

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۲

ص ۲۰۹-۲۲۰

بررسی برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های هیبرید الیاف کاغذ مجله بازیافتی و الیاف

شیشه- پلی پروپیلن

- ❖ منیره ایمانی*؛ دانش‌آموخته 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، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گرگان، ایران
- ❖ علی‌رضا شاکری؛ دانشیار، دانشکده شیمی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ❖ ایمان اکبرپور؛ دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گرگان، ایران

چکیده

در این پژوهش الیاف کاغذ مجله بازیافتی (OMG) و الیاف شیشه (GF) در سطوح مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد (از نظر وزنی) با پلی پروپیلن (PP) در دو سطح ۵۰ و ۶۰ درصد مخلوط و چندسازه ساخته شده با چندسازه حاصل از پلی پروپیلن خالص بررسی شدند. براساس نتایج به دست آمده از معادله‌های نرمال‌سازی انتخاب و سپس با دو سطح صفر و ۴ تیمار برتر از نظر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهتر براساس معادله نرمال‌سازی انتخاب و سپس با دو سطح صفر و ۴ درصد پلی پروپیلن مالٹیک انیدریدار شده (MAPP) اصلاح شیمیایی شدند. نتایج حاصل نشان داد که تیمارهای با نسبت ۶۰:۲۰:۲۰ و همچنین ۵۰:۳۰:۲۰ (به ترتیب GF، OMG و PP) چندسازه‌های با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهتری را نتیجه دادند. استفاده از MAPP در دو تیمار بهینه تعیین شده، موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی و کاهش واکنشیدگی 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 به وسیله پلی پروپیلن بهتر انجام شده است.

واژگان کلیدی: الیاف مجله بازیافتی، چندسازه هیبریدی، مالٹیک انیدرید، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های مکانیکی.

مقدمه

فراورده‌های چندسازه به مواد متشکل از اختلاط دو یا چند ماده گفته می‌شود، به طوری که اجزای تشکیل دهنده آن به گونه‌ای با یکدیگر تلفیق می‌شوند که خواص مفید هر یک از آن‌ها در فراورده چندسازه حفظ شود. به طور کلی، فراورده‌های مرکب شامل سه فازند: فاز زمینه یا پیوسته؛ فاز پرکننده یا تقویت کننده و فاز حد واسط بین دو فاز زمینه و پرکننده. نقش فاز تقویت کننده تحمل تنش‌های مکانیکی وارده است و فاز زمینه تنش‌های وارده را از یک جزء تقویت کننده به جزء دیگر منتقل کرده و در نتیجه در تمام قسمت‌های فراورده چندسازه توزیع می‌کند [۱].

چند سالی است که استفاده از الیاف سلولزی در ساخت چندسازه‌های الیاف- پلیمر در بیشتر کشورهای توسعه یافته جهان مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای مهم این مواد می‌توان به وزن و هزینه کم، سایش ناچیز تجهیزات، اختلاط و آلوده نکردن محیط زیست اشاره کرد. جذب رطوبت و سازگاری نداشتن فازهای ترکیبی و تشکیل دهنده از مشکلات تهیه چنین مواد به شمار می‌آید [۲]. استفاده از الیاف لیگنوسلولزی به منزله پرکننده و تقویت کننده 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 جفت کننده با برقراری اتصال، این دو ماده با هم سطوح مشترک و اتصال بیشتری می‌یابند. عامل جفت کننده 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، ماده پلیمری، روش تولید، نسبت وزنی الیاف به پلیمر و میزان ماده جفت کننده قرار می‌گیرد. معمولاً عوامل جفت کننده روی سطح الیاف سلولزی یا مواد گرمانرم پیوند زده می‌شوند [۳].

