

## تأثیر مقدار لیگنین الیاف بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه الیاف چوب - پلی پروپیلن

پوریا رضایی نیارکی<sup>۱</sup>، احمد جهان لتیباری<sup>۲\*</sup>، آژنگ تاج دینی<sup>۱</sup> و مهران روح نیا<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

نویسنده مسئول: [latibari@kiau.ac.ir](mailto:latibari@kiau.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۱

### چکیده

تأثیر مقدار لیگنین الیاف و مقدار ماده سازگارکننده بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه الیاف سلولزی و پروپیلن بررسی شد. در این تحقیق الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه با مقدار لیگنین به ترتیب ۷، ۲۶/۵، ۳۷/۸ و ۷۷/۲ درصد تهیه شدند. سپس الیاف توسط دستگاه اکسترودر با پلی پروپیلن به نسبت ۲۰ درصد الیاف و حدود ۷۷ درصد پلی پروپیلن ترکیب شده و بعد از آسیاب کردن نمونه‌های آزمایشی توسط دستگاه تزریق ساخته شدند. از جفت‌کننده MAPP در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد استفاده شد. تعیین ویژگی‌های مقاومتی نمونه‌های چندسازه طبق دستورالعمل‌های آیین‌نامه ASTM انجام گردید. تأثیر مقدار لیگنین بر مقاومت خمشی چندسازه در سطح اعتماد آماری ۹۸ درصد معنی‌دار شده و به ترتیب کمترین و بیشترین میزان مقاومت در الیاف حاوی ۳۷/۸ درصد و ۷ درصد لیگنین به دست آمد. با بررسی عملکرد متقابل مقدار لیگنین و میزان جفت‌کننده مشخص شد که زیادترین مقدار مقاومت به کشش و مدول الاستیسیته کششی در چندسازه حاوی کمترین مقدار لیگنین (۲/۷۷ درصد) و بیشترین مقدار جفت‌کننده (۳ درصد) با مقادیر به ترتیب ۳۸/۷ و ۳۴۳۸ مگاپاسکال مشاهده شد. سایر مقاومت‌های مکانیکی نتایج مشابهی را نشان دادند که بارزترین آن افزایش قابل توجه مقاومت به ضربه با افزودن جفت‌کننده از سطح ۱ درصد تا ۳ درصد در کمترین مقدار لیگنین (۲/۷۷ درصد) است که مقدار آن از ۵۲/۸۲ به ۶۰/۲۶ J/m افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: چندسازه الیاف - پلی پروپیلن، لیگنین، MAPP، ویژگی‌های مقاومتی.

### مقدمه

ساییدگی کم، مقاومت ویژه و مدول الاستیسیته بالا و مهم‌تر از همه خاصیت تجدیدپذیری و قابلیت بازیافت آن روز به روز در بکارگیری مواد طبیعی و چوبی افزایش یافته است (Sobczak et al., 2012). اما استفاده از این پرکننده‌ها معایبی نیز دارد که مهم‌ترین آن خاصیت آبدوست بودن الیاف چوب است که در تضاد با پلیمر

کاهش سطح جنگل‌های دنیا و تبدیل آنها به مزارع کشاورزی و هزینه‌ی بالای استفاده از انواع چوب آلات صنعتی، تولید چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌عنوان یک جایگزین مناسب رشد چشمگیری داشته و به دلیل هزینه‌ی کمتر پرکننده‌های سلولزی، انتشار گازهای سمی ناچیز،

