

## فرآورده مرکب چوب - پلاستیک (رابطه واکنشهای شیمیایی با خواص مکانیکی)

امیر نوربخش<sup>۱\*</sup>، رضا حاجی حسنی<sup>۲</sup>، فرداد گلبابایی<sup>۳</sup> و مژگان کوهپایه‌زاده<sup>۴</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور،

پست الکترونیک: [nourbakhsh\\_amir@yahoo.com](mailto:nourbakhsh_amir@yahoo.com)

۲- کارشناس صنایع چوب و کاغذ، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور،

۳- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

۴- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، پیشوا - ورامین

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۰

### چکیده

این بررسی با هدف مطالعه تأثیر گروه‌های شیمیایی تشکیل شده طی فرایند ساخت چوب پلاستیک بر ویژگی‌های مکانیکی انجام شده است. در این بررسی ترکیب شرایط مختلف مقدار الیاف سلولزی و درجه حرارت ساخت مورد توجه قرار گرفته است. ویژگی‌های مکانیکی فرآورده مرکب اندازه‌گیری و با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، و طیف‌سنجی FTIR مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان داده است که باندهای جذبی گروه‌های کربونیل (C=O) و اتصالها در نواحی  $1755-1688\text{cm}^{-1}$  در حضور عامل جفت‌کننده انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی افزایش یافته و این پدیده باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی در فرآورده مرکب الیاف چوب/ پلیمر در محدوده ۳۰ درصد الیاف سلولزی گردیده است. همچنین نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان داده است که باندهای جذبی گروه کربونیل (C=O) در دمای ۱۹۰ درجه سلسیوس در محدود  $1725-1704\text{cm}^{-1}$  بدست آمده، که منطقه مناسب جهت تشکیل اتصالها بوده است.

واژه‌های کلیدی: فرآورده مرکب، گروه‌های شیمیایی، درجه حرارت، ویژگی‌های مکانیکی، طیف‌سنجی (FTIR).

### مقدمه

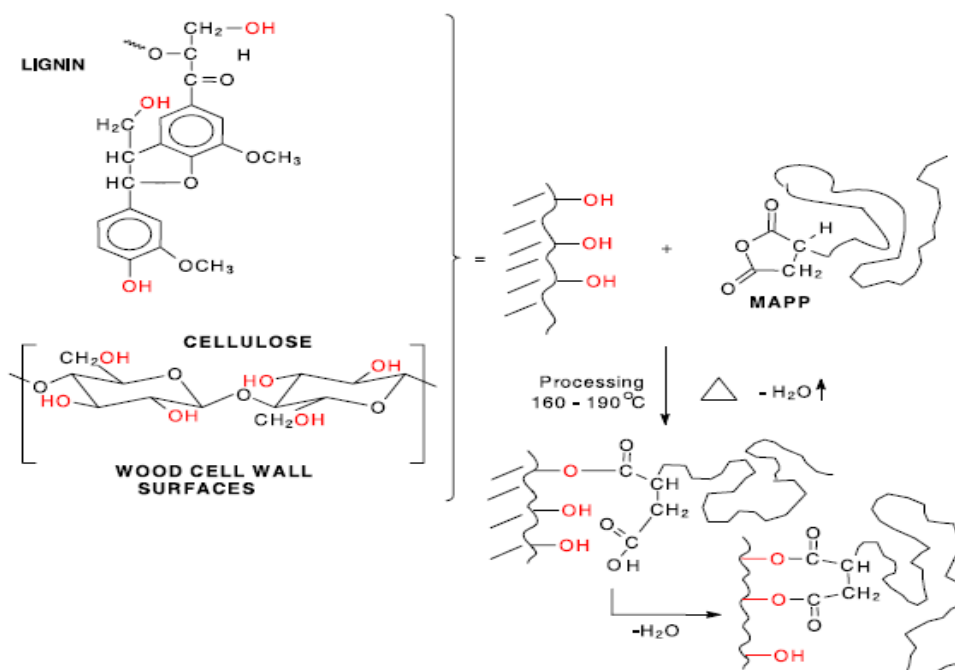
بهبودی اتصال بین مواد چوبی و گرمانرم‌ها در فرایند تولید، عوامل جفت‌کننده<sup>۱</sup> در مقادیر بسیار کم جهت تیمار سطوح مواد مثل سازوکار چسبندگی عمل می‌کند. این مواد به‌عنوان پلی الیاف چوب و پلیمرهای گرمانرم را به‌وسیله سازوکارهایی بهم متصل می‌کنند. این اتصالها همانند اتصالها کووالانسی در زنجیر مولکولی پلیمر، واکنش قوی را در سطوح داخلی همانند اتصالها

