

استفاده از لیگنین کرافت به روش اختلاط حلال در ترکیب ماده مرکب آرد چوب - پلی پروپیلن

حامد یونسی کرد خلیلی، ربیع بهروز*⁺، سعید کاظمی نجفی

مازندران، نور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

چکیده: در این پژوهش اثر افزودن لیگنین استخراج شده از لیکور سیاه به دست آمده از فرایند خمیرسازی کرافت بر روی جذب آب کوتاه مدت و ویژگی‌های مکانیکی ماده مرکب آرد چوب - پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. لیگنین با نسبت‌های ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی و به روش اختلاط حلال با آرد چوب راش مخلوط شد. مخلوط به دست آمده با پلی پروپیلن در دو حالت حضور و عدم حضور سازگار کننده (انیدرید مالئیک - پلی پروپیلن)، به وسیله دستگاه مخلوط کن داخلی با یکدیگر مخلوط شده و سپس با استفاده از روش پرس گرم به صفحات چوب - پلاستیک تبدیل شدند. سپس نمونه‌های آزمایشی تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد نظر در این پژوهش براساس استانداردهای مربوطه اندازه گیری شدند. نتیجه‌ها نشان داد که به طور کلی لیگنین سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب چوب - پلاستیک می‌شود. به نظر می‌رسد این ماده توانسته است به سازگاری بین پلی پروپیلن و آرد چوب کمک کند و می‌توان از آن به عنوان یک ماده افزودنی کمک سازگار کننده MAPP در مواد مرکب چوب - پلاستیک استفاده نمود. نتیجه‌های آزمون خمش نشان داد که در شرایط استفاده نکردن از سازگار کننده، مواد مرکب دارای ۱۰ درصد لیگنین مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی بالاتری نسبت به بقیه نمونه‌ها نشان می‌دهند اما در حضور سازگار کننده، مواد مرکب دارای ۵٪ لیگنین بیشترین مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی را دارا بودند. در حضور و عدم حضور MAPP، بیشترین مقاومت به ضربه و کمترین میزان جذب آب در مواد مرکب دارای ۱۰ درصد لیگنین دیده شد.

واژه‌های کلیدی: مواد مرکب چوب - پلاستیک، روش اختلاط حلال، لیگنین، جذب آب، ویژگی‌های مکانیکی.

KEY WORDS: Wood-plastic composites, Solvent mixing method, Lignin, Water absorption, Mechanical properties.

مقدمه

علاوه بر تقویت کردن، نقش پرکنندگی را نیز می‌تواند در ترکیب بازی کند. دلیل اصلی استفاده از پرکننده‌ها در مواد مرکب، کاهش هزینه ساخت و اثرات مخرب زیست محیطی و افزایش برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آنها مانند سفتی و سختی می‌باشد [۲].

مواد مرکب که از ترکیب دو یا چند ماده به وجود می‌آیند از دو فاز پیوسته و ناپیوسته تشکیل شده‌اند. در مواد مرکب، فاز ناپیوسته به طور معمول سخت‌تر و قوی‌تر از فاز پیوسته است و به همین دلیل به آن فاز تقویت کننده نیز می‌گویند که

+E-mail: rabi.behrooz@modares.ac.ir

*عهده دار مکاتبات

یکی از ترکیب‌های اصلی مواد لیگنوسولوزی، لیگنین می‌باشد. لیگنین پلیمری درشت ملکول ساخته شده از واحدهای فنیل پروپان می‌باشد. این پلیمر در حدود ۳۰ - ۲۰ درصد وزن خشک چوب را تشکیل می‌دهد. در چوب، بین لیگنین و همی سلولزها اتصال شیمیایی برقرار است [۳]. از آنجایی که لیگنین جزء پلیمرهای با ساختار دوگانه^(۴) به شمار می‌آید که هم دارای ساختار قطبی و هم غیرقطبی می‌باشد، در نتیجه این فرضیه مطرح شده که لیگنین می‌تواند به عنوان سازگارکننده یا عامل ایجاد سازگاری بیشتر بین پلیمر و آرد چوب در مواد مرکب چوب - پلاستیک استفاده شود [۱۱]. یکی از منابع مهم لیگنین، لیکور سیاه موجود در کارخانه‌های کاغذسازی است که با توجه به مقدار زیاد آن، بازیافت آن هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است. کارخانه‌هایی که از فرایند کرافت برای ساخت خمیر کاغذ استفاده می‌کنند هر ساله مقدار قابل توجهی لیکور سیاه تولید می‌کند که بیشتر آنها تنها به مصرف سوخت می‌رسند و تنها حدود ۲٪ آن در کاربردهای صنعتی به کار می‌رود [۹]. Rozman و همکاران از لیگنین اسیدی تهیه شده به روش کلاسون (سورلفوریک اسید ۷۲٪) به عنوان نوعی سازگارکننده در مواد مرکب الیاف نارگیل - پلی‌پروپیلن استفاده کردند. نتیجه‌های پژوهش‌های آنها نشان داد که مواد مرکب حاوی لیگنین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بالاتری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند. براساس نظر این پژوهشگران استفاده از الیاف و وجود غیریکنواختی در ابعاد الیاف و نبود توزیع یکنواخت آنها، نقش مثبت و بهبود سازگاری به وجود آمده توسط لیگنین را تحت تأثیر قرار داده است [۱۱]. در این پژوهش سعی شد تا با جایگزینی آرد چوب به جای الیاف و حذف این مشکل اثرگذاری استفاده از لیگنین به عنوان یک ماده افزودنی در ترکیب مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد بررسی قرار گیرد. همچنین به منظور ایجاد پوشش کامل سطح آرد چوب به‌وسیله‌ی لیگنین از روش اختلاط حلال استفاده شد.

بخش تجربی

مواد پلیمر

در این پژوهش، از پلی‌پروپیلن محصول پلی نار تبریز با درجه SI-۰۸۰ استفاده شد. شاخص جریان مذاب پلی‌پروپیلن مورد استفاده

در سال‌های اخیر استفاده از مواد مرکب به ویژه مواد مرکب با زمینه پلیمری رشد سریعی داشته است به طوری که امروزه ماده مرکب تولید شده از پلیمر (پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و ...) و ماده لیگنوسولوزی (الیاف با آرد چوب) که به مواد مرکب چوب - پلاستیک معروف می‌باشند یکی از مواد شناخته شده و پرمصرف در صنعت به ویژه در صنایع اتومبیل‌سازی دنیا می‌باشد [۱]. عامل اصلی گسترش استفاده از این مواد، خواص بهینه آن نسبت به اجزای تشکیل دهنده آنها می‌باشد. مواد مرکب چوب - پلاستیک دارای پایداری نسبی در برابر آب و تغییرات جوی و مقاومت بالا نسبت به قارچ و حمله حشرها هستند. همچنین امکان استفاده از مواد کم ارزش و دور ریز به منظور تولید مواد مرکب چوب - پلاستیک، از مزیت‌های اقتصادی و زیست محیطی آن به شمار می‌آید [۶، ۵].

از نظر شیمیایی به دلیل اینکه ماده لیگنوسولوزی دارای ماهیت قطبی می‌باشد و پلیمرها ماهیت غیرقطبی دارند، اتصال مناسبی بین این دو فاز در حالت عادی انجام نمی‌پذیرد. به همین دلیل از مواد سازگارکننده^(۱) که دارای بخش‌های قطبی (به‌منظور ایجاد اتصال با ماده لیگنوسولوزی) و غیرقطبی (به‌منظور ایجاد اتصال با پلیمر) در ساختار خود می‌باشند به منظور تشکیل و برقراری پیوند شیمیایی بین این دو فاز استفاده می‌شود. استفاده از این مواد نه تنها سبب بهبود سازگاری و ایجاد اتصال بین پرکننده طبیعی و پلیمر می‌شود بلکه تأثیر مثبت برخواص مکانیکی مرکب چوب - پلاستیک خواهد داشت [۴]. طی دو دهه اخیر تلاش‌های فراوانی برای بهبود مقاومت سطح اتصال پلیمر با پرکننده‌های طبیعی انجام پذیرفته است. حاصل این کوشش‌ها معرفی بیش از ۴۰ نوع سازگارکننده می‌باشد که متداول‌ترین آنها از گروه ایزوسیانات‌ها، انیدریدها، سیلان‌ها و پلیمرهای اصلاح شده با انیدریدها همانند پلی‌پروپیلن اصلاح شده با انیدرید مالئیک (MAPP)^(۲) و پلی‌اتیلن‌اصلاح شده با انیدرید مالئیک (MAPE)^(۳) هستند [۹]. از بین همه اتصال دهنده‌ها، بیشتر از سایرین مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌اند [۷]. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در این زمینه، یافتن ماده یا موادی جدید که بتوانند سازگاری بیشتری بین چوب و پلاستیک به وجود آورند و یا با هزینه کمتری استفاده شوند، همچنان مورد توجه پژوهشگران صنعت چوب - پلاستیک می‌باشد.

(۱) Compatibilizer

(۲) Maleic anhydride polypropylene

(۳) Maleic anhydride polyethylene

(۴) Amphiphilic

و ماده جامد (آرد چوب آغشته شده به لیگنین) جهت تهیه مواد مرکب مورد استفاده قرار گرفت.

ساخت نمونه‌های آزمونی

مواد اولیه (مطابق ترکیب ارزیه شده در جدول ۱) به وسیله مخلوط‌کن داخلی مدل Plastic-Corder در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۶۰rpm با هم مخلوط شدند. پس از رسیدن فرایند اختلاط به گشتاور ثابت که نشان‌دهنده اختلاط مناسب مواد می‌باشد فرایند به هم زدن متوقف شد. مواد مخلوط شده به وسیله آسیاب آزمایشگاهی خرد شده و سپس توسط پرس گرم در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد و فشار ۱۰ بار در مدت ۶ دقیقه به نمونه‌های چوب - پلاستیک تبدیل شدند.

اندازه‌گیری جذب آب کوتاه مدت

جذب آب کوتاه مدت (۲۴ ساعته) نمونه‌های آزمونی مطابق آیین‌نامه ۷۰۳۱-۰۴ استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور ابتدا از هر اختلاط پنج نمونه به ابعاد ۲٫۵×۲٫۵ سانتی‌متر تهیه شد و سپس این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۳±۲ درجه سانتیگراد در آون خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰٫۰۰۱ گرم توزین شدند و سپس در آب مقطر (در دمای اتاق) غوطه‌ور شدند. وزن نمونه‌ها بعد از گذشت ۲۴ ساعت دوباره اندازه‌گیری شد. مقدار جذب آب طبق معادله (۱) محاسبه شد.

$$WA(t) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

WA(t) = مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری t (%)

W_t = وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری t (گرم)

W₀ = وزن خشک نمونه‌ها قبل از غوطه‌وری (گرم)

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی

آزمون خمش سه نقطه‌ای با طول دهانه ۱۱ سانتیمتر و سرعت بارگذاری ۵ mm/min مطابق با استاندارد ASTM (D 70-90) برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته (MOE) و گسیختگی (MOR) انجام شد. برای این آزمون از دستگاه آزمون Instron-4486 استفاده شد. آزمون ضربه بدون فاق

(۱) DMSO

طبق آیین‌نامه ۹۸-۱۲۳۸ استاندارد ASTM در دمای ۲۳۰ درجه سانتیگراد و با وزنه ۲/۱۶ کیلوگرم اندازه‌گیری شد که در حدود ۹ g/۱۰min بود.

پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار شده (MAPP)

از MAPP ساخت شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب ۱۰ g/۱۰min (وزنه ۲/۱۶ کیلوگرم و دما ۲۳۰ درجه سانتیگراد) و ۱/۱ درصد مالئیک انیدرید پیوند خورده به عنوان سازگارکننده استفاده شد.

لیگنین

لیگنین موردنیاز با استفاده از روش رسوب‌دهی به وسیله سولفوریک اسید در pH برابر ۲ [۸] از لیکور سیاه کرافت کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) استخراج شد.

ماده لیگنوسولوزی

خاک اره راش از کارگاه نجاری شرکت صنایع چوب پلی‌فرم تهیه شد و توسط اون کارگاهی خشک شده و از مش ۴۰-۶۰+ گذرانده شده و به عنوان پرکننده در ساخت مواد مرکب استفاده شد.

دستگاه‌ها

برای اختلاط شیمیایی مواد اولیه از دستگاه مخلوط‌کننده داخلی مدل Plastic-Corder ساخت کشور آلمان استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری خواص خمشی کامپوزیت‌های به دست آمده از دستگاه Instron-4486 ساخت کشور کانادا و برای اندازه‌گیری مقاومت به ضربه نمونه‌ها از دستگاه آزمون نوع IZOD ساخت سنتام کشور ایران استفاده شد.

روش‌ها

آغشته‌سازی آرد چوب با لیگنین

ابتدا مقدار محاسبه شده لیگنین به دست آمده از لیکور سیاه بسته به سطوح مورد نظر اختلاط (۰، ۲، ۵ و ۱۰ درصد براساس وزن خشک آرد چوب) در میزان معینی از حلال دی‌متیل سولفوکسید^(۱) حل شد و سپس آرد چوب به مدت ۵ دقیقه با محلول لیگنین با نسبت ۱ به ۵ (خاک اره به محلول لیگنین) آغشته شد. پس از این مرحله، حلال توسط دستگاه تبخیر کننده در خلأ جداسازی شد.

جدول ۱- نحوه ترکیب مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه.

شماره ماده مرکب	لیگنین ^۱ (%)	انیدرید مالئیک پلی پروپیلن (%)	پلی پروپیلن (%)	(آرد چوب + لیگنین) = ۶۰٪
PW	۰	۰	۴۰	(۰ + ۶۰)
PWL2	۲	۰	۴۰	(۱٫۲ + ۵۸٫۸)
PWL5	۵	۰	۴۰	(۳ + ۵۷)
PWL10	۱۰	۰	۴۰	(۶ + ۵۴)
PWM	۰	۲	۳۸	(۰ + ۶۰)
PWL2M	۲	۲	۳۸	(۱٫۲ + ۵۸٫۸)
PWL5M	۵	۲	۳۸	(۳ + ۵۷)
PWL10M	۱۰	۲	۳۸	(۶ + ۵۴)

مطابق با استاندارد ASTM (D256) انجام شد. از دستگاه آزمون نوع IZOD برای آزمون ضربه استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

از طرح آماری به طور کامل "تصادفی متعادل تحت آزمایش" استفاده شد و در صورت معنی دار شدن اثر فاکتورها، از آزمون مقایسه میانگین دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد به منظور انتخاب مؤثرترین تیمارها بهره گرفته شد.

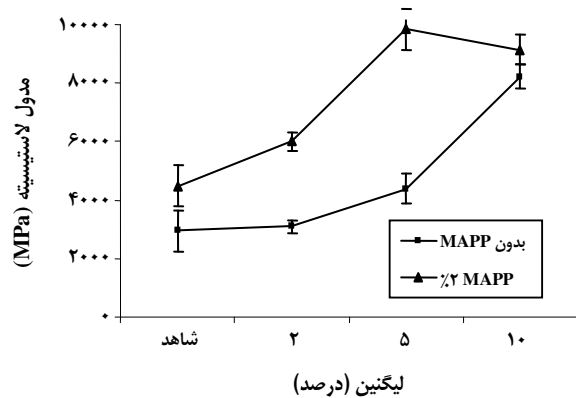
نتیجه‌ها و بحث

جذب آب

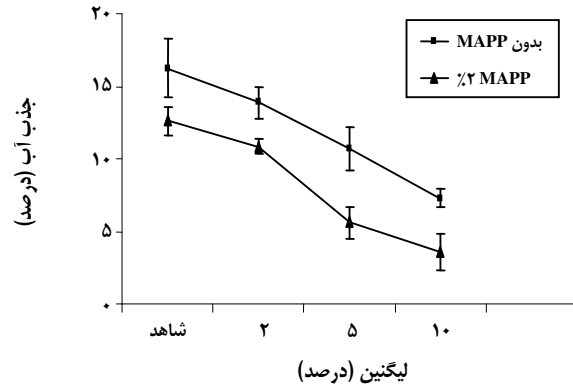
جذب آب به عنوان یک عامل محدود کننده در کاربرد نهایی مواد مرکب چوب - پلاستیک به حساب می‌آید زیرا کلیه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این مواد مرکب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شکل ۱ اثر لیگنین روی جذب آب کوتاه مدت (۲۴ ساعت) مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود هم در مواد مرکب دارای سازگارکننده و هم بدون آن، با افزایش درصد لیگنین از صفر (شاهد) به ۱۰ درصد، جذب آب کوتاه مدت نمونه‌های آزمون به‌طور پیوسته کاهش می‌یابد به طوری که نمونه‌های دارای ۱۰ درصد لیگنین کمترین میزان جذب آب را نشان می‌دهد. از سوی دیگر این نمودارها نشان می‌دهند که با افزودن MAPP، جذب آب کلیه مواد مرکب مورد مطالعه به طور معنی داری کاهش می‌یابد.

درمورد چگونگی اثر لیگنین کرافت روی کاهش جذب آب در مواد مرکب چوب - پلاستیک می‌توان گفت که این پدیده در اساس به ماهیت جذب آب ضعیف لیگنین مربوط می‌شود. در واقع جایگزینی لیگنین کرافت با قابلیت جذب آب ضعیف به جای کربوهیدرات‌های آب‌دوست در ترکیب مواد مرکب تولید شده و همچنین پوشش آرد چوب (آب‌دوست) توسط لیگنین (آب‌گریز) باعث کاهش جذب آب این مواد مرکب شده است. همچنین در پژوهش دیگری *Timothy* و همکاران، از لیگنین پیوند خورده با پلیمر به عنوان ماده آب‌گریز در ساخت ماده مرکب چوب - پلاستیک استفاده کردند و نتیجه‌های آنها نشان داد که لیگنین می‌تواند میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت این ماده مرکب را کاهش دهد [۱۴]. سازگارکننده MAPP سبب می‌شود پوشش آرد چوب به وسیله پلی پروپیلن بهتر انجام شود و ضمن کاهش دسترس پذیری آرد چوب به آب، از جذب آب به وسیله دیواره‌های سلول کاسته شده که منجر به کاهش جذب آب مواد مرکب چوب - پلاستیک می‌شود (*Sain* و همکاران) کاهش جذب آب مواد مرکب چوب - پلاستیک با افزودن MAPP توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است [۱۲، ۱۴].

به‌طور کلی نتیجه‌های آزمون جذب آب مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه نشان داد که استفاده هم‌زمان از لیگنین کرافت و سازگارکننده انیدرید مالئیک - پلی پروپیلن موجب کاهش جذب آب مواد مرکب چوب - پلاستیک می‌شوند که شاید دلیل این امر بهبود اتصالات بین پلیمر و آرد چوب و کاهش فضاهای خالی موجود در مواد مرکب چوب - پلاستیک می‌باشد.



شکل ۲- تأثیر افزودن لیگنین روی مدول الاستیسیته مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه.



شکل ۱- تأثیر افزودن لیگنین روی جذب آب ۲۴ ساعته مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه

که مدول الاستیسیته مواد مرکب دارای ۵٪ لیگنین و بدون MAPP به تقریب معادل مواد مرکب دارای ۲٪ MAPP می‌باشد.

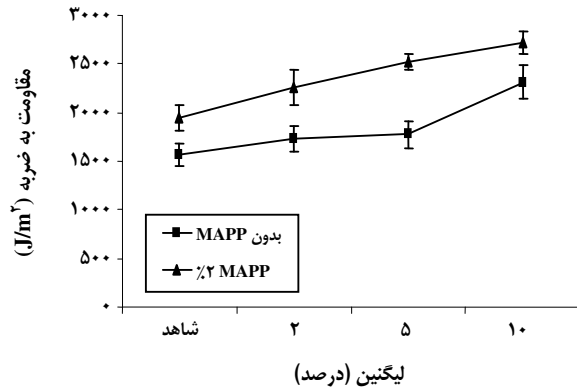
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در شرایط استفاده از سازگارکننده MAPP، افزایش مقدار لیگنین تا ۵٪ موجب افزایش پیوسته مدول الاستیسیته مواد مرکب شد اما با افزایش میزان لیگنین به ۱۰ درصد مدول الاستیسیته کاهش پیدا می‌کند. علت این امر شاید به علت وجود لیگنین بیشتر از مقدار بهینه می‌باشد که موجب می‌شود که ملکول‌های لیگنین در تماس با هم قرار گیرند و تشکیل نقاط ضعف را در ماده مرکب چوب - پلاستیک دهند به همین دلیل افزودن بیشتر لیگنین باعث افزایش چسبندگی و اتصال بین پلیمر و آرد چوب در مواد مرکب نمی‌شود.

مقاومت خمشی

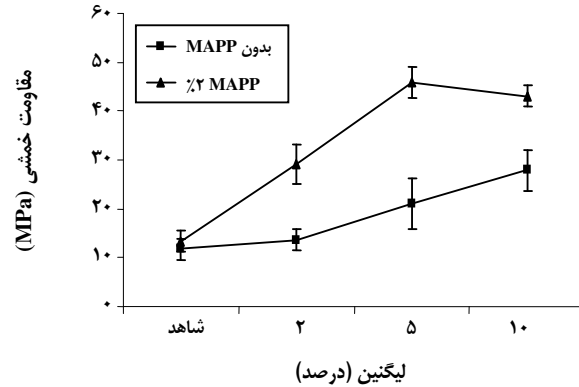
در شکل ۳ اثر لیگنین روی مقاومت خمشی مواد مرکب چوب - پلاستیک نشان داده شده است. همان‌طوری که شکل ۳ نشان می‌دهد به طور کلی افزودن لیگنین موجب افزایش مقاومت خمشی مواد مرکب مورد مطالعه شده است. در شرایط استفاده نکردن از MAPP، با افزایش میزان لیگنین از ۲ به ۱۰ درصد مقاومت خمشی مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه به ترتیب ۱۶، ۸۰ و ۱۳۸ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد بوده است. در شرایط استفاده از ۲٪ MAPP، مقاومت خمشی مواد مرکب دارای ۲، ۵ و ۱۰ درصد لیگنین به ترتیب ۲۲۴، ۲۲۲ و ۲۲۲ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. مقاومت خمشی مواد مرکب تحت تأثیر اتصال و چسبندگی بین اجزای آن می‌باشد. از آنجایی که مقدار آرد چوب، پلی‌پروپیلن و سازگارکننده مالئیک انیدرید پروپیلن ثابت می‌باشد

پایداری امولسیون

همان‌طوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود به طور کلی افزودن لیگنین موجب افزایش مدول الاستیسیته مواد مرکب مورد مطالعه شده است. در شرایط عدم استفاده از MAPP، با افزایش میزان لیگنین از ۲ به ۱۰ درصد مدول الاستیسیته مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه به ترتیب ۵، ۴۹ و ۱۷۹ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد بوده است. در شرایط استفاده از ۲٪ MAPP، مدول الاستیسیته مواد مرکب دارای ۲، ۵ و ۱۰ درصد لیگنین به ترتیب ۳۴، ۱۱۹ و ۱۰۴ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. مدول الاستیسیته مواد مرکب به شدت تحت تأثیر مدول الاستیسیته اجزای تشکیل‌دهنده و اتصال بین اجزای آن است [۱۳]. اصولاً در مواد مرکب چوب-پلاستیک نقش ماده زمینه (پلی پروپیلن) نگهداری از آرد چوب و انتقال نیرو به فاز ثانویه (آرد چوب) و نقش فاز ثانویه تقویت فیزیکی و مکانیکی ماتریس می‌باشد از این رو با افزایش مقاومت اتصال میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب افزایش می‌یابد [۱۰]. به نظر می‌رسد که با افزایش مقدار لیگنین و یا افزودن سازگارکننده انتقال تنش بهتر صورت گرفته که باعث افزایش مدول الاستیسیته شده است. استفاده هم‌زمان از لیگنین و سازگارکننده سبب افزایش چسبندگی بین اجزاء و در نتیجه افزایش مدول الاستیسیته مواد مرکب شده است. بر اساس نظر Toriz و همکاران، مواد مرکب ساخته شده از لیگنین گرافت و پلی‌پروپیلن را مورد مطالعه قرار دادند به این نتیجه رسیدند که اختلاط لیگنین با پلی‌پروپیلن منجر به افزایش مدول الاستیسیته در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص می‌شود [۱۵]. از سوی دیگر شکل ۲ نشان می‌دهد



شکل ۴ - تأثیر افزودن لیگنین روی مقاومت به ضربه مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه



شکل ۳- تأثیر افزودن لیگنین روی مقاومت خمشی مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه.

چوب پلاستیک نیز به طور پیوسته افزایش می‌یابد. در شرایط استفاده نکردن از MAPP، با افزایش میزان لیگنین از ۲ به ۱۰ درصد مقاومت به ضربه مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه به ترتیب ۱۰، ۱۳ و ۴۷ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد بوده است. در شرایط استفاده از ۲٪ MAPP، مقاومت به ضربه مواد مرکب دارای ۲، ۵ و ۱۰ درصد لیگنین به ترتیب ۱۶، ۲۹ و ۴۰ درصد بیشتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. مقاومت به ضربه بدون فاق معرف مقاومت ماده در برابر ایجاد شکست است. بنابراین بالا بودن مقاومت به ضربه بدون فاق نشان‌دهنده انرژی جذب شده بیشتر است. این انرژی در ابتدا توسط ماده زمینه پلیمری جذب و سپس به پرکننده‌ها منتقل می‌شود. اتصال پرکننده‌ها به ماده زمینه و توزیع پرکننده‌ها در ماده زمینه پلیمری از عامل‌های تأثیرگذار در جذب انرژی و افزایش مقاومت به ضربه بدون فاق در مواد مرکب می‌باشند. از آنجایی که به احتمال لیگنین سبب بهبود اتصال در مواد مرکب چوب - پلی پروپیلن می‌شود در نتیجه جذب انرژی این مواد را افزایش داده و موجب افزایش مقاومت به ضربه می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود افزودن لیگنین و سازگارکننده انیدرید مالئیک پلی پروپیلن به مواد مرکب سبب افزایش مقاومت به ضربه شده است. در صورتی که در مواد مرکب از سازگارکننده استفاده نشود، تنها اتصال‌های ایجاد شده بین مواد تشکیل دهنده آن از نوع مکانیکی خواهد بود [۹]؛ اما با استفاده از لیگنین و سازگارکننده MAPP اتصالات شیمیایی بین اجزا برقرار می‌شود. از سوی دیگر این نمودار نشان می‌دهد که افزودن ۱۰٪ لیگنین مقاومت به ضربه را بیش از ۲٪ MAPP افزایش می‌دهد.

در نتیجه افزایش مقاومت خمشی مواد مرکب چوب پلاستیک مورد مطالعه را می‌توان به لیگنین نسبت داد. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که در عدم حضور سازگارکننده MAPP، افزایش میزان لیگنین از ۲ تا ۱۰ درصد موجب افزایش پیوسته مقاومت خمشی مواد مرکب می‌گردد. به طوری که مواد مرکب دارای ۱۰ درصد لیگنین بیشترین مقاومت خمشی را نشان می‌دهند. در حضور سازگارکننده MAPP، مواد مرکب دارای ۵ درصد لیگنین بیشترین مقاومت خمشی را نشان دادند البته از لحاظ آماری اختلاف معنی داری بین مواد مرکب دارای ۵ و ۱۰٪ لیگنین مشاهده نشده است. از سوی دیگر نتیجه‌ها نشان داد که مقاومت خمشی مواد مرکب بدون MAPP و دارای ۲٪ لیگنین با مواد مرکب دارای ۲٪ MAPP، به تقریب برابر می‌باشند. استفاده از مقدار بالای لیگنین (۱۰ درصد) به همراه سازگارکننده در مواد مرکب با ماده زمینه پلیمری شاید مانع از توزیع یکنواخت مواد تقویت کننده در ماده زمینه می‌شود؛ بنابراین لیگنین در تماس مستقیم با هم قرار می‌گیرند و باعث ضعف چسبندگی در فاز میانی می‌شود. زمانی که از لیگنین همراه با پرکننده‌های معدنی در تولید مواد مرکب استفاده شد، نتیجه‌ها نشان داد که کلیه ویژگی‌های مقاومتی این مواد مرکب با افزایش میزان لیگنین افزایش می‌یابد [۱۵].

مقاومت به ضربه

اثر لیگنین روی مقاومت به ضربه مواد مرکب چوب - پلاستیک مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش مقدار لیگنین هم در مواد دارای سازگارکننده و هم بدون آن، مقاومت به ضربه مواد مرکب

نتیجه‌گیری

می‌توانند به‌طور مکمل به عنوان سازگارکننده در مواد مرکب چوب - پلی پروپیلن مورد استفاده قرار گیرند. مواد مرکب دارای ۵ درصد لیگنین و ۲٪ MAPP نیز بهترین تیمار محسوب می‌شود. همچنین در مقایسه بین اثر افزودن لیگنین با افزودن MAPP می‌توان گفت که استفاده از لیگنین می‌تواند به عنوان جایگزینی برای MAPP نیز مورد استفاده قرار گیرد.

به طور کلی نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش نشان داد که لیگنین سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی (جذب آب) و مکانیکی (مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه) مواد مرکب آرد چوب - پلی پروپیلن می‌گردد. نکته جالب توجه در نتیجه‌های این پژوهش آن است که به تقریب در کلیه تیمارها و درصدهای مختلف افزودن لیگنین در حضور سازگارکننده MAPP، ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی به طور قابل چشمگیری افزایش یافته است. این نتیجه‌ها بیانگر از آن است که لیگنین و MAPP

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۱۰

مراجع

- [۱] بی نام؛ موسسه کامپوزیت ایران. کامپوزیت‌ها چیستند؟ کامپوزیت، (۱۳۸۰).
- [۲] تجویدی، م؛ ابراهیمی، ق؛ عنایتی، ع؛ بررسی اثر استفاده از سازگارکننده بر خواص مکانیکی مواد مرکب پلی پروپیلن و آرد چوب با استفاده از تحلیل دینامیکی مکانیکی (DMA)، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۶، شماره ۱ و ۲، ۴۷-۵۹، (۱۳۸۲).
- [۳] شوستروم، ا؛ شیمی چوب-مبانی و کاربردها (ترجمه میرشکری، ا)، انتشارات آبیژ، تهران، صص: ۱۶۰-۱۵۵ (۱۳۸۶).
- [۴] کاظمی نجفی، س؛ یونسی کردخیلی، ح؛ نصیری، ر؛ ارزیابی تاثیر آب دریا روی عملکرد سازگارکننده در رفتار جذب آب چند سازه آرد چوب پلی پروپیلن. مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۶۲، شماره ۳: ۳۱۰-۳۰۱، (۱۳۸۸).
- [۵] یونسی کردخیلی، ح؛ بهروز، ر؛ کاظمی نجفی، س؛ اثر روش اختلاط لیگنین روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن. مجله صنایع صنایع چوب و کاغذ ایران، سال اول شماره ۲، (۱۳۸۹)، ۱۱۳-۱۰۳.
- [۶] یونسی کردخیلی، ح؛ بهروز، ر؛ کاظمی نجفی، س؛ مقایسه اثر سازگارکنندگی لیگنین کرافت و مالئیک انیدرید پلی پروپیلن در کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک. نخستین همایش فن آوری های نوین در صنایع چوب و کاغذ، چالوس. (۱۳۸۹).
- [7] Chowdhury M., Wolcott M., Compatibilizer Selection to Improve Mechanical and Moisture Properties of Extruded Wood-HDPE Composites, *Forest Products Journal*, **57** (9), p. 46, (2007).
- [8] Lin Y.S., Dence C.V., "Methods in Lignin Chemistry", Springer-Verlag (Berlin, New York), p. 578, (1992).
- [9] Lu Z., Wu Q., Mc Nabb S., Chemical Coupling in Wood Fiber and Polymer Composites: A Review of Coupling Agents and Treatments. *Wood and Fiber Science*, 32 (1), 88-104, (2000).

- [10] Oksman K., Clemon C., Mechanical properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene- Wood Flour Composites, *Journal of Applied Polymer Polymer Science*, **67** (9), p. 1503 (1997).
- [11] Rozman H.D., Tan K.W., Kumar R.N., Abubakar A., Ishak Mohd., Ismail H.,: The Effect of Lignin as a Compatibilizers on the Physical Properties of Coconut Fiber-Polypropylene Composites, *European Polymer Journal*, **36**(7), p. 1483 (2000).
- [12] Sain M., Suhara P., Law S., Bloulloux A., Interface Modification and Mechanical Properties of Natural Fiber-Polyofien Composite Products, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **24**, p. 121 (2005).
- [13] Stark N.M., Rowlands R.E., Effects of Wood Fiber Characteristics on Mechanical Properties of Wood/Polypropylene Composites, *Wood and Fiber Science*, **35**(2), p. 167 (2003).
- [14] Timothy A., Vipul S., Meng-jiu C., John J.M., Graft Copolymers of Lignin as Hydrophobic Agents for Plastic (Wood-Filled) Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, **89**, p. 1266 (2003).
- [15] Toriz G., Denes F., and Young R. A., Lignin-Polypropylene Composites. Part 1: Composites from Unmodified Lignin and Polypropylene, *Journal of Polymer Composites*, **23** (5), (2002).