تأثیرگذار است بسیار حائز اهمیت می‌باشد و عنوان کردند لیگنین از سلولز آبریزتر است و باید دارای سازگاری بیشتری با پلیمر آبریز باشد. اما چون گروه‌های هیدروکسیل کمتری برای برقراری پیوند با جفت‌کننده دارد، تأثیر منفی بر عملکرد جفت‌کننده می‌گذارد و در مجموع با افزایش لیگنین تراکم افزایش یافته و پیوندهای داخلی کمتری تشکیل می‌شود و وجود لیگنین در سطح الیاف سبب افزایش سختی می‌گردد. Canetti و همکاران (۲۰۰۶) به اختلاط لیگنین با پلی‌پروپیلن و بعد تخریب گرمایی آن در شرایط اکسیداسیونی (حضور هوا) و در شرایط حضور نیتروژن به بررسی اثر لیگنین و نوع و تشکیل کریستال در پلی‌پروپیلن پرداختند و به دو صورت پلی‌پروپیلن به حالت کریستال از نوع آلفا و بتا رسیدند. Pouteau و همکاران (۲۰۰۳) با ترکیب انواع لیگنین بدست آمده از ساقه گندم و کاغذ لیگنین‌دار با پلی‌پروپیلن به بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی لیگنین و همچنین حلالیت آن در ماتریس پرداختند و اعلام نمودند حلالیت لیگنین در پلی‌پروپیلن بسیار پایین است، بنابراین فاکتورهایی مانند میزان فنول یا واکنش‌های مولکولی از اهمیت کمتری در مقایسه با فاکتورهای تسهیل حلالیت که شامل وزن مولکولی پایین و مقدار هیدروکسیل کمتر دارند برخوردارند (که سبب بهبود سازگاری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی لیگنین می‌شوند). Alexy و همکاران (۲۰۰۰) با ترکیب لیگنین به‌عنوان پرکننده با دو نوع متفاوت پلاستیک پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن به بررسی مقاومت مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده در مقابل تخریب و حرارت پرداختند و اعلام نمودند در هر دو نوع پلیمر با افزایش مقدار لیگنین مقاومت کششی کاهش یافت. ثبات نمونه‌ها متناسب با شاخص جریان مذاب بررسی شد و در مورد فاکتور ثبات عنوان گردید که پلی‌پروپیلن در

آب‌گریز قرار دارد و پخش مناسب الیاف در زمینه را دچار مشکل می‌کند. به‌منظور حل این مشکل محققان طی سالیان گذشته از جفت‌کننده‌های متفاوتی برای ایجاد سازگاری بین دو بخش ماتریس و الیاف چندسازه استفاده کردند که در این بین جفت‌کننده مالئیک‌انیدرید گرفت شده با پلی‌پروپیلن (MAPP) همواره به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین سازگارکننده‌های کاربردی در صنعت چوب‌پلاستیک معرفی گردیده است (Yue et al., 2011). آزمایش‌های متعددی بر تأثیر هریک از این اجزا بر مقاومت‌های چندسازه صورت گرفته است. Kim و همکاران (2007) لیگنین را نگه‌دارنده‌ی پرکننده‌ها در کنار یکدیگر و سخت‌کننده‌ی مولکول‌های سلولز دیواره‌ی سلولی معرفی و اعلام کردند. Grerova و همکاران (۲۰۰۵) لیگنین را یک آنتی‌اکسیدان بالقوه معرفی و عنوان نمودند لیگنین سازگاری بالایی با پلی‌پروپیلن دارد و با حلالیت بالای خود در زمینه قابلیت اصلاح سطح پلی‌پروپیلن کاربرد دارد. Pouteau و همکاران (۲۰۰۳) حلالیت لیگنین و پلی‌پروپیلن را بسیار پایین اعلام کرده و عنوان می‌دارند لیگنین با ساختار فنولیک خود میان شبکه‌ای از پلی‌ساکاریدهای سلولزی و همی سلولزی قرار گرفته و حلالیت ضعیفی در مواد غیر قطبی ایجاد می‌کند. Alexy و همکاران (۲۰۰۰) اعلام داشتند با افزایش مقدار لیگنین مقاومت کششی چندسازه کاهش یافت ولی وجود لیگنین تخریب چندسازه را به‌تعمیق انداخته و نقش ثبات را در پلیمر ایفا می‌کند. Yue و همکاران (۲۰۱۱) وزن مولکولی لیگنین را مانعی بر تشکیل پیوندهای عرضی و استری در زمینه دانستند. Nygarad و همکاران (۲۰۰۸) اعلام نمودند مقدار لیگنین در سطح الیاف به‌دلیل آن که لیگنین هم بر سازگاری الیاف پلیمر و هم بر عملکرد جفت‌کننده