نتایج مقایسه خواص مکانیکی پلی پروپیلن تقویت شده با مخلوط الیاف بامبو و الیاف شیشه نشان داد که افزایش ۵ درصد پلی پروپیلن مالئیک انیدریدار شده (MAPP) به منزله جفت کننده سبب بهبود خواص مکانیکی چندسازه حاصل می‌شود. همچنین با استفاده از اختلاط حاوی ۱۰ درصد الیاف شیشه و ۱۰ درصد الیاف بامبو، بیشترین مدول الاستیسیته و مقاومت کششی به دست می‌آید [۴]. بررسی اثربخشی اتیل وینیل استات (EVA) بر روی خواص مکانیکی چندسازه‌های تقویت شده با الیاف شیشه یافته شده نشان داد که با اصلاح ماده زمینه پلی پروپیلن و الیاف پارچه شیشه، خواص مکانیکی چندسازه‌های اصلاح شده بهبود یافته است. همچنین مطالعات میکروسکوپی در سطح شکست نمونه‌های چندسازه ساخته شده با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده بیانگر بهبودی در چسبندگی سطح مشترک چندسازه‌ها در مقایسه با نمونه‌های اصلاح نشده بود [۵]. نتایج مقایسه چندسازه‌های ساخته شده از هیبرید الیاف شیشه و کاغذ روزنامه- پلی پروپیلن نشان داد که بعضی از خواص مکانیکی چندسازه نسبت به پلی پروپیلن بدون الیاف افزایش یافت. همچنین جفت کننده MAPP اثر معناداری بر خواص مکانیکی چندسازه داشت و چندسازه‌های ساخته شده با ۱۰ درصد وزنی الیاف شیشه و ۲۰ درصد وزنی الیاف کاغذ روزنامه، استحکام کششی، خمشی و ضربه‌ای

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 زمینه پلی پروپیلن نشان داده است که استفاده از الیاف چوبی بهبود ملایمی را در مقاومت کششی ویژگی‌های خمشی و ضربه 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 ساخته شده با استفاده از ۲۰ درصد الیاف به دست 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 پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف کاغذ مجله باز یافتی، پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف شیشه و پلی پروپیلن تقویت شده با مخلوط الیاف شیشه/الیاف مجله باز یافتی تهیه شد. اثر نسبت‌های مختلف الیاف شیشه/الیاف کاغذ مجله باز یافتی (۴۰ و ۵۰ درصد) و اثر جفت کننده مالئیک انیدرید (دو سطح صفر و ۴ درصد) بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

آماده‌سازی الیاف مجله باز یافتی

ابتدا کاغذ مجله تهیه شده به مدت ۴۸ ساعت در آب خیسانده شد. سپس جداسازی الیاف در آب توسط

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 چندسازه ساخته شده با ۱۵ درصد الیاف کربن و کنف افزایش، اما استفاده بیش از این مقدار موجب کاهش آن می‌شود [۷]. بررسی به عمل آمده از تأثیر استفاده از سطوح مختلف الیاف روزنامه باز یافتی و الیاف شیشه در اختلاط با پلی پروپیلن بیانگر آن است که استفاده از اختلاط شامل ۱۰ درصد الیاف شیشه و ۳۰ درصد الیاف روزنامه باز یافتی و یا اختلاط ۴۰ درصد الیاف باز یافتی، بدون الیاف شیشه، در مجموع چندسازه‌های با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بهتری را نتیجه می‌دهد. همچنین استفاده از مالئیک انیدرید جفت شده با پلی پروپیلن 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 الاستیسیته رزین اپوکسی شد. همچنین افزودن الیاف باگاس موجب کاهش مقاومت کششی شد در حالی که افزودن الیاف شیشه در مقایسه با چندسازه‌های ساخته شده از باگاس، موجب افزایش مقاومت کششی نهایی چندسازه شد. الیاف باگاس تقویت شده با شیشه^۱ به دلیل الاستیسیته بیشتر در مقایسه با ماده ماتریکس، موجب بهبود مقاومت ضربه ماده اپوکسی شد. افزایش مصرف الیاف باگاس موجب افزایش ظرفیت جذب آب و کاهش مقاومت

ابتدا مرحله پیش‌پرس به مدت زمان ۵ دقیقه بدون هیچ‌گونه اعمال فشار تنها با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. پرس گرم تحت شرایط مدت زمان ۵ دقیقه، فشار ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع و دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد اعمال و دهانه پرس بسته نگه داشته شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه، تخته مورد نظر برداشته شده و به ابعاد ۲۰×۱۵ سانتی‌متر به صورت چندسازه تولید شده و پس از قراردادن آن‌ها در پرس سرد به مدت ۵ دقیقه، تخته‌ها به مدت ۲۴ ساعت توسط گیره و پیچ دستی بسته شدند تا هیچ‌گونه انحنایی در آن‌ها حاصل نشود. از چندسازه‌های ساخته شده نمونه‌های آزمایشگاهی مطابق با استانداردهای مربوطه تهیه و خواص فیزیکی- مکانیکی آن‌ها اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. درصد وزنی اجزای تشکیل‌دهنده چندسازه در تیمارهای مختلف

شماره 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

همزن آزمایشگاهی به مدت ۲ ساعت انجام و سپس در خشک‌کن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. الیاف خشک شده پس از آسیاب شدن، از الک با منافذ ۵۰ مش عبور داده شد و سپس در تیمارهای مورد نظر براساس جدول ۱ استفاده شدند.