کامپوزیت‌های الیاف چوب پلاستیک معمولاً از ترکیب الیاف چوب با پلیمرها با افزودن الیاف چوب به‌عنوان فیلر در ماتریس پلیمر تولید می‌شوند. بیشتر پلیمرها به‌ویژه گرمانرم‌ها به‌عنوان مواد غیرقطبی (آب‌گریز) با مواد چوبی و لیگنوسلولزی (آب‌دوست) سازگاری نداشته، بنابراین اتصال ضعیفی میان پلیمر و مواد چوبی در جریان ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک بوجود می‌آید. در جهت

1 Coupling agents

متصل می‌شوند (پیوند کووالانسی)، در گیربهای مکانیکی و برهم کنش‌های ثانویه قوی (پیوند هیدروژنی) فرایند اتصال‌دهنده شکل می‌گیرد. اتصال انیدریدمالیک پیوند خورده به پلی‌اولفین‌ها که مهمترین آنها مالیک‌انیدرید پلی‌پروپیلنی و پلی‌اتیلنی می‌باشند.

هیدروژنی بوجود می‌آورند. با افزودن این مواد در کامپوزیت چوب پلاستیک خواص مکانیکی افزایش قابل توجهی را از خود نشان می‌دهند. عوامل جفت‌کننده از لحاظ عملکردشان می‌توانند به صورت اتصال‌دهنده‌ها، سازگارکننده‌ها و پراکنده‌سازها باشند. هنگامی که الیاف طبیعی و پلیمرهای گرمانرم با سازوکارهایی به یکدیگر



شکل ۱ - زنجیر سلولزی و انیدرید مالیک پلی‌پروپیلنی و نحوه اتصال (Hill, 2000; Banks, 1995)

طریق کاهش کشش سطحی در سطح مشترک سبب ایجاد سازگاری بین پلیمرها و مواد سلولزی می‌گردند. این مواد انرژی سطحی کمتری از الیاف طبیعی داشته و می‌توانند آنها را غیرقطبی کرده و در نهایت به ماتریس پلیمر نزدیک کنند.

مؤثر بودن در استفاده از کopolymerهایی مانند انیدریدمالیک در توانایی واحدهای دوگانه کربن-کربن و دو گروه کربوکسیل جهت اتصال با مواد سلولزی زمانی که

سازوکار این واکنش به دو مرحله قابل تقسیم است. بعد از تیمار الیاف سلولزی انرژی سطحی الیاف افزایش یافته و به انرژی سطحی ماتریس نزدیک می‌شود. بنابراین ترشوندگی بهتر و الحاق بین سطحی و داخلی مناسب‌تری رخ می‌دهد. زنجیر پلی‌پروپیلن اجازه داده تا بخش‌هایی از قسمت کریستالین و اتصالها جفت‌کننده بین الیاف اصلاح شده و ماتریس پلی‌پروپیلن رخ دهد. روش پیوند کopolymerیزاسیونی مؤثر و کامل است. سازگارکننده‌ها از

<sup>۱</sup>۱۷۳۷ را افزایش می‌دهد که می‌تواند مربوط به افزایش درصد گروه کربونیل باشد. این واکنش به شکل یک استر ضمیمه‌ای شده می‌باشد. نواحی هیدروکسیل ( $3400\text{cm}^{-1}$ ) تیزتر شده و کشیدگی C-H بهتر دیده می‌شود. این مسئله به جایگزینی هیدروکسیل الکلی بوسیله استر و افزایش در C-H تفسیر شده است که سبب افزایش ویژگی‌های مکانیکی می‌گردد. البته در این بررسی شواهد بدست آمده در نواحی باندهای جذب  $1600\text{cm}^{-1}$  -  $1631$  بدست آمده بود. این ویژگی‌ها برای C=C مشخص شده است که احتمالاً با استرمانیکی در نواحی جذب  $1600\text{cm}^{-1}$  ممکن است مربوط به حضور کربوکسیلات باشد (Banks, W.B 1995).

در بررسی دیگری ویژگی‌های سطحی الیاف روزنامه اصلاح شده با مواد شیمیایی را با روش (IGC) مورد توجه قرار دادند. آنان در این بررسی از عوامل جفت‌کننده انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی استفاده کردند. نتایج نشان داده است که عوامل جفت‌کننده فوق روی سطوح الیاف کاغذ روزنامه دارای ویژگی‌های سطحی اسیدی شده که باعث بوجود آمدن تغییراتی شده است. آنان با تیمار کردن بوسیله عوامل جفت‌کننده ویژگی‌های اسیدی را در سطوح کاهش داده‌اند. این کار توسط رفتار خنثی زنجیرهای پلی‌پروپیلنی انیدریدی E-43 (Epolene-3003) شرکت Estmanne آلمان انجام شده است. همچنین طیف‌سنجی FTIR در این بررسی ثابت کرده است که حرکت‌های انیدرید در انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی باعث واکنش استری شدن با گروه‌های هیدروکسیل سطح الیاف روزنامه شده است. این عوامل مجدداً با سطوح الیاف روزنامه واکنش انجام داده تا به شکل یک منو استر و تشکیل الیاف

زنجیر پلیمری طویل شده باشند رخ می‌دهد. این واحدها می‌توانند اتصال شیمیایی با الیاف سلولزی بوجود آورده و یا اینکه فقط با نیروهای الکترواستاتیکی روبرو شوند (Rowell, R.M. et. al. 1998).