مقایسه با پلی اتیلن بیشتر تحت تأثیر لیگنین قرار می گیرد. در خصوص پلی پروپیلن اعلام شد تا سطح ۱۰ درصد لیگنین شاخص جریان مذاب تغییر چندانی نکرد اما بالاتر از این مقدار با افزایش لیگنین شاخص جریان مذاب نیز افزایش یافت. در مورد مقاومت به کشش نمونه ها اعلام شد، به طور کلی بعد از تخریب حرارتی مقاومت کششی کاهش می یابد، اما با وجود این مشاهده شد در حالتی که درصد لیگنین در نمونه های تخریبی پلی پروپیلن بیشتر بود مقاومت کششی نمونه های حرارتی نیز افزایش یافت اما در نمونه های حاصل از پلاستیک پلی اتیلن همان روند کاهش باقیمانده است. همچنین مشاهده شد روند تخریب برای پلیمر خالص سریع تر از پلیمرهای حاوی لیگنین بود به همین دلیل نتیجه گرفتند که لیگنین نقش ثابت را در هر دو نوع پلیمر ایفا می کند. Karamaker و Youngquist (۱۹۹۶) با ترکیب پلی پروپیلن و الیاف کنف و استفاده از جفت کننده MAPP و ساخت چندسازه به روش قالب گیری تزریقی به تأثیر جفت کننده بر مقاومت های مکانیکی چندسازه ساخت شده در هنگام و در پایان مرحله ساخت پرداختند، و اعلام نمودند با افزودن جفت کننده به دلیل تشکیل پیوند استری بین گروه های انیدریدی MAPP و گروه های هیدروکسیلی الیاف سلولزی هر دو فاکتور مقاومت به خمش و مقاومت به کشش تقریباً به اندازهی دو برابر حالت بدون وجود جفت کننده افزایش یافت، ولی تأثیری بر مدول الاستیسیته و مدول خمشی نداشت. همچنین عنوان شد جفت کننده به علت ایفای دو نقش سازگار کننده و ترکندگی سبب کاهش مقاومت برش بین الیاف و همچنین بین الیاف و پلی پروپیلن گردید که در نتیجهی آن شاهد کاهش اصطکاک هنگام فرایند ساخت در چندسازه بودیم. همچنین عنوان گردید هنگامی که الیاف

بدون حضور جفت کننده به پلاستیک اضافه شدند در مقایسه با پلاستیک خالص تغییر چندانی در مقاومت به کشش آن مشاهده نشد که علت آن این گونه بیان شد که میانگین طول الیاف بدون جفت کننده بسیار کمتر از هنگام حضور جفت کننده بود و طول کم آن علت کاهش مقاومت کششی اعلام شد. Dang و همکاران (۲۰۰۸) بر بهبود خواص مکانیکی و سازگاری چندسازهی ساخته شده از الیاف چوبی اصلاح شده پلی پروپیلن تحقیق کردند و مشاهده کردند که افزودن سازگار کننده MAPP سبب افزایش مدول ذخیره در چندسازه می شود که نشانگر بهبود سختی چندسازه در دمای انتقال شیشهی پلی پروپیلن است و علت این موضوع در حرکت گروهی کمتر پلی پروپیلن به دلیل وجود الیاف چوبی ذکر شد. Kazayawoko و همکاران (۱۹۹۹) اصلاح سطح و مکانیسم چسبندگی در چندسازهی الیاف چوب- پلی پروپیلن را بررسی کردند، و اعلام نمودند که یکی از دلایل اتصال ضعیف الیاف چوب با پلاستیک وجود پیوندهای هیدروژنی قوی است که بین الیاف-الیاف وجود دارد، MAPP از طریق اتصال پیوند استری بین گروه های هیدروکسیلی الیاف و گروه های کربونیل MAPP و همچنین از راه ایجاد یک اتصال داخلی بین خود الیاف و پلی پروپیلن و تر کردن مواد چندسازه سبب پخش یکنواخت الیاف در چندسازه می شود، همچنین با مقایسهی دو نوع خمیر کاغذ رنگبری شده BKP و رنگبری نشده TMP معلوم شد که پیوند استری در TMP به علت حضور لیگنین زیاد تشکیل نشد. اما این پیوند برای BKP صورت گرفته ولی از طرفی در این مورد بیان شده که مقاومت های خمشی و کششی در TMP بیشتر از BKP بوده و چنین نتیجه گرفته اند که پیوندهای استری هیچ نقشی در خواص مکانیکی چندسازه ندارند. Bengtsson و

