

## استفاده از لیگنین کرافت به عنوان سازگارکننده در مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن

ربیع بهروز<sup>۱\*</sup>، حامد یونسی کردخیلی<sup>۲</sup> و سعید کاظمی نجفی<sup>۳</sup>

۱-مسئول مکاتبات، استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس،

پست الکترونیک: Rabi.behrooz@modares.ac.ir

۲- دانشجوی دکترای گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: دی ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۸۹

### چکیده

در این پژوهش اثر سازگارکنندگی لیگنین کرافت روی جذب آب کوتاه مدت (۲ و ۲۴ ساعت) و ویژگی‌های مکانیکی مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. لیگنین کرافت مورد استفاده از لیکورسیاه کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) با روش اسیدی استخراج و با نسبت‌های ۲، ۵ و ۱۰ درصد و با روش اختلاط فیزیکی (خشک) با آرد چوب خشک شده راش مخلوط شد. مخلوط حاصل با پلی پروپیلن در دو حالت حضور و عدم حضور سازگارکننده (انیدریدمالئیک- پلی پروپیلن)، بوسیله دستگاه مخلوط‌کن داخلی با یکدیگر مخلوط شده بعد با استفاده از روش پرس گرم به صفحه‌های چوب- پلاستیک تبدیل شدند. بعد نمونه‌های آزمونی تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد نظر در این تحقیق براساس استانداردهای مربوطه اندازه‌گیری شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که به طور کلی لیگنین کرافت سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی (جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت) و مکانیکی (مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه) مواد مرکب چوب- پلاستیک می‌گردد. نتایج آزمون خمش نشان داد که در شرایط عدم استفاده از سازگارکننده، مواد مرکب حاوی ۱۰ و ۲ درصد لیگنین کرافت به ترتیب مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی بیشتری نسبت به بقیه نمونه‌ها داشتند، اما در حضور سازگارکننده، مواد مرکب دارای ۵٪ لیگنین مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی بالاتری را نشان دادند. نتیجه قابل توجه اینکه، در مقایسه با مواد مرکب دارای ۲٪ انیدریدمالئیک- پلی پروپیلن، مواد مرکب دارای ۲٪ لیگنین کرافت مدول الاستیسیته بالاتر و جذب آب کوتاه مدت کمتری نشان دادند که این نتیجه حکایت از اثر مثبت سازگارکنندگی لیگنین کرافت در مواد مرکب آرد چوب- پلی پروپیلن دارد. بنابراین بیشترین مقاومت به ضربه و کمترین میزان جذب آب کوتاه مدت، در مواد مرکب حاوی ۱۰ درصد لیگنین کرافت مشاهده شد. البته از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین مقاومت به ضربه مواد مرکب دارای ۵٪ و ۱۰٪ لیگنین کرافت مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: مواد مرکب چوب- پلاستیک، سازگارکننده، لیگنین کرافت، مقاومت‌های مکانیکی، جذب آب، روش اختلاط فیزیکی

## مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از مواد مرکب به‌ویژه مواد مرکب با زمینه پلیمری رشد سریعی داشته است. عامل اصلی توسعه استفاده از این مواد خواص بهینه آن نسبت به اجزای تشکیل‌دهنده آنها می‌باشد. امروزه ماده مرکب تولید شده از پلیمر و الیاف یا آرد چوب یکی از مواد شناخته شده و پرمصرف در صنایع اتومبیل‌سازی دنیا می‌باشد. به نحوی که برخی شرکت‌های بزرگ اتومبیل‌سازی فناوری این نوع مواد مرکب را به طور انحصاری در اختیار دارند (مؤسسه کامپوزیت ایران، ۱۳۸۰). استفاده از الیاف یا آرد چوب مقرون به صرفه بوده و به راحتی می‌تواند جایگزین انواع محصول‌های پلیمری خام و گران‌قیمت شود. قابلیت‌های فیزیکی و مکانیکی این نوع ماده مرکب از یک طرف شبیه به چوب خام و از طرف دیگر فرایندپذیری آنها شبیه مواد گرمانرم می‌باشد که در نتیجه موجب عرضه محصولات جدید و متنوعی به بازار می‌گردد. مواد مرکب چوب-پلاستیک دارای پایداری نسبی در برابر آب و تغییرات جوی و مقاومت بالا نسبت به قارچ و حشرات هستند. از دیگر مزایای این مواد مرکب می‌توان به خاصیت عایق صوتی و حرارتی آنها (با افزایش درصد چوب) و همچنین امکان استفاده از مواد کم‌ارزش و ضایعاتی در ساخت آنها اشاره نمود (Chowdhury and Wolcott., 2007).

از نظر شیمیایی به دلیل اینکه ماده لیگنوسلولزی دارای ماهیت قطبی و آبدوست می‌باشد و پلیمرها ماهیت غیر قطبی و آبگریز دارند اتصال مناسبی بین این دو فاز در حالت عادی انجام نمی‌شود. به همین دلیل از مواد سازگارکننده<sup>۱</sup> به منظور بهبود تشکیل پیوند شیمیایی بین

این دو فاز استفاده می‌شود. استفاده از سازگارکننده‌ها و یا عوامل اتصال‌دهنده نه تنها سبب بهبود سازگاری و ایجاد اتصال بین پرکننده طبیعی و پلیمر می‌گردد، بلکه تأثیر مثبت و قابل ملاحظه‌ای بر کاهش جذب آب و بهبود خواص مکانیکی مواد مرکب چوب-پلاستیک دارد (Kazemi Najafi et al., 2007; Kazemi Najafi, et al., 2007b and Lu et al., 2000).