شواهدی که اتصالها بوجود آمده را مورد سنجش قرار می‌دهد آزمونهای طیف‌سنجی FTIR می‌باشد. روش FTIR جهت تعیین شدت تغییرات بوجود آمده در انواع تیمارها روی سطوح الیاف سلولزی و انیدریدمالئیک پلیمری به‌عنوان شاخص واکنش اندازه‌گیری می‌شود. در این راستا تحقیقات زیادی در دنیا انجام شده است (Matuana, L. M. et.al.1999).

در تحقیقی که روی فرآورده مرکب الیاف چوب/پلاستیک انجام شده عنوان می‌گردد که انیدریدها، اسید و استرهای تشکیل شده از گروه‌های کربوکسیلیک دارای ویژگی‌های جذب فرکانس در نواحی IR را داشته‌اند. عنوان شده است که گروه‌های کربونیل C=O جهت سیستم‌های حلقه‌ای ۵ اتمی در  $1725\text{cm}^{-1}$  -  $1700$  به شکل اسید و در  $1735\text{cm}^{-1}$  -  $1750$  به شکل استر قرار دارند. این مسئله زمانی رخ می‌دهد که انیدریدها دارای ویژگی دوبل شدگی در جریان پیوند کربونیل C=O سیستم‌های نامتقارن و متقارن دارای مد جفت‌کنندگی در دامنه فرکانس  $1820\text{cm}^{-1}$  -  $1870$  و  $1750\text{cm}^{-1}$  -  $1800$  باشند. همچنین اعلام شده است که اسید دارای ویژگی جذب گروه‌های هیدروکسیل (OH-) در دامنه فرکانس  $3200\text{cm}^{-1}$  -  $2500$  را از خود نشان می‌دهد (Hill, C. A. S.2000).

در تحقیقی دیگر که روی کوپلیمریزاسیون فرآورده مرکب الیاف چوب/ پلیمر انجام شده به این نتیجه رسیدند که واکنش با انیدریدمالئیک جذب در نواحی جذب  $\text{cm}^{-1}$

$1868 - 1842$  و  $1795 \text{ cm}^{-1}$  با کربونیل انیدرید  $\text{C=O}$  متقارن و نامتقارن به ترتیب ارتباط داشته است. بنابراین وجود گروههای عاملی کربوکسیلیک و استر می تواند از باندهای جذب مختلف آنها متفاوت شوند. باندهای جذب در نواحی  $1748 - 1729 \text{ cm}^{-1}$  برای کربونیل استر بدست آمده که با استری شدن گروههای هیدروکسیل الیاف سلولزی ارتباط داشته است. به عبارت دیگر باندهای جذبی  $1725 - 1710 \text{ cm}^{-1}$  از گروههای کربونیل و کربوکسیل بدست آمده است (Matuana, L. M. 2001).

استری با گروههای کربوکسیلیک شده اند (Felix, J.M. 1993).

همچنین در تحقیقی دیگر که روی ویژگی های سطحی الیاف سلولزی استری شده با استفاده از روش FTIR اقدام به تجزیه و تحلیل نتایج نمودند. مطابق با بررسی های انجام شده نشان دادند که الحاق شیمیایی در الیاف سطحی کاغذ روزنامه با تیمار انیدریدمالئیک پلی پروپیلنی بدست آمده است. شواهد این مسئله در باندهای بوجود آمده در نواحی  $1868 - 1842 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1795 \text{ cm}^{-1}$  و  $1590 \text{ cm}^{-1}$  بوده است. به طوری که اتصالهای بوجود آمده در نواحی  $\text{cm}^{-1}$

جدول ۱ - موقعیت و اتصال گروههای کربونیل اسیدی و استری در کامپوزیتهای چوب پلاستیک

سال	موقعیت گروههای کربونیل اسیدی و استری	منابع
۱۹۹۹	$1750 - 1688 \text{ cm}^{-1}$	Matuana
۲۰۰۰	$1750 - 1735 \text{ cm}^{-1}$	Hill
۲۰۰۰	$1725 - 1700 \text{ cm}^{-1}$	Hill
۱۹۹۵	$1737 \text{ cm}^{-1}$	Banks
۲۰۰۱	$1748 - 1729 \text{ cm}^{-1}$	Matuana
۱۹۸۹	$1746 \text{ cm}^{-1}$	Felix&Gatenholm
۱۹۸۹	$1717 \text{ cm}^{-1}$	Felix&Gatenholm
۱۹۹۰	$1750 \text{ cm}^{-1}$	Kokta
۱۹۹۵	$1720 - 1717 \text{ cm}^{-1}$	Quinnery