شده با پلی‌پروپیلن سیگماآلدریچ (MAPP) به‌منظور ساخت چندسازه الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن استفاده گردید. از هیدروکسید سدیم (NaOH) به‌منظور پخت تا مقادیر مختلف لیگنین در الیاف استفاده شد.

### لیگنین‌زدایی الیاف

در این تحقیق ۸ پخت بر روی الیاف کارتن کنگره‌ای که‌نه برای تهیه ۴ نوع الیاف با درصد لیگنین متفاوت انجام شد. پیش از پخت ابتدا الیاف کارتن به وسیله‌ی همزن کاملاً پراکنده شده و روی غربال ۳۰ مش شسته شدند، سپس این الیاف با استفاده از هیدروکسید سدیم در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد لیگنین‌زدایی شدند. پخت با دو تکرار در هر نوع الیاف به‌ترتیب ۱۰، ۳۰، ۷۰ و ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از انجام پخت الیاف حاصل مجدداً به‌منظور حذف کامل هیدروکسید سدیم بر روی غربال با اندازه‌ی سوراخ ۳۰ مش شسته شدند و عددکاپای الیاف که نشانگر مقدار لیگنین موجود در هر دسته الیاف است بر طبق دستورالعمل شماره T236om-85 آیین‌نامه Tappi انجام گردید؛ سپس مقدار لیگنین الیاف محاسبه شد.

### روش و شرایط ساخت نمونه‌ها

الیاف تا رسیدن به رطوبت ثابت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در اتو قرار داده شدند و رطوبت الیاف به ۱ درصد کاهش یافت. مقدار الیاف معادل ۲۰ درصد وزن چندسازه و مقدار MAPP بین ۱ تا ۳ درصد متغیر بوده است. بقیه چندسازه را پلی‌پروپیلن تشکیل داده است. مقدار لیگنین الیاف به‌ترتیب ۲/۷۷ درصد، ۳/۷۸ درصد، ۵/۲۶ درصد و ۷ درصد بوده است. هر ترکیب چندسازه به‌طور جداگانه توسط دستگاه اکسترودر (Collin-Zk50)

همکاران (۲۰۰۷) با بکارگیری دو نوع الیاف خمیر کاغذ رنگبری شده در پلی‌پروپیلن به همراه جفت‌کننده‌ی MAPP دو نوع چندسازه‌ی چوب‌پلاستیک تهیه و به مقایسه‌ی خواص مکانیکی آن پرداختند و اعلام نمودند که هدف اصلی از ساخت خمیرکاغذ از چوب، آزاد سازی الیاف است که می‌تواند یا به صورت شیمیایی یا به صورت مکانیکی حاصل شود. به‌طور کلی جداسازی الیاف به صورت مکانیکی سبب آسیب‌دیدگی بیشتر آنان نسبت به حالت شیمیایی می‌شود. Karimi و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از ترکیب الیاف خمیرکاغذ کرافت از چوب ممرز که تا مقادیر متفاوت لیگنین‌زدایی شده‌اند و پلی‌پروپیلن چندسازه تهیه کرده و عنوان می‌کنند که در اثر زیاد شدن میزان لیگنین‌زدایی الیاف مقاومت به کشش و مدول الاستیسیته کششی چندسازه افزایش یافته ولی تأثیری بر مقاومت به ضربه آن نداشته است.