تهیه پلی‌پروپیلن (PP^۱)، الیاف شیشه (GF^۲) و مالئیک انیدرید (MA^۳)

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن (تهیه شده از شرکت پتروشیمی بندر امام خمینی با شاخص مذاب ۶ گرم بر دقیقه)، پلی‌پروپیلن پیونددار شده با مالئیک انیدرید (MAPP) به منزله 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 دانسیته ۲/۲۵ g/cm³، طول متوسط ۱۲ میلی‌متر محصول شرکت Exssone کره جنوبی) تهیه و در تیمارهای انجام شده این پژوهش استفاده شدند.

ساخت چندسازه آزمایشگاهی

الیاف مجله بازیافتی و الیاف شیشه با توجه به سطوح مختلف وزنی (جدول ۱) توزین و سپس مخلوط شدند و سپس چندسازه (با ابعاد ۲۰×۱۵ سانتی‌متر) با استفاده از پرس گرم ساخته شد. برای ساخت چندسازه به روش منقطع (ناپیوسته)، از پرس آزمایشگاهی مدل OTT استفاده شد. به طوری که بعد از قرار گرفتن سینی حاوی کیک در دستگاه پرس،

1. Polypropylene
2. Glass fibre
3. Maleic anhydride

ساخته شد و اثر آن بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری

طرح آماری استفاده شده در این پژوهش برای مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از اختلاط‌های مختلف، از نوع کاملاً تصادفی است. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام و مقایسه 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 شتاب‌دهنده 20eV تهیه شد.

نتایج و بحث

انتخاب بهترین تیمار آزمایشی از طریق

محاسبه معادله نرمال‌سازی

در تیمارهای آزمایشی مختلف انجام شده با درصد‌های مختلف GF، OMG و PP، محاسبه معادله نرمال‌سازی انجام شد تا بهترین تیمارهای آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد نظر (جدول ۲) تعیین شود. نتایج امتیازبندی تیمارها براساس معادله نرمال‌سازی در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تیمارهای آزمایشی ۳ و ۸ با توجه به اینکه بیشترین امتیاز را داشتند، به منزله بهترین تیمار انتخاب شدند. درصد اهمیت با توجه به نوع کاربرد پیش‌بینی می‌شود.

آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه

ویژگی‌های فیزیکی چندسازه شامل واکنشیدگی ضخامت، جذب آب و دانسیته مطابق با آیین‌نامه D ۷۵۱۹ استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های مکانیکی شامل کشش و خمش به ترتیب مطابق با آیین‌نامه‌های D ۴۷۶۱ و D ۶۱۰۹ و مقاومت ضربه مطابق با آیین‌نامه D ۶۲۵ از استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری مربوط به آزمون کشش و خمش تخته‌ها با استفاده از دستگاه مدل شنک^۱ انجام شد. فاصله 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، عرض ۱۶ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۷ سانتی‌متر) لحاظ شد. فاصله 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^۲ انجام شد. در این آزمون برای هر تیمار ۳ نمونه به ابعاد اسمی (۰/۷×۱/۲×۶) سانتی‌متر به شکل بدون شکاف طبق استاندارد تهیه و مقاومت به ضربه آنها تعیین شد. در بین تیمارهای انجام شده، دو تیمار از نظر بهترین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی از طریق معادله‌های نرمال‌سازی انتخاب و سپس با استفاده از مالئیک انیدرید پلی پروپیلن دار (MAPP) در دو سطح صفر و ۴ درصد از آنها چندسازه

1. SCHENCK
2. Zwick

جدول ۲. درصد اهمیت خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه مورد نظر در محاسبه معادلات نرمال‌سازی

علامت اختصاری	الگوی مورد نظر	خواص فیزیکی و مکانیکی
X ₁	۳۰	مقاومت کششی
X ₂	۲۰	مقاومت به ضربه
X ₃	۲۰	جذب آب
X ₄	۱۰	مدول گسیختگی
X ₅	۵	مدول الاستیسیته کششی
X ₆	۵	مدول الاستیسیته خمشی
X ₇	۵	کرنش کششی
X ₈	۵	دانسیته

معادله نرمال‌سازی براساس الگوی مورد نظر در مرحله اول:

$$0.0118X_1 + 0.0034X_2 + 0.0218X_3 + 0.002X_4 + 0.00015X_5 + 0.01X_6 + 0.000016X_7 + 0.0438X_8 = 1$$

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

رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	تیمار
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 مرحله اول (قبل از افزودن MAPP)

خواص	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت به ضربه (J/m)	مدول گسیختگی (MPa)	مدول الاستیسیته کششی (MPa)	مدول الاستیسیته خمشی (MPa)	کرنش کششی (%)	جذب آب (%)	واکشدگی ضخامت (%)	تیمار
									تیمار
	۲۰/۸۶۴	۶۴/۷۷۲	۳۳/۹۲۶	۱۶۷۰/۲۵	۱۶۹۹/۲۳۹	۶/۴۹۳	۵/۵۲۹	۲/۲۷۰	T ₁
	۲۴/۲۲۸	۶۰/۱۲	۳۴/۲۸۲	۱۶۷۷/۷۶۱	۲۰۱۱/۲۲۴	۳/۴۳۵	۴/۳۲	۱/۶۴۴	T ₂
	۲۵/۴۳۷	۵۹/۸۲۳	۳۷/۰۸۴	۱۹۲۷/۰۸۳	۲۱۷۴/۹۱۹	۳/۳۹۷	۳/۱۷۱	۱/۴۷۲	T ₃
	۲۲/۳۶۵	۵۸/۳۸۲	۶۱/۴۷	۱۹۹۵/۸۸	۲۴۱۰/۵۲۴	۲/۹۵۵	۲/۱۵۸	۱/۳۵۹	T ₄
	۲۵/۲۷۰	۵۵/۷۷۲	۷۷/۴۷۹	۲۰۵۶/۸۲۳	۲۷۳۴/۸۰۳	۲/۵۶۵	۱/۹۶۱	۱/۱۷۵	T ₅
	۱۶/۳۵۸	۵۹/۲۱۶	۲۵/۸	۱۳۰۵/۱۴۹	۱۶۴۳/۴۱۵	۴/۰۶۵	۱۲/۴۹	۳/۹۵۰	T ₆
	۱۸/۷۰۷	۵۲/۴۳	۲۴/۹۵	۱۴۰۵/۹۳۹	۱۶۷۵/۰۰۸	۳/۰۳	۱۱/۷۱۷	۲/۹۳۲	T ₇
	۲۴/۲۴۵	۵۰/۷۵۹	۲۶/۳۸۸	۱۹۸۸/۸۸	۱۹۲۰/۱۲۶	۲/۷۱۵	۸/۵۴۱	۳/۰۲۳	T ₈
	۲۲/۸۴۳	۴۹/۳	۳۳/۷۷	۱۷۳۸/۱۹۶	۲۱۱۹/۱	۲/۲۱۲	۶/۵۶۷	۲/۷۶۶	T ₉
	۲۲/۸۶۴	۴۸/۵	۳۴/۱۱	۲۶۳۰	۲۳۹۰/۸۵	۱/۶۰۵	۵/۷۱۰	۲/۵۸۳	T ₁₀
	۲۱/۵۱۰	۴۲/۱۸۴	۳۵/۰۰۲	۲۳۶۹/۲۲۹	۲۵۵۸/۴۴۱	۱/۳۱	۳/۳۷	۱/۴۶۷	T ₁₁
	۲۴/۱۴۵	۴۰/۳۷	۳۸/۵۶۸	۲۵۵۰/۲۰۲	۲۸۹۱/۰۳	۱/۰۲	۰/۶۱۲	۱/۲۸۰	T ₁₂
	۲۹	۶۸/۵	۳۹/۳۲۴	۲۹۰۰	۸۱۰/۲۵۱	۵/۶۶	۰/۰۰۸	۰/۰۲	T ₁₃

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

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

جفت کننده MAPP افزایش می‌یابد زیرا سازگارکننده سبب تقویت اتصال بین دو فاز می‌شود و در نتیجه 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 الاستیسیته بیشتری را نتیجه داد (جدول ۴) که با توجه به مقادیر بالای مدول الیاف شیشه نسبت به الیاف لیگنوسلولزی این افزایش منطقی به نظر می‌رسد. بیشترین مقدار مدول الاستیسیته کششی را تیمار T_{۱۰} با مقدار ۲۶۳۰ MPa و کمترین مقدار مدول الاستیسیته را تیمار T_۶ با ۱۳۰۵/۱۴۹ MPa داراست. با توجه به جدول ۵، وجود جفت کننده سبب افزایش مدول الاستیسیته کششی می‌شود که علت آن می‌تواند به دلیل افزایش چسبندگی الیاف به سطح پلیمر باشد که فضاهای خالی بین الیاف و ماده زمینه را کاهش می‌دهد. نتایج این پژوهش با نتایج منتشر شده 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

مقایسه کلی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها

مقاومت کششی، مدول الاستیسیته کششی و کرنش کششی

نتایج اندازه‌گیری‌های مقاومت کششی در سیزده تیمار مختلف در جدول ۴ آمده است. بیشترین مقدار مقاومت کششی را تیمار T_۳ حاوی ۲۰ درصد الیاف مجله و ۲۰ درصد الیاف شیشه با مقدار ۲۵/۴۳۷ MPa و کمترین آن را تیمار T_۶ حاوی ۵۰ درصد الیاف مجله با مقدار ۱۶/۳۵۸ MPa داراست. تأثیر MAPP بر مقاومت کششی چندسازه در جدول ۵ ارائه شده است. به طور کلی، مقاومت کششی چندسازه در تیمارهای T_{۱-۵} که دارای ۴۰ درصد الیاف هستند، بیشتر از مقاومت کششی تیمارهای T_{۶-۱۲} با ۵۰ درصد الیاف است. یکی از علت‌های آن این است که در سطح ۴۰ درصد الیاف انتقال بهتر تنش از ماده زمینه پلی پروپیلن 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 به منزله تمرکز تنش عمل می‌کنند و سبب کاهش مقاومت کششی می‌شوند. براساس جدول ۵، مقاومت کششی چندسازه با افزودن

که این افزایش به علت بالابودن مقادیر مدول الیاف نسبت به ماده زمینه قابل توجیه است که افزایش الیاف سبب افزایش مدول الاستیسیته خمشی چندسازه می‌شود. جدول ۵ نشان می‌دهد که با افزودن مالئیک انیدرید، مدول الاستیسیته خمشی روند صعودی دارد.

مقاومت به ضربه

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است، با افزایش مقدار الیاف شیشه، مقاومت به ضربه چندسازه کاهش می‌یابد به طوری که بهترین مقاومت به ضربه را چندسازه T_1 حاوی ۴۰ درصد الیاف روزنامه داراست و کمترین مقاومت به ضربه مربوط به تیمار T_{12} حاوی ۵۰ درصد الیاف شیشه است. به طور کلی، چندسازه‌های با ۴۰ درصد الیاف نسبت به چندسازه‌های با ۵۰ درصد الیاف مقاومت به ضربه بیشتری داشتند. با افزایش الیاف به علت چسبندگی نداشتن الیاف با ماده زمینه مقدار حفره‌های بین الیاف و ماده زمینه بیشتر می‌شود و در نتیجه این نقاط سبب تمرکز تنش می‌شود و ماده از این نقطه شروع به رشد ترک می‌کند و مقاومت به ضربه نمونه کاهش می‌یابد. درباره این موضوع پژوهشگران قبلی نیز به نتیجه 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 زمینه پلیمری و افزایش شکنندگی نمونه‌ها باشد و قابل توجیه است.

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

مدول گسیختگی

بر اساس جدول ۴ بیشترین میانگین مدول گسیختگی مربوط به تیمار T_5 با $Mpa 77/479$ و کمترین آن مربوط به تیمار T_7 با $Mpa 24/95$ است. با توجه به جدول ۵ در صورت وجود MAPP به منزله عامل جفت‌کننده، مدول گسیختگی چندسازه بیشتر می‌شود. ایمانی در پژوهش خود به این نتیجه رسید که با افزایش مقدار الیاف سلولزی در زمینه پلیمری به علت ایجاد سطوح ویژه الیاف سلولزی و کم شدن ماده گرمانرم اتصال مناسب میان الیاف سلولزی و ماده زمینه ضعیف‌تر شده است که به کاهش ویژگی خمشی منجر می‌شود [۳].

مدول الاستیسیته خمشی

بیشترین میانگین مدول الاستیسیته خمشی را تیمار T_{12} با ۵۰ درصد الیاف و کمترین مدول خمشی را تیمار T_6 حاوی ۴۰ درصد الیاف داراست (جدول ۴)

واکشیدگی ضخامت و جذب آب

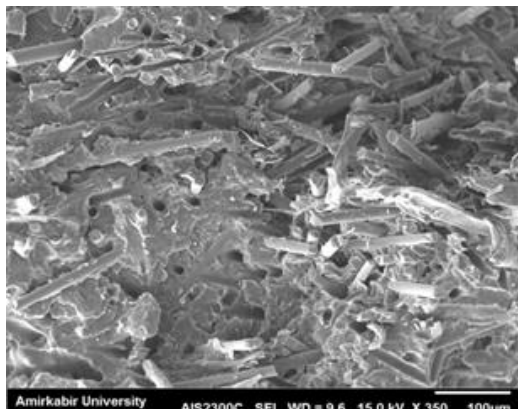
همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه با افزایش میزان الیاف خمیر کاغذ در چندسازه افزایش یافت که این امر با توجه به خاصیت آب‌دوست بودن الیاف سلولزی توجیه می‌شود. همچنین افزایش ماده سلولزی و به تبع آن افزایش ریزحفره‌های چندسازه، سبب ایجاد مقدار زیادی پیوندهای ضعیف بین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

مطالعات میکروسکوپ الکترونی

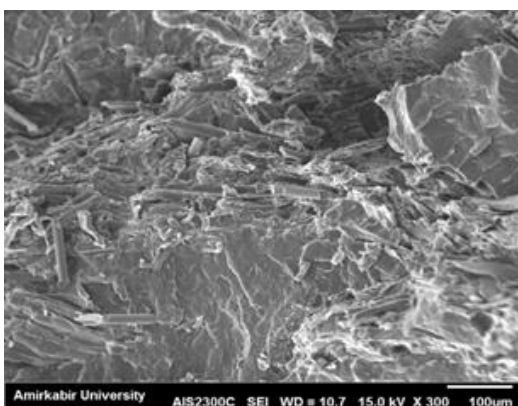
پوشی (SEM)

به منظور بررسی سطوح شکست و همچنین بررسی اثر وجود سازگارکننده بر میزان اتصال الیاف کاغذ مجله بازبافتی (OMG) و الیاف شیشه (GF) با ماده زمینه پلی پروپیلن، مطالعاتی توسط میکروسکوپ الکترونی پوشی صورت گرفت. شکل ۱ تصویری از سطح شکست تیمار به نسبت ۶۰:۲۰:۲۰ (به ترتیب GF، OMG و PP) بدون سازگارکننده را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود الیاف روزنامه به همراه الیاف شیشه در ماده زمینه پلیمری پخش شده‌اند و پس از شکست نمونه، به راحتی و به صورت سالم از ماده زمینه پلی پروپیلن جدا و خارج شده‌اند علت حضور نداشتن سازگارکننده و در نتیجه اتصال ضعیف بین ماده زمینه و الیاف، فواصل و حفره‌هایی نیز به چشم می‌خورد که بیانگر خارج شدن الیاف از جای خود است.

شکل ۲ نمایی از سطح شکست نمونه تیمار به نسبت ۵۶:۲۰:۲۰ (به ترتیب 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 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 به ترتیب الیاف شیشه و مجله بازبافتی خارج شده از ماده زمینه پلی پروپیلن 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)

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی و مقایسه تأثیر افزایش مقدار الیاف روزنامه و الیاف شیشه و مخلوط این دو با یکدیگر و همچنین بررسی اثر سازگارکننده مالئیک انیدرید بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه 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 بازیافتی می‌تواند به منزله یک تقویت‌کننده 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 الاستیسیته کششی، کرنش کششی، مدول گسیختگی، مقاومت به ضربه کاهش و مدول الاستیسیته خمشی، جذب آب، واکشیدگی ضخامت افزایش یافت. تیمار ۴۰ درصد حاوی مقادیر مساوی از دو نوع الیاف شیشه و الیاف خمیر کاغذ مجله بازیافتی نسبت به سایر تیمارها خواص بهتری را از خود نشان داد. همچنین با افزودن مالئیک انیدرید جفت‌شده با پلی‌پروپیلن (MAPP)، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته کششی، مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت به ضربه چندسازه‌های ساخته‌شده افزایش و کرنش کششی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت کاهش یافت.

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.

- [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.