و توزیع در سراسر ماتریس را دارند. آنها همچنین بیان کردند که تیمار کردن الیاف سلولزی با انیدریدمالئیک پلی پروپیلنی سبب تشکیل اتصالها کووالانسی عرضی در مرحله داخلی شده که باعث بوجود آمدن چسبندگی میان بخش های مجاز کریستالی الیاف سلولزی و ماتریس پلیمر می گردد. البته در این بررسی از طیف سنجی FTIR استفاده شده بود. باند جذبی  $1717 \text{ cm}^{-1}$  برای دایمرهای دی

در بررسی دیگری که روی فرآورده مرکب الیاف چوب/ پلی پروپیلن و عوامل جفت کننده فعال و غیرفعال انیدریدمالئیک پلی پروپیلنی انجام شده است واکنش میان سلولز و کوپلیمر به دو مرحله اصلی تشکیل انیدرید فعال و استری شدن تقسیم می شود. آنها عنوان کردند که در جریان بوجود آمدن اتصالها هیدروژنی در محدوده الیاف سلولزی و ماتریس پلیمر، الیاف تمایل به تشکیل دستجات

رفتار پلیمرهای یافی نسبت به تغییر شکل حرارتی بسیار حساس بوده و این حساسیت در مقاومت به ضربه بیشتر می‌باشد ولی با استفاده از عامل جفت‌کننده انیدرید مالئیک به‌عنوان سازگار کننده در دامنه حرارتی ۱۹۰ درجه سلسیوس این ویژگی مطلوب‌تر بوده است (Maldas, D., and kokta, B. r.1989).

### مواد و روشها

#### - عوامل متغیر

الیاف سلولزی: نوع الیاف سلولزی در دو سطح شامل الیاف<sup>۱</sup> RMP صنوبر (*Populus deltoides*) و الیاف کارتن باطله<sup>۲</sup> (OCC)، مقدار الیاف در چهار سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد می‌باشد.

#### - عوامل ثابت

نوع پلیمر گرمانرم پلی‌پروپیلن، نوع سازگارکننده (انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی)، مقدار سازگارکننده ۲ درصد، و درجه حرارت مخلوط‌سازی ۱۹۰ درجه سلسیوس.

#### - الیاف سلولزی

در این بررسی از گونه صنوبر استفاده گردید. ذرات خرده چوب صنوبر به روش خمیر پالایشی مکانیکی (RMP) به الیاف تبدیل شدند. بدین منظور با استفاده از دستگاه بخارزنی ذرات خرده‌چوب در دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه بخارزنی شدند. پس از آن توسط دستگاه پالایش‌گر (جداکننده الیاف خرده‌چوب) به الیاف مناسب تبدیل گردیدند. جهت تهیه الیاف کارتن کهنه (OCC) نمونه‌های الیاف از کارخانه تولید کارتن در

کربوکسیلیک اسید توسط انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی خالص تشکیل شده بود و در این راستا باندهای جذبی نسبتاً کوچک در  $1786\text{cm}^{-1}$  و بندرت در  $1862\text{cm}^{-1}$  برای چرخه انیدریدها تشکیل شده بود. مطابق با بررسی‌های بعمل آمده مشخص شده بود که باند جذبی  $1739\text{cm}^{-1}$  در الیاف تیمار شده با کوپلیمر غیرفعال و در  $1746\text{cm}^{-1}$  در الیاف تیمار شده با کوپلیمر فعال بدست آمده است. وجود اتصالها استری در باند جذبی  $1746\text{cm}^{-1}$  میان کوپلیمر و الیاف تشخیص داده شده است. بنابراین در حالتی که از کوپلیمر فعال استفاده می‌گردد اتصالها استری بزرگتر از کوپلیمر غیرفعال می‌باشند. همچنین زمانی که از کوپلیمر فعال شده استفاده شده بود تعداد گروههای هیدروکسیل در الیاف سلولزی بیشتر از کوپلیمر غیرفعال شده بود. محققان فوق اعلام نمودند که در تولید فرآورده مرکب بر مبنای الیاف سلولزی نباید از عوامل واکنش‌دهنده استفاده شود. آنها علت فوق را مربوط به سیستم موئینگی در ترکها و روزنه‌های الیاف سلولزی می‌دانند، که در زمان واکنش بسته می‌شوند و نفوذپذیری مقادیر زیاد MAPP را به داخل الیاف غیرممکن می‌سازد. در نتیجه استری شدن در لایه سطحی محدود شده است (Matuana, L. M.2001).