با توجه به تأثیر ویژگی‌های شیمیایی الیاف سلولزی شامل مقدار لیگنین، در این بررسی تأثیر همزمان دو عامل مقدار لیگنین به‌عنوان نشان‌دهنده‌ی ویژگی‌های شیمیایی سطح الیاف و MAPP بر روی ویژگی‌های مقاومتی چندسازه پلی‌پروپیلن - الیاف کاغذ کنگره‌ای بازیافتی بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

در این تحقیق از الیاف بازیافتی کارتن کنگره‌ای که‌نه (OCC) و پلی‌پروپیلن Z30S ساخت شرکت پتروشیمی مارون با شاخص جریان مذاب MFI ۲۵ گرم بر ۱۰ دقیقه (وزنه‌ی ۲/۱۶ کیلوگرم، دمای مذاب ۱۵۵ درجه سانتی‌گراد) به همراه جفت‌کننده‌ی مالئیک‌انیدرید گرافت

شده است. هریک از مقادیر میانگین اندازه‌گیری از چهار نمونه چندسازه می‌باشد. تجزیه و تحلیل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد و در سطح معنی‌داری تأثیر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر ویژگی‌های مورد بررسی در جدول ۱ خلاصه شده است.

تأثیر متقابل مقدار لیگنین الیاف و MAPP بر ویژگی‌های مقاومتی شامل ویژگی‌های خمشی و کششی چندسازه الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد و تأثیر این عوامل بر مقاومت به ضربه در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). با توجه به تأثیر متقابل عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن گروه‌بندی دانکن میانگین‌ها انجام شد و نتایج در شکل‌های ۱ تا ۵ نشان داده شده است. میانگین‌های مقاومت به کشش چندسازه‌ها در چهار گروه قرار گرفته‌اند. زیاده‌ترین مقاومت به کشش در چندسازه‌ها با استفاده از الیاف حاوی کمترین مقدار لیگنین و استفاده از ۳ درصد MAPP ایجاد شده و کمترین آن در چندسازه ساخته شده با الیاف حاوی ۵/۲۶ درصد لیگنین و ۳ درصد MAPP تولید شده است. نتایج مشابهی نیز در مورد مدول الاستیسیته کششی مشاهده شده و زیاده‌ترین مدول الاستیسیته کششی در چندسازه با الیاف حاوی کمترین مقدار لیگنین و ۳ درصد MAPP اندازه‌گیری شده است (شکل ۲). البته چندسازه‌های ساخته شده با الیاف حاوی ۷ درصد لیگنین و ۲ درصد MAPP نیز مدول الاستیسیته کششی زیاده‌تری را داشته‌اند. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مدول الاستیسیته در شکل ۲ نشان داده شده است.

(Germany) با سرعت ۶۰ دور در دقیقه و نقاط دمایی به ترتیب ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۰ و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد ترکیب شده و پس از اختلاط و سرد شدن آن، نمونه‌ها در دستگاه آسیاب خرد شدند و به مدت ۲۴ ساعت در اتو نگه‌داری گردیدند. پس از آن در دستگاه تزریق ایمن ماشین (Injection molding) با شرایط دمایی به ترتیب ۱۵۵، ۱۶۰ و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد سرعت بارگیری ۴۵ rpm، فشار تزریق ۹۰ بار و زمان خنک کردن ۷۰ ثانیه به نمونه‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی تبدیل شدند.

برای تعیین مقاومت به خمش و مقاومت به کشش نمونه‌ها از دستگاه Instron 4476 بر طبق دستورالعمل ASTM-D790 (آزمون خمشی) و ASTM-D638 (آزمون کششی) با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری مقاومت به ضربه از دستگاه SANTAM SIT-20D مطابق با دستورالعمل ASTM-D256 استفاده شد.

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های این بررسی با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی تجزیه و تحلیل آماری شده و در صورت معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها، از روش گروه‌بندی چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شده است.