طی دو دهه اخیر تلاش‌های فراوانی برای بهبود مقاومت سطح اتصال پلیمر با پرکننده‌های طبیعی انجام شده 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 انیدریدمالئیک (MAPP)<sup>۲</sup> و پلی‌اتیلن اصلاح شده با انیدریدمالئیک (MAPE)<sup>۳</sup> هستند (Lu et al., 2000). از بین همه اتصال‌دهنده‌ها، پلیمرهای اصلاح شده با انیدریدمالئیک به دلیل کارایی بهتر، بیشتر از سایرین مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌اند (Chowdhury and Wolcott., 2007). با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در این زمینه، یافتن ماده یا موادی جدید که بتواند سازگاری بیشتری بین چوب و پلاستیک به‌وجود آورد و یا با هزینه کمتری استفاده شوند، همچنان مورد توجه محققان صنعت چوب-پلاستیک می‌باشد.

از سوی دیگر، درشت مولکول لیگنین به دلیل دارا بودن گروه‌های واکنش‌پذیر فراوان (مانند گروه‌های هیدروکسیل آلیفاتیک و حلقه آروماتیک)، گروه‌های متوکسیل) در ساختار خود، یک پلیمر طبیعی خاص دارای گروه‌های فعال قطبی و غیرقطبی می‌باشد (Rozman et

2- Maleic anhydride polypropylene

3 - Maleic anhydride polyethylene

1 - Compatibilizer

## مواد و روشها

### پلیمر

در این پژوهش، از پلی پروپیلن محصول پلی نار تبریز با درجه SI-080 استفاده شد. شاخص جریان مذاب پلی- پروپیلن مورد استفاده طبق آیین نامه 98-1238D استاندارد ASTM در دمای 230 °C و با وزنه 2/16 kg اندازه گیری شد که در حدود 9 g/10 min بود.

### سازگارکننده

- پلی پروپیلن مالئیک دار شده (MAPP): ساخت شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب 10 g/10 min (وزنه 2/16 و 230 °C) و 1/1 درصد مالئیک انیدرید پیوند خورده به عنوان سازگارکننده استفاده شده است.

- لیگنین کرافت: لیگنین مورد نیاز با استفاده از روش رسوب دهی توسط اسید سولفوریک در pH برابر 2 (Lin., 1992) از لیکورسیاه کرافت کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) استخراج شد.

### ماده لیگنوسلولزی

خاک اره راش از کارگاه نجاری شرکت صنایع چوب پلی فرم تهیه و توسط اجاق کارگاهی خشک شده و از مش 60/-+ گذرانده شده و به عنوان پُرکننده در ساخت مواد مرکب استفاده گردید.

### روش اختلاط لیگنین با آرد چوب

در این روش پودر لیگنین کرافت استخراج شده از لیکورسیاه با روش اختلاط فیزیکی (با همزن آزمایشگاهی) با نسبت های 2، 5 و 10 درصد (براساس وزن خشک آرد چوب) با آرد چوب مخلوط شد. بعد

(al., 2000). لیگنین می تواند از منابع مختلف از قبیل چوب، گیاهان غیر چوبی و لیکور سیاه و با روش های مختلف تهیه گردد. یکی از منابع مهم لیگنین، لیکور سیاه موجود در کارخانه های 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. کارخانه هایی که از فرایند کرافت برای ساخت کاغذ استفاده می کنند هر ساله مقدار قابل توجهی لیکور سیاه تولید می کنند که بیشتر آنها تنها به مصرف سوخت می رسند و تنها 2٪ آن به مصرف های دیگر اختصاص می یابد (Lu et al., 2000). امروزه پیدا نمودن کاربرد جدید و با ارزش افزوده بیشتر برای لیکور سیاه کارخانه های کاغذسازی توجه بسیاری از محققان این صنعت را به سمت خود جلب کرده است. در مقایسه با لیگنین طبیعی معمولاً لیگنین کرافت تعداد بیشتری گروه های هیدروکسیل فنولی و گروه های کربونیل دارد (میرشکرایی، 1386). در این لیگنین به جای پیوندهای دوگانه از نوع کانفیریل الکل که بر اثر پخت به طور کامل از بین می روند، پیوندهای دوگانه جدیدی از نوع استیرنی و استیلبنی ایجاد می شود (میرشکرایی، 1386). ساختار لیگنین کرافت بسیار پیچیده است و با توجه به گونه چوب و شرایط پخت تغییر می کند. از سوی دیگر ساختار لیگنین موجود در لیکور سیاه که در طی فرایند پخت از دیواره الیاف خارج می شود، به شدت به نوع فرایند مورد استفاده برای لیگنین زدایی بستگی دارد (میرشکرایی، 1386). هدف از این تحقیق، بررسی کارایی لیگنین حاصل از لیکورسیاه فرایند خمیرسازی کرافت به عنوان عامل ایجادکننده سازگاری بین دو ترکیب پلیمر (پلی پروپیلن) و ماده لیگنوسلولزی می باشد.

مخلوط آرد چوب- لیگنین با پلی پروپیلن (با نسبت وزنی ۶۰ به ۴۰) و در شرایط عدم حضور و با ۲٪ سازگارکننده مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP) مخلوط شدند (مطابق جدول ۱).

