas, S., Kumar, C.R., Pavithran, C., Groeninckx, G., and Thomas, S. (2004). Effect of fiber length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fiber reinforced low density polyethylene composites. Polymer International, 53(11): 1624-1638.

[18]. Panthapulakkal, S., Sain, M. (2007). Studies on the water absorption properties of short hemp-glass fiber hybrid polypropylene composites. Journal of Composite Materials, 41(15):1871-1883.

Archive of SID

www.SID.ir