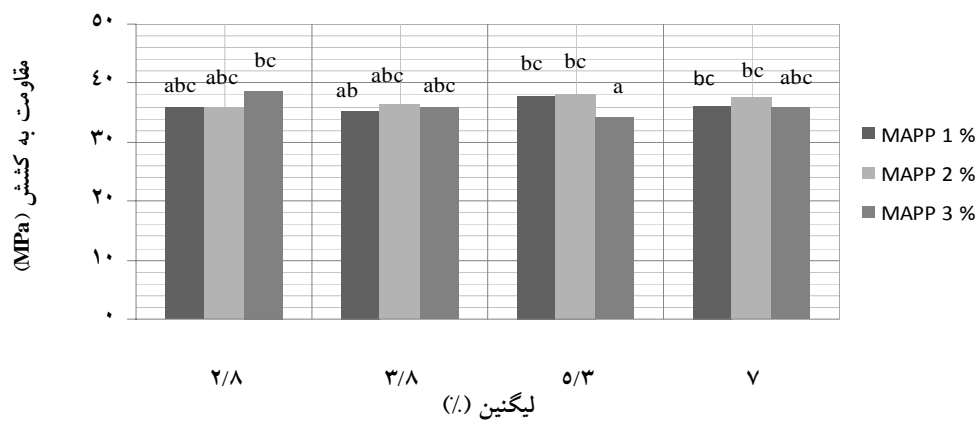
### نتایج

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی چندسازه‌های الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن که با استفاده از الیاف با مقدار لیگنین متفاوت و همچنین تغییر مقدار پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار (MAPP) ساخته‌اند در شکل‌های ۱ تا ۵ خلاصه

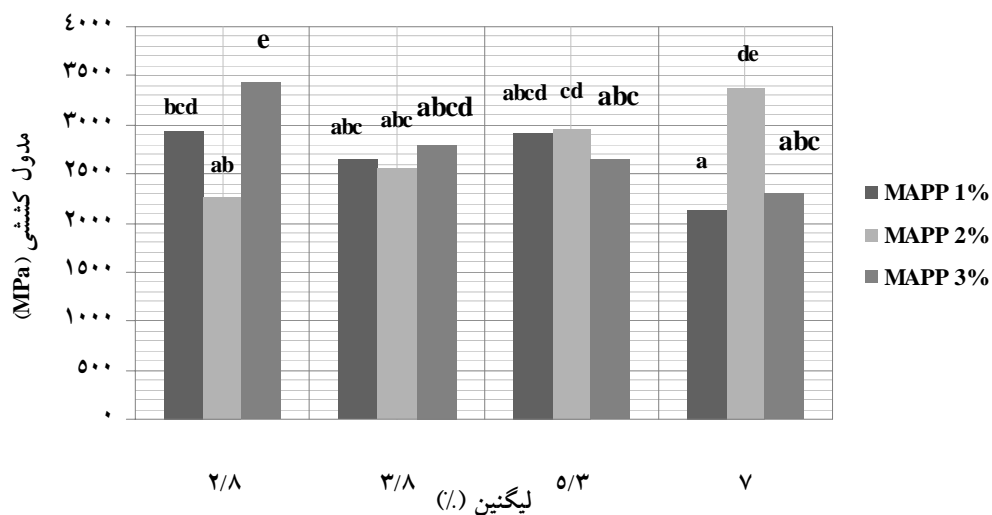
جدول ۱- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر لیگنین الیاف و MAPP بر ویژگی‌های هندسازه الیاف سلولزی- پلی پروپیلن (مقدار F و سطح معنی داری)

ویژگی	مقاومت به کشش	مدول الاستیسیته کششی	مقاومت به خمش	مدول الاستیسیته خمشی	مقاومت به ضربه
لیگنین	ns ۰/۸۴۱	ns ۲/۰۲۸	ns ۳/۸۰۸	ns ۱/۸۲۱	ns ۱/۷۹۷
MAPP	ns ۱/۳۸۴	ns ۰/۹۱۱	ns ۰/۲۰۸	ns ۴/۱۰۲	ns ۱/۷۸۳
MAPP* لیگنین	** ۳/۹۶۷	** ۱۰/۲۹۰	** ۴/۷۲۰	** ۴/۳۸۰	* ۲/۲۰۶

( سطح معنی دار: \*\* : ۹۹ درصد، \* : ۹۵ درصد، ns : معنی دار نمی باشد)