جدول ۱- نحوه ترکیب مواد برای ساخت نمونه‌های چوب پلاستیک

لیگنین <sup>۱</sup> (%)	مالئیک انیدرید پلی پروپیلن (%)	پلی پروپیلن (%)	خاک اره <sup>۲</sup> (%)
۰	۰	۴۰	۶۰
۲	۰	۴۰	۶۰
۵	۰	۴۰	۶۰
۱۰	۰	۴۰	۶۰
۰	۲	۳۸	۶۰
۲	۲	۳۸	۶۰
۵	۲	۳۸	۶۰
۱۰	۲	۳۸	۶۰

۱- درصدهای ارائه شده نسبت به وزن خشک خاک اره می‌باشد.

۲- درصدهای ارائه شده مربوط به مجموع لیگنین و خاک اره می‌باشد.

### ساخت نمونه‌های آزمونی

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

### اندازه‌گیری جذب آب کوتاه مدت

جذب آب کوتاه مدت نمونه‌های آزمونی مطابق آیین‌نامه D ۷۰۳۱-۰۴ استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا از هر اختلاط پنج نمونه به ابعاد ۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر تهیه گردید و بعد این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰±۱ در آن خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند و بعد در آب مقطر (در دمای اتاق) غوطه‌ور شدند. وزن نمونه‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری مجدداً اندازه‌گیری گردید. در هر بار اندازه‌گیری پس از خروج نمونه‌ها و قبل از توزین سطح آنها به وسیله دستمال نم‌گیر خشک گردید. سپس مقدار جذب آب بر طبق رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$WA(t) = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

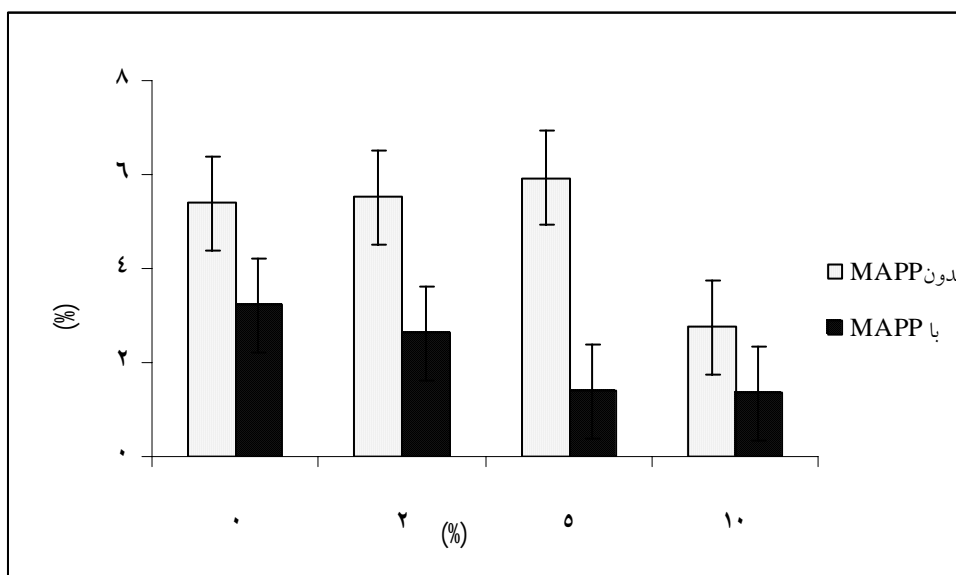
$WA(t)$  = مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری  $t$  (%),  $W_t$  = وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری  $t$  (g)  
 $W_o$  = وزن خشک نمونه‌ها قبل از غوطه‌وری (g)

### اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون خمش سه نقطه‌ای با طول دهانه ۱۱ cm 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 مدل Instron-4486 استفاده گردید. آزمون ضربه بدون فاق مطابق با استاندارد ASTM (D256) انجام شد. از دستگاه آزمون نوع IZOD برای آزمون ضربه استفاده گردید.

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمایش فاکتوریل 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.



شکل ۱- اثر سازگارکنندگی لیگنین روی جذب آب ۲ ساعته مواد مرکب چوب-پلاستیک

### نتایج

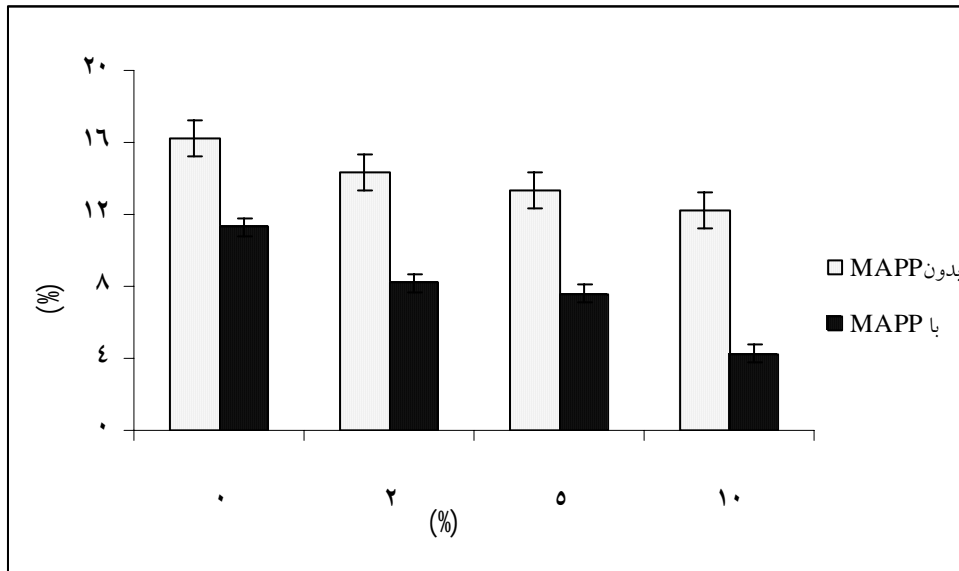
#### جذب آب کوتاه مدت

شکل ۱ و ۲ اثر لیگنین بر روی جذب آب کوتاه مدت (۲ و ۲۴ ساعت) مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد

مطالعه را نشان می‌دهند. همان طوری که مشاهده می‌شود، هم در مواد مرکب دارای سازگارکننده و هم بدون آن، با افزایش درصد لیگنین از ۲ به ۱۰ درصد، جذب آب کوتاه مدت نمونه‌های آزمون به طور پیوسته کاهش می‌یابد، به

نشان می‌دهند که با افزودن MAPP، جذب آب کلیه مواد مرکب مورد مطالعه به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

طوری که نمونه‌های دارای ۱۰ درصد لیگنین کمترین میزان جذب آب را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، این نمودارها

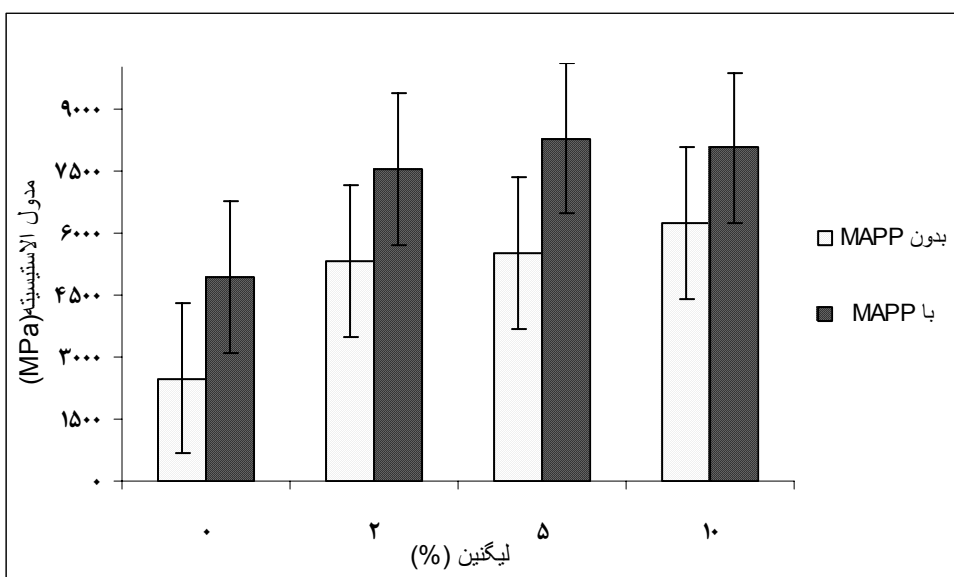


شکل ۲- اثر سازگارکنندگی لیگنین روی جذب آب ۲۴ ساعته مواد مرکب چوب-پلاستیک

#### مدول الاستیسیته

پلی‌پروپیلن، با افزودن ۲٪ لیگنین کرافت مدول الاستیسیته مواد مرکب ۵۲٪ افزایش می‌یابد. بنابراین با افزودن ۵٪ و ۱۰٪ لیگنین کرافت نیز مدول الاستیسیته مواد مرکب چوب-پلاستیک به ترتیب ۵۴ و ۶۰٪ افزایش نشان می‌دهد. نکته جالب توجه اینکه در مقایسه نمونه‌های ساخته شده با استفاده از ۲٪ مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن، نمونه‌های ساخته شده با ۲٪ لیگنین کرافت، مدول الاستیسیته بیشتری را نشان می‌دهند. از سوی دیگر شکل ۳ نشان می‌دهد که در همه درصدهای لیگنین کرافت مورد استفاده، افزودن MAPP موجب افزایش مدول الاستیسیته مواد مرکب مورد مطالعه می‌گردد.

اثر استفاده از مقادیر مختلف لیگنین کرافت در ترکیب مواد مرکب چوب-پلاستیک در حضور و عدم حضور سازگارکننده انیدریدمالئیک - پلی‌پروپیلن روی مدول الاستیسیته نمونه‌های آزمونی در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طوری که در این شکل ملاحظه می‌گردد، در نمونه‌های آزمونی ساخته شده با استفاده از MAPP، افزودن ۲٪ لیگنین کرافت، مدول الاستیسیته این مواد مرکب را به طور قابل ملاحظه‌ای (۳۴٪) افزایش داده است. افزودن ۵٪ و ۱۰٪ لیگنین کرافت نیز به ترتیب موجب افزایش ۴۰ و ۳۸ درصدی مدول الاستیسیته گردیده است. در شرایط عدم استفاده از سازگارکننده انیدریدمالئیک -



شکل ۳- اثر سازگارکنندگی لیگنین روی مدول الاستیسیته مواد مرکب چوب-پلاستیک

### مقاومت خمشی

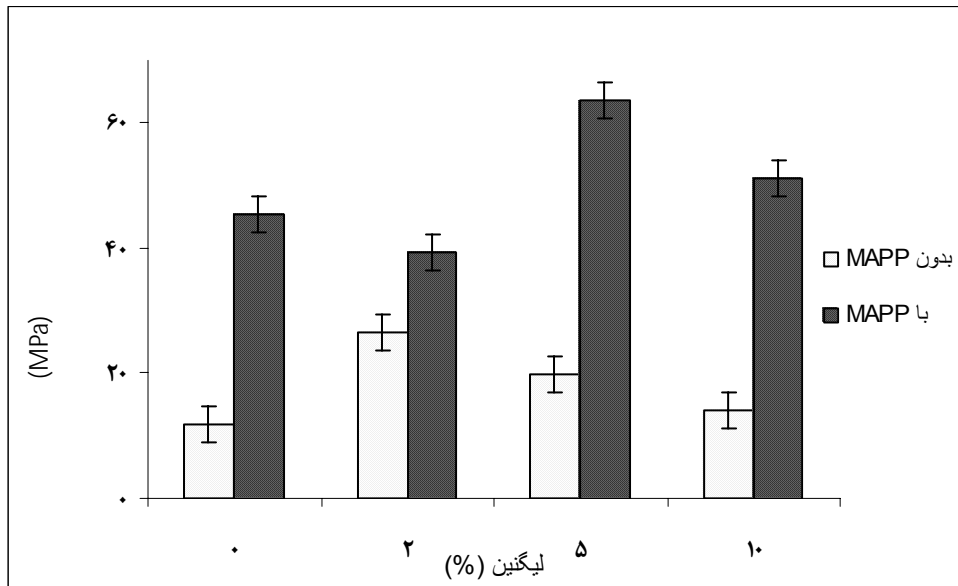
شکل ۴ اثر استفاده از لیگنین کرافت روی مقاومت خمشی مواد مرکب چوب-پلاستیک در حضور و عدم حضور سازگارکننده انیدریدمالئیک-پلی پروپیلن را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد در همه درصدهای لیگنین کرافت مورد استفاده، کلیه نمونه‌های آزمونی که در حضور سازگارکننده انیدریدمالئیک-پلی پروپیلن ساخته شده‌اند، مقاومت خمشی بیشتری را نشان می‌دهند. در نمونه‌های آزمونی ساخته شده بدون استفاده از این سازگارکننده، با افزودن ۲، ۵ و ۱۰ درصد لیگنین کرافت، مقاومت خمشی این مواد مرکب به ترتیب ۵۵، ۴۰ و ۱۷ درصد افزایش می‌یابد. به طوری که در شرایط استفاده از سازگارکننده MAPP، افزودن ۲٪ لیگنین کرافت باعث کاهش ۱۵ درصدی مقاومت خمشی نمونه‌های آزمونی شده است، اما با افزایش درصد لیگنین کرافت به میزان ۵ و ۱۰ درصد، مقاومت خمشی مواد مرکب چوب-پلاستیک به ترتیب ۲۸

و ۱۱ درصد افزایش یافته است. بنابراین در حضور و عدم حضور MAPP مواد مرکب دارای به ترتیب ۵ و ۲٪ لیگنین کرافت بالاترین میزان مقاومت خمشی را نشان دادند. به نحوی که در نمونه‌های آزمونی تهیه شده، از نظر آماری مقاومت خمشی آنها به طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بوده است.

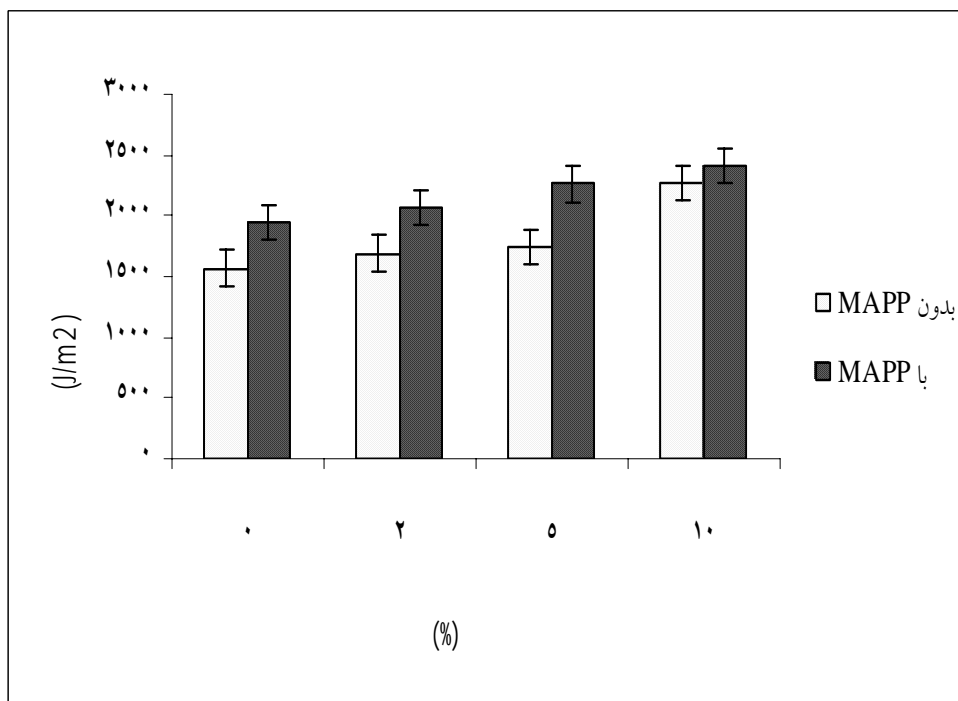
### مقاومت به ضربه

در شکل ۵ اثر لیگنین روی مقاومت به ضربه بدون فاق مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد مطالعه در حضور و عدم حضور سازگارکننده انیدریدمالئیک-پلی پروپیلن نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که در یک درصد ثابت سازگارکننده، با افزایش درصد لیگنین کرافت، مقاومت به ضربه مواد مرکب چوب-پلاستیک به طور پیوسته افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین مقدار مقاومت به ضربه در مواد مرکب دارای ۱۰٪ لیگنین کرافت مشاهده می‌شود. همچنین در همه درصدهای لیگنین

کرافت مورد استفاده، افزودن سازگارکننده انیدرید-  
مالئیک پلی پروپیلن سبب افزایش مقاومت به ضربه مواد  
مرکب چوب- پلاستیک می‌گردد.



شکل ۴- اثر سازگارکنندگی لیگنین روی مقاومت خمشی مواد مرکب چوب- پلاستیک



شکل ۵- اثر سازگارکنندگی لیگنین روی مقاومت به ضربه مواد مرکب چوب- پلاستیک



## بحث

جذب آب به عنوان یک عامل محدود کننده در کاربرد نهایی مواد مرکب چوب-پلاستیک محسوب می‌گردد، زیرا کلیه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این مواد مرکب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جذب رطوبت و آب در مواد مرکب چوب-پلاستیک عمدتاً به دلیل حضور حفره‌ها، شکاف‌ها، منافذ ریز، گروه‌های هیدروکسیل آزاد موجود در مادهٔ پرکننده لیگنوسلولزی، ترک‌ها و فضای بین فازی بین پلیمر و پرکننده می‌باشد (کاظمی نجفی و همکاران، ۱۳۸۸). در مورد چگونگی اثر لیگنین کرافت روی کاهش جذب آب در مواد مرکب چوب-پلاستیک می‌توان گفت این پدیده اساساً به ماهیت جذب آب ضعیف لیگنین مربوط می‌شود. در واقع جایگزینی لیگنین کرافت که دارای قابلیت جذب آب ضعیف می‌باشد به جای کربوهیدرات‌های آبدوست در ترکیب مواد مرکب تولید شده باعث کاهش جذب آب این مواد مرکب گردیده است. بنابراین استفاده از لیگنین در تحقیق Rozman و همکاران (۲۰۰۰) روی مواد مرکب الیاف نارگیل-پلی‌پروپیلن نیز نتیجه مشابهی را نشان داده است. این محققان کاهش جذب آب با افزودن لیگنین کرافت به مواد مرکب را به دلیل ایجاد انسداد در حفرات و منافذ سلولی توسط مولکول‌های درشت لیگنین عنوان نموده‌اند. همچنین در تحقیق دیگری Timothy و همکاران (۲۰۰۳)، از لیگنین پیوند خورده با پلیمر به عنوان ماده آگریز در ساخت ماده مرکب چوب-پلاستیک استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که لیگنین می‌تواند میزان جذب آب و اکسیدگی ضخامت این ماده مرکب را کاهش دهد.

همچنین استفاده از سازگارکننده MAPP به عنوان یک عامل اتصال‌دهندهٔ فعال، باعث پراکنش بهتر و یکنواخت‌تر

آرد چوب در ماتریس پلی‌پروپیلن و همچنین بهبود اتصال سطح مشترک بین آرد چوب قطبی و پلی‌پروپیلن غیرقطبی می‌شود که احتمالاً از طریق تشکیل پیوندهای کووالانسی بین انیدریدمالئیک و گروه‌های هیدروکسیل اجزای پلیمری چوب انجام می‌شود. علاوه بر این، سازگارکننده سبب می‌شود که پوشش آرد چوب به وسیلهٔ پلی‌پروپیلن بهتر انجام شود و ضمن کاهش دسترس‌پذیری آرد چوب به آب، از جذب آب بوسیله دیواره‌های سلول کاسته شود که منجر به کاهش جذب آب مواد مرکب چوب-پلاستیک می‌شود. کاهش جذب آب مواد مرکب چوب-پلاستیک با افزودن MAPP توسط محققان زیادی گزارش شده است (کاظمی نجفی و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج آزمون جذب آب مواد مرکب چوب-پلاستیک نشان داد که لیگنین کرافت و سازگارکننده انیدریدمالئیک - پلی‌پروپیلن موجب بهبود اتصال‌ها بین پلیمر و خاک‌اره شده و با کاهش فضاهای خالی موجب کاهش جذب آب مواد مرکب چوب-پلاستیک می‌گردد.

مدول الاستیسیتهٔ مواد مرکب تحت تأثیر مدول الاستیسیته مواد تشکیل‌دهنده آنها و پیوند بین اجزای تشکیل‌دهنده آن و دانسیته مواد مرکب می‌باشد (یونسی کردخیلی و همکاران، ۱۳۸۸)، بنابراین در شرایطی که نسبت ترکیب پلی‌پروپیلن، آرد چوب و سازگارکننده انیدریدمالئیک - پلی‌پروپیلن ثابت می‌باشد، افزایش مدول الاستیسیته این مواد مرکب را می‌توان به اثر سازگارکنندگی لیگنین کرافت نسبت داد. همچنین لیگنین کرافت به عنوان یک مادهٔ نیمه قطبی که دارای مقادیر بالای گروه‌های فعال می‌باشد توانایی پیوند و اتصال با چندین مولکول دیگر را نیز دارد که این امر موجب افزایش چسبندگی بیشتر بین اجزای مواد مرکب می‌شود و در نتیجه موجب افزایش مدول الاستیسیته مواد مرکب چوب-پلاستیک

می‌گردد. از سوی دیگر لیگنین کرافت به دلیل دارا بودن مقدار زیادتر گروه‌های فعال، توانایی افزایش صلیبیت مواد مرکب می‌گردد. به همین دلیل مدول الاستیسته مواد مرکب دارای لیگنین بیشتر از مواد مرکب بدون لیگنین می‌باشد. Toriz و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان دادند که اختلاط لیگنین با پلی‌پروپیلن منجر به افزایش مدول الاستیسته ماده مرکب بدست آمده در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص می‌شود.

سازگارکننده MAPP نیز با کاهش انرژی سطحی آرد چوب و نزدیک کردن انرژی سطحی آن به انرژی سطحی پلی‌پروپیلن سبب ترشوندگی بهتر آرد چوب توسط پلی‌پروپیلن می‌شود که نتیجه آن افزایش چسبندگی در مرحله میانی پرکننده‌ها و ماده زمینه پلیمری و همچنین افزایش روانی ماده زمینه پلیمری می‌باشد. افزایش مدول الاستیسته با افزودن MAPP توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است ( یونسی کردخیلی و کاظمی نجفی، ۱۳۸۸؛ Chowdhury and wolcott., 2007).

مقاومت خمشی مواد مرکب تحت تأثیر پیوند بین اجزای تشکیل‌دهنده آن است، در شرایطی که مقدار پلی‌پروپیلن و آرد چوب و MAPP ثابت می‌باشد افزایش مقاومت خمشی این مواد مرکب را می‌توان به لیگنین نسبت داد. حضور لیگنین کرافت در ترکیب مواد مرکب چوب - پلاستیک، سازگاری و اتصال بین مواد سلولزی (قطبی) و پلیمر (غیرقطبی) را افزایش داده و با ایجاد پیوندهای کووالانس با گروه‌های هیدروکسیل سطوح مواد سلولزی (آردچوب) (میرشکرایی، ۱۳۸۶) برهم‌کنش و چسبندگی بین ماده لیگنوسلولزی و پلیمر را افزایش داده و در نتیجه انتقال تنش از ماده زمینه (پلیمر) به مواد سلولزی بهتر انجام می‌گیرد و مقاومت خمشی افزایش می‌یابد. در مورد کاهش مقاومت خمشی مواد مرکب از ۵ به

۱۰ درصد در مواد مرکب دارای MAPP و از ۲ به ۱۰ درصد در مواد مرکب بدون MAPP، احتمالاً وقتی که مقدار لیگنین کرافت بیشتر از مقدار مورد نیاز باشد دیگر ارتباط مناسبی بین گروه‌های قطبی و غیر قطبی آن با ماده پرکننده و پلیمر برقرار نمی‌شود و این مسئله باعث می‌شود که افزودن لیگنین بیش از یک مقدار مشخص موجب افزایش چسبندگی در مواد مرکب نشود. از سوی دیگر، افزودن سازگارکننده MAPP نیز موجب بهبود بیشتر چسبندگی سطح مشترک اجزای مواد مرکب می‌شود و در نتیجه باعث بهبود مقاومت خمشی می‌گردد.

نتایج تحقیقات Rozman و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان داد که مواد مرکب حاوی لیگنین کرافت ویژگی‌های خمشی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند. Toriz و همکاران (۲۰۰۲) نیز از لیگنین همراه با پرکننده‌های معدنی در تولید مواد مرکب استفاده کردند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که کلیه ویژگی‌های خمشی این مواد مرکب با افزایش میزان لیگنین افزایش می‌یابد.

به طوری که مقاومت به ضربه بدون فاق نشان‌دهنده مقاومت ماده در برابر شکست و شروع ترک می‌باشد و ترک همیشه در ضعیف‌ترین نقطه ماده مرکب، یعنی سطح مشترک اتصال بین ماده لیگنوسلولزی و پلیمر اتفاق می‌افتد. مقاومت به ضربه هر پلاستیک تقویت شده با ذرات، به نوع پلیمر، ماده تقویت‌کننده و آرایش ذرات و نحوه اتصال آنها به فاز پلیمری بستگی دارد (Andrzej et al., 2004). افزایش مقاومت به ضربه مواد مرکب احتمالاً به واسطه بهبود سطح اتصال‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری مواد مرکب مورد مطالعه با افزایش میزان لیگنین و MAPP بوده که موجب عدم تراکم تنش در ماده مرکب چوب-پلاستیک شده و در نتیجه سبب افزایش مقاومت به ضربه می‌گردد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر لیگنین کرافت به عنوان سازگارکننده روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب چوب-پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به طور کلی لیگنین کرافت سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی (جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت) و مکانیکی (مدول الاستیسیته، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه) مواد مرکب چوب-پلاستیک می‌گردد. نکته جالب توجه در نتایج این تحقیق، آن است که تقریباً در کلیه تیمارها با افزودن لیگنین کرافت و سازگارکننده MAPP به صورت همزمان به مواد مرکب چوب-پلاستیک، ویژگی‌های مقاومتی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این نتایج حکایت از آن داشت که لیگنین کرافت و MAPP می‌توانند به طور مکمل به عنوان سازگارکننده در مواد مرکب آرد چوب-پلی‌پروپیلن مورد استفاده قرار گیرند.

## منابع مورد استفاده

- چوب-پلاستیک. مجله انجمن علوم و صنایع چوب و کاغذ. در دست چاپ.
- American Society for Testing and Material, 1998. ASTM D70-90: Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products. West Conshohocken, Pa. USA.
- American society for testing and material, ASTM D256-90b, West Conshohocken, Pa. USA. 1990.
- Andrzej K. Bledzki, Faruk O. 2004 Creep and impact properties of wood fibre-polypropylene composites: influence of temperature and moisture content, Composites Science and Technology 64 693-700.
- Chowdhury M., Wolcott M., 2007. Compatibilizer Selection to Improve Mechanical and Moisture Properties of Extruded Wood-HDPE Composites. Forest Products Journal, 57 (9): 46-53.
- Kazemi Najafi, S., Kiaefar, A. Tajvidi, M. and Hamidina, E. 2007a. Hygroscopic thickness swelling rate of composites from sawdust and recycled Plastics. Wood Science and Technology, DOI 10.1007/s00226-007-0163-4.
- Kazemi Najafi, S., Kiaefar, A., Tajvidi, M. and Hamidina, E. 2007b. Water absorption behavior of vomposites from sawdust and recycled plastics. Journal of Reinforced Plastic and Composites, 26(3), 341-348.
- lin, Y.S., Dence, C.V. 1992. Methods in lignin chemistry Springer-Verlag (Berlin, New York). Pp 578.
- Lu Z., Wu Q., Mc Nabb S., 2000. Chemical Coupling in Wood Fiber and Polymer Composites: A Review of Coupling Agents and Treatments. Wood and Fiber Science, 32 (1): 88-104.
- Rozman H.D., Tan K.W., Kumar R.N., Abubakar A., Ishak Mohd., Ismail H., 2000: The Effect of Lignin as a Compatibilizers on the Physical Properties of Coconut Fiber-Polypropylene Composites. European Polymer Journal, 36(7) : 1483-1494.
- Timothy, A., Vipul, S., Meng-jiu, C., and John, J.M., 2003. Graft copolymers of lignin as hydrophobic agents for plastic (Wood-Filled) composites. Journal of Applied Polymer Science, 89: 1266-1276.
- Toriz, G., Denes, F., and Young, R. A. 2002. Lignin-polypropylene composites. Part 1: Composites from unmodified lignin and polypropylene. Journal of Polymer Composites, 23 (5).
- Standard testing methods for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastomer. Annual Book of ASTM Standard, D1238-98, 1998.
- Standard testing methods for Evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. Annual Book of ASTM Standard, D 7031-04, 2004.

- کاظمی نجفی س، یونسی کردخیلی ح، نصیری ر. ۱۳۸۸. تاثیر آب دریا روی عملکرد سازگارکننده در رفتار جذب آب چند سازه آردچوب - پلی‌پروپیلن. مجله منابع طبیعی ایران. (۳) ۶۲، ۳۱۰-۳۰۱.
- موسسه کامپوزیت ایران، کامپوزیت‌ها چیستند؟ کامپوزیت، بهار ۱۳۸۰.
- میرشکرایی ا، ۱۳۸۶. شیمی چوب-مبانی و کاربردها (ترجمه)، انتشارات آبیژ، تهران، صص: ۱۶۰-۱۵۵.
- یونسی کردخیلی ح، کاظمی نجفی س. ۱۳۸۸. تاثیر آب دریای خزر و خلیج فارس روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب چوب-پلاستیک، یازدهمین همایش صنایع دریایی، کیش.
- یونسی کردخیلی ح، بهروز ر، کاظمی نجفی س. ۱۳۸۸. اثر روش اختلاط لیگنین روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب

## Use of kraft lignin as compatibilizer in wood flour-polypropylene Composites

Behrooz, R.<sup>1\*</sup>, Younesi Kordkheili, H.<sup>2</sup> and Kazemi Najafi, S.<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author ,Assistant professor of Wood and Paper Sciences and Technology Department, Tarbiat Modares University. Email: Rabi.behrooz.ac.ir

2- PhD Student of Wood and Paper Sciences and Technology Department, Tarbiat Modares University: email: hamed\_younesi@yahoo.com

3-Associated professor of Wood and Paper Sciences and Technology Department, Tarbiat Modares University: Skazemi@modares.ac.ir

Received: Dec., 2010

Accepted: Jan., 2011

### Abstract

Effect of Kraft lignin as a compatibilizer on the short-term water absorption (2 and 24 hours) and mechanical properties of wood flour-polypropylene composites was studied. The black liquor of Chooka pulp and paper mill was acidified and Kraft lignin was extracted by precipitation. The extracted lignin at three levels of 2, 5 and 10 percent was mixed with wood flour by physical mixing method. All materials used were oven-dried. Wood flour, lignin and PP with or without MAPP were used to produce composites by flat hot press method. The results of this study indicated that generally lignin improved physical (short term water absorption) and mechanical properties (flexural modulus, flexural strength and impact strength). The bending test result showed that without MAPP, the composites with 2 and 10 percent lignin exhibited higher flexural modulus and strength, respectively. But at the presence of compatibilizer, the composites with 5 percent lignin exhibited the highest flexural modulus and strength. The composite with 2 percent of lignin exhibited higher flexural modulus and short-term water absorption rather than the composites with 2% MAPP. This result indicated positive effect of lignin in the composites. Also the composites with 10 percent lignin exhibited the highest impact strength and short-term water absorption. But there were no significant difference between the impact strength of composites with 5 and 10 percent lignin.

**Keywords:** wood- plastic composites, compatibilizer, Kraft lignin, mechanical properties, water absorption, physical mixing method.