در بررسی که بر روی فرآورده مرکب سلولزی انجام دادند عنوان می‌کنند که در دماهای بالاتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس ترکیبات خمیر CTMP مثل لیگنین و همی سلولزها شروع به تخریب کرده و در اثر تخریب شدن این ترکیبات فضاهای خالی در داخل فرآورده مرکب ایجاد شده و تخریب الیاف اتفاق می‌افتد که باعث کاهش شدید ویژگیها می‌گردد.

1- Refiner Mechanical pulp  
2- old corrugated container

دستگاه برابندر (Brabender) دو ماردونه مجهز به المنت‌های مخلوط‌سازی از نوع بنبوری مدل Haake-90 که دارای نواحی حرارتی و خنک‌کاری، بادی بوده و مجهز به ترسیم‌گراف در جریان مخلوط‌سازی است استفاده شد. تهیه نمونه‌های آزمونی و اندازه‌گیری ویژگی‌های

#### مکانیکی

پس از تهیه نمونه‌های آزمونی از هر تیمار ۱۰ نمونه مورد آزمون قرار گرفت. آزمایشهای کششی و مدول آن، خمشی و مدول آن و مقاومت به ضربه از نوع فاقدار (Izod) اندازه‌گیری شدند. آزمون کششی مطابق با استاندارد ASTM - D - 638 با محاسبه تنش حداکثر مدول کششی و درصد ازدیاد طولی انجام شد. آزمون کششی با سرعت ۲ میلیمتر بر دقیقه توسط دستگاه آزمایش گر MTS مدل M/10 انجام گردید. آزمون خمشی مطابق با استاندارد ASTM - D - 747 با محاسبه تنش حداکثر و مدول خمشی انجام شد. نمونه آزمون خمشی با سرعت ۱ میلیمتر بر دقیقه توسط دستگاه آزمایش گر MTS مدل M/10 انجام گردید. آزمون مقاومت به ضربه از نوع فاقدار (Izod) مطابق با استاندارد ASTM-D-256 و توسط دستگاه آزمایش گر zwick انجام شد.

شمال کشور تهیه گردید و جداسازی الیاف انجام شد. الیاف صنوبر و کارتن کهنه تا رطوبت زیر ۳ درصد بوسیله خشک کردن استوانه‌ای دوار و با سرعت ۳ دور در دقیقه در دمای ۹۰-۱۰۰ درجه سلسیوس خشک شدند. الیاف بدست آمده برای جلوگیری از جذب رطوبت درون کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. دانسیته حجمی این نوع الیاف بین  $50-10 \text{ kg/m}^3$  می‌باشد؛ و مطابق با اندازه‌گیری‌های بعمل آمده مشخص شده است که الیاف RMP صنوبر دارای میانگین طول الیاف  $0.706$  میلیمتر و ضریب کشیدگی  $34/62$  می‌باشد. الیاف کارتن کهنه OCC دارای میانگین طول الیاف  $0.685$  میلیمتر و ضریب کشیدگی  $29/58$  می‌باشد.

#### - پلیمر گرمانرم

در این بررسی از ماده پلیمری پلی‌پروپیلن گرانول از محصولات پتروشیمی بندر امام با شاخص جریان مذاب  $7-10 \text{ gr/10 min}$  استفاده گردید (ویژگی‌های پلیمر مورد استفاده شامل: مقاومت کششی، مدول کششی، مقاومت خمشی و مدول خمشی به ترتیب برابر  $28/5$ ،  $1250$ ،  $38/5$  و  $1150$  مگاپاسکال می‌باشند).

#### - تهیه سازگار کننده (عامل جفت کننده)

برای افزایش سازگاری میان الیاف سلولزی و پلاستیک‌ها از عوامل جفت‌کننده شیمیایی و مواد افزودنی استفاده می‌گردد. انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی (MAPP) از محصولات شرکت Eastman آلمان<sup>۱</sup> با ۶ درصد اسید انیدرید در سطح ۲ درصد استفاده شده است.

#### - روش ساخت

در این روش با استفاده از پلیمر و الیاف سلولزی مخلوط‌سازی مذاب با نسبت‌های مختلف وزنی توسط

1- Epolene PMG-3003 Ploymer Eastman

جدول ۲- مشخصات نمونه‌های آزمونی در روش مخلوط‌سازی مذاب

استاندارد	تعداد تیمار	تعداد نمونه در هر تکرار	ابعاد (mm)	نوع آزمایش
ASTM - D - 638	۸	۵	۷۵×۱۰×۱	آزمون کششی و مدول کششی
ASTM - D - 747	۸	۵	۶۳×۱۲×۳	آزمون خمشی و مدول خمشی
ASTM - D - 256	۸	۵	۶۳×۱۲×۳	آزمون ضربه از نوع فاقدار

### طیف‌سنجی (FTIR)

دامنه‌ای دانکن (DMRT) برای فرآورده مرکب الیاف چوب/ پلی پروپیلن انجام شد.

جهت تعیین شدت تغییرات و بهبودی در انواع تیمارهای فرآورده مرکب روی سطوح الیاف و انیدرید مالئیک پلی پروپیلنی از اندازه‌گیری طیف‌سنجی FTIR استفاده می‌گردد. اندازه‌گیری‌های طیف‌سنجی فوق تابعی از واکنش انجام یافته می‌باشد. طیف‌های FTIR، باندهای مرتعش آشفته را به‌عنوان واکنش نسبت به باندهای بدون تغییر نشان می‌دهد.

### نتایج

بیشتر پلیمرها به‌ویژه گرمانرم‌ها به‌عنوان جایگزین شونده‌های غیر قطبی با الیاف سلولزی قطبی سازگاری نداشته‌اند. بنابراین اتصال ضعیفی میان پلیمر و الیاف چوب در کامپوزیت‌ها بوجود می‌آید. در جریان بهبودی اتصال میان الیاف سلولزی و گرمانرم‌ها عوامل سازگارکننده شیمیایی جهت افزایش ویژگی‌های مکانیکی توسعه یافته‌اند. عوامل سازگارکننده عمدتاً دارای گروه‌های دو یا چند عاملی بوده که با فعالیت و واکنش قوی داخلی گروه‌های قطبی الیاف سلولزی به شکلی از اتصالها کووالانسی و هیدروژنی قرار می‌گیرند. در این میان انیدرید مالئیک دارای گروه‌های عاملی  $[-(CO_2)O-]$  دارای یک ترکیب  $\beta$  و  $\alpha$  غیر اشباع کربونیل با یک اتصال دوگانه کربن-کربن و دو گروه کربوکسیل  $-COO-$  می‌باشند. این ساختمان دارای پیوندهای دوگانه‌ای هستند که بطور فزاینده‌ای قابلیت واکنش گرافت اتصال دوگانه کربن-کربن را روی حلقه هتروکسیلیک و ماتریس پلیمر در تمام پیوندهای تحت تأثیر رادیکال‌های شروع کننده افزایش می‌دهد. زنجیر انیدرید مالئیک بسیار کوتاه‌تر از ماتریس پلیمر و الیاف سلولزی می‌باشد ولی در واکنش قادر به ایجاد اتصال قوی می‌باشد. اتصالها استری میان پلیمر مالئیکی شده

در این بررسی از طیف‌سنجی Matison مدل ۱۰۰ Sirius طیف Infrared در دامنه بین  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  و با تجزیه  $4\text{ cm}^{-1}$  استفاده شده بود. الیاف فرآورده مرکب در یک صفحه KBr با نمونه‌های گرانول شده آماده شده و فشرده شده بودند. زمان فشار ۱۵ دقیقه و مقدار آن ۱۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع و به کمک تخلیه نهایی انجام شده بود. پس از طیف‌سنجی نمونه‌های فرآورده مرکب ساخته شده، اختلافات میان تیمارها به کمک تجزیه و تحلیل طیف‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در اینجا منظور از تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی FTIR شدت ارتفاع طیف و جذب در نواحی مختلف با محاسبه سطح زیر انتگرال می‌باشد.

### - تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق در قالب آزمون فاکتوریل دو عامله در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند

ویژگیهای خمشی از درصد جذب بالاتر گروه کربونیل (C=O) ناشی شده است و یکی از دلایل مهم در افزایش این ویژگیها بوده است.

همچنین ویژگیهای کششی با افزایش درصد الیاف RMP صنوبر از مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد زیاد شده است. میزان جذب گروه کربونیل (C=O) در مقدار ۳۰ درصد الیاف RMP صنوبر ۶۷ درصد بوده است. احتمالاً افزایش بیشتر الیاف سلولزی در محدوده مقدار ۴۰ درصد باعث عدم فعالیت شیمیایی زیادتر در این ناحیه شده است و روی مقاومت کششی و خمشی تأثیر مثبتی نداشته است.

و گروه هیدروکسیلی سلولز چسبندگی مناسب میان الیاف و ماتریس را بوجود آورده که باعث افزایش ویژگیها می‌گردد. میان سطوح مختلف درصد الیاف صنوبر بر ویژگیهای مقاومت کششی و مقاومت خمشی اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده می‌شود. با افزایش میزان الیاف از مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد مقاومت کششی و خمشی افزایش یافته است.

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌گردد که ویژگیهای خمشی در مقدار ۳۰ درصد الیاف RMP صنوبر و با ۶۷ درصد جذب گروه کربونیل (C=O) حداکثر می‌باشد. همخوانی درصد جذب بوجود آمده در ارتباط با

جدول ۳- ارتباط خواص مکانیکی با تشکیل گروههای کربونیلی در

کامپوزیت چوب پلاستیک از الیاف صنوبر

الیاف صنوبر (%)	C=O (%)	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)
۱۰	۵۴	۲۵/۲۷	۴۳/۱۱
۲۰	۵۸	۲۸/۴۲	۴۵/۹۲
۳۰	۶۷	۳۵/۶۷	۵۲/۱۷
۴۰	۶۳	۳۳/۱۵	۵۰/۶۶

همچنین مقاومت کششی و خمشی با افزایش درصد الیاف کارتن کهنه (OCC) از مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد زیاد شده است. به طور کلی میزان جذب گروه کربونیل (C=O) در مقدار ۳۰ درصد الیاف کارتن کهنه (OCC)، ۷۳ درصد بوده است که باعث افزایش ویژگیها گردیده است. بنابراین اثر جذب گروه کربونیل (C=O) در ارتباط با مقاومت کششی و خمشی مثبت بوده است و باعث افزایش این ویژگیها شده است.

میان سطوح مختلف درصد الیاف کارتن باطله بر ویژگیهای مقاومت کششی و مقاومت خمشی اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده می‌شود. با افزایش میزان الیاف از مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد مقاومت کششی و خمشی افزایش یافته است.

همان گونه که در جدول ۴ مشخص است مقاومت خمشی در مقدار ۳۰ درصد الیاف کارتن کهنه (OCC) و ۷۱ درصد جذب (C=O) حداکثر بوده است. در مقدار ۴۰ درصد الیاف سلولزی جذب گروه کربونیل منجر به بهبود ویژگیهای خمشی نشده است.



سازگار کننده در دامنه حرارتی ۱۹۰ درجه سلسیوس این ویژگی مطلوب تر بوده است (Maldas, D., and Kokta, B. R. 1989). به طور کلی پلیمرهای غیر قطبی یک زاویه تماس بزرگتری نسبت به الیاف قطبی چوبی دارند. و با استفاده از عوامل جفت کننده و نقش پیوندهای گروه کربونیل (C=O) در واقع افزایش زاویه تماس و بهبود سازگاری در مرحله میانی را سبب می شود.

### بحث

در این بررسی تأثیر عوامل متغیر ساخت بر ویژگیهای فرآورده مرکب الیاف چوب/پلیمر و طیف سنجی FTIR مورد نظر قرار گرفته است. فرآورده مرکبها از روش مخلوط سازی مذاب ۸ تیمار آزمایشگاهی با ترکیب شرایط مختلف نوع الیاف و درصد الیاف سلولزی ساخته شده است. در ضمن از آزمون فاکتوریل نیز به عنوان مقایسه آماری نتایج استفاده شده است.

نتایج طیف سنجی FTIR نشان داد که باندهای جذبی اتصالها در نواحی مختلف با حضور عامل جفت کننده تشکیل شده است. میزان جذب گروههای کربونیل در باندهای جذبی  $1755-1688 \text{ cm}^{-1}$  در فرآورده مرکب الیاف چوب/پلیمر نشان دهنده بوجود آمدن اتصالها شیمیایی در فرآورده مرکب است. به طوری که با افزایش درصد الیاف سلولزی از مقدار ۱۰ تا ۴۰ درصد مقاومت خمشی و کششی تا میزان ۳۰ درصد الیاف افزایش یافته است.

نتایج طیف سنجی FTIR نشان داده است که اثر افزایش درصد الیاف سلولزی از مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد در روش مخلوط سازی مذاب موجب افزایش میزان جذب گروه کربونیل (C=O) شده است. با افزایش درصد

### جدول ۴ - ارتباط خواص مکانیکی با تشکیل گروههای

#### کربونیلی در

#### کامپوزیت چوب پلاستیک از الیاف کارتن باطله

الیاف کارتن	C=O (%)	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)
باطله (۱۰٪)	۵۸	۲۲/۶۵	۴۵/۱۲
۲۰	۶۳	۲۷/۲۷	۴۸/۵۷
۳۰	۷۱	۳۴/۸۱	۵۳/۳۹
۴۰	۶۸	۳۱/۰۲	۵۰/۴۴

به طور کلی مدول الاستیسیته یک ماده مرکب متأثر از مدول الاستیسیته اجزای تشکیل دهنده آن می باشد، بنابراین با توجه به اینکه الیاف سلولزی دارای مدول الاستیسیته نسبتاً بالایی هستند طبعاً می توانند مدول الاستیسیته مرکب را بهبود بخشند. بنابراین با افزایش الیاف سلولزی از مقدار ۱۰ تا ۳۰ درصد مقاومت کششی ماده مرکب نسبت به پلی پروپیلن شاهد افزایش می یابد. بعلاوه اینکه استفاده از عامل جفت کننده و مواد شروع کننده به اتصال میان الیاف و ماتریس کمک می کند.

در بررسی که بر روی فرآورده مرکب سلولزی انجام شده عنوان می کنند که در دماهای بالاتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس ترکیبات خمیر CTMP مثل لیگنین و همی سلولزها شروع به تخریب کرده و در اثر تخریب شدن این ترکیبات فضاهای خالی در داخل فرآورده مرکب ایجاد شده و تخریب الیاف اتفاق می افتد که باعث کاهش شدید ویژگیهای فرآورده نهایی می گردد. رفتار پلیمرهای الیافی نسبت به تغییر شکل حرارتی بسیار حساس بوده و این حساسیت در مقاومت به ضربه بیشتر می باشد ولی با استفاده از عامل جفت کننده انیدرید مالئیک به عنوان

- Hill, C. A. S., (2000). Wood-plastic composites: strategies for compatibilising the phases. Journal of the Istitute of wood science volume 15 No. 3 (2000) page 140-149.
- Maldas, D., and kokta, B. r. (1989). Improving Adhesion of wood fiber with polystyrene by the chemical Treatment of fiber with a coupling Agent and the Influence on the Mechanical properties of composites. J. Adhes. Sci. Technol. 3(7): 529-539.
- Matuana, L. M., Balatinecz, J. g., park, C.B., woodhams, R. T. (1999). Surface characteristics of chemically modified Newsprint fibers Deterimined by Invers Gas chromadtography. Wood and fiber science, 31 (2). 1999 pp. 116-127.
- Matuana, L. M., Balaticcz, J. J., sodhi, R. N. S., park, C. B., (2001). Surface characterization of esterified Cellulosic Fibers b) XPS and FTIR spectroscopy. Wood science and Technology 35 (2001) 191-201 springer-verlag 2001.
- Rowell, R. M., caulfield, D. F., chen, G. W., Ellis, W. D., Jacobson, R. E., lange, S., and Schumann, R. (1998). Recent Advances in Agro-fiber/thermoplastic composites. Natural polymers and composites. May 10-13 1998. A tibiaia, SP. Brazil page 11-20.

الیاف سلولزی از مقدار ۳۰ به ۴۰ درصد کاهش جذب گروههای کربونیل مشاهده شده است و باندهای جذبی بوجود آمده در نواحی  $1700-1751 \text{ cm}^{-1}$  در فرآورده مرکب الیاف چوب/ پلی پروپیلن ملاحظه شده است. مقاومت خمشی و کششی نیز در ۳۰ درصد الیاف سلولزی حداکثر بوده و همین طور جذب گروه کربونیل افزایش یافته است.

#### منابع مورد استفاده

- ASTM Standards, (1997). Plastics (I): D-256-D747-D638. Volume 08.01.
- Banks, W.B., Din, R.H., and Owen, N. L., (1995). Fiber Activation and subsequent CO-polymerisation. Holzforchung. j. vol. 79. 1995. No. 2 page 104-107.
- Felix, J.M., Gatenholm, P., and Schreiber, H. P., (1993). Controlled Interaction in cellulose-polymer composites. I effect on Mechanical properties. Polym compos. J., 1993. 14. 49.

Archive

## Wood plastics composites: Bond formation mechanism and mechanical properties

Nourbakhsh, A.<sup>1\*</sup>, Hajihassani, R.<sup>2</sup>, Golbabaee, F.<sup>3</sup> and Kouhpayehzadeh, M.<sup>4</sup>

1\*- Corresponding author, Associate Professor, Wood and Paper Science Dept. Research Institute of Forests and Rangelands  
Email: nourbakhsh\_amir@yahoo.com

2- MSc., wood and paper, Research Institute of Forests and Rangelands,

3- MSc., wood and paper Dept., Research Institute of Forests and Rangelands

4- Scientific member of Islamic Azad University (pishva -Varamin) branch

Received: Sep., 2011

Accepted: Feb., 2012

### Abstract

Wood fibers are increasingly being used as reinforcement in commercial thermoplastic composites due to their low cost, high specific strength properties and renewable nature. The ultimate goal of our research was to find the fundamental understanding of the mechanical behavior of poplar wood fiber/polypropylene (PP) composites. The effect of wood fiber concentrations and compounding temperature on the mechanical properties of composites, prepared using MAPP as the coupling agent, was investigated. In the sample preparation, four levels of fiber loading (10, 20, 30, and 40 w/w%) and three compounding temperatures (180, 190, and 200°C) were used. The results revealed that the major changes in composite properties occurred at fiber contents above 30%. The results clearly showed that the fiber loading of 30 and 40 w/w% at 190°C provided adequate reinforcement to increase the tensile and flexural strength of the composite. The modulus also increased with increasing fiber content, because poplar wood fibers are believed to be more rigid than polymer. However, the addition of wood fibers resulted in the reduction of both elongation and impact strength properties of the composites. The FTIR spectroscopy showed that the polymer was bonded to the fibers by ester linkages and hydrogen bonds at 1705–1735 cm<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Composites, chemical bonding, temperatures, mechanical behavior, FTIR spectroscopy