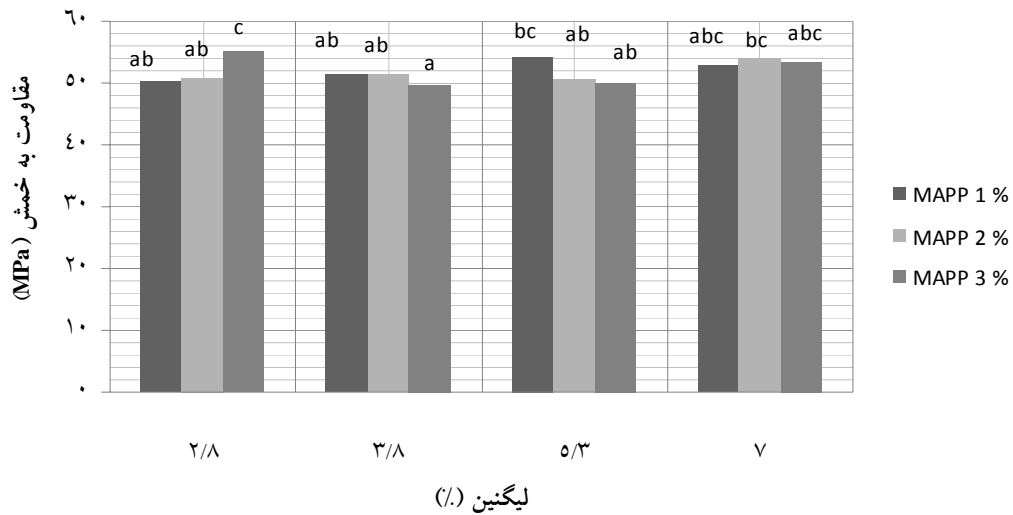


شکل ۱- تغییر مقاومت کششی هندسازه الیاف سلولزی- پلی پروپیلن در اثر تغییر مقدار لیگنین و MAPP

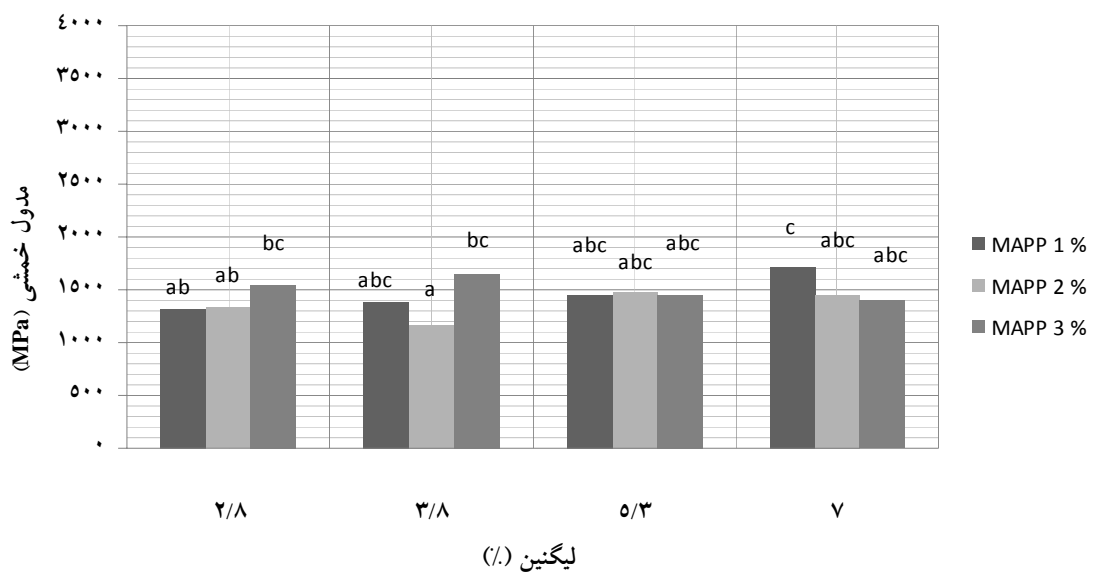


شکل ۲- تغییر مدول الاستیسیته کششی هندسازه الیاف سلولزی- پلی پروپیلن در اثر تغییر مقدار لیگنین و MAPP

تأثیر متقابل عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌های خمشی چندسازه نیز در سطح اعتماد آماری ۹۹ درصد معنی‌دار شده و گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مقاومت خمشی در شکل ۳ و مدول الاستیسیته خمشی در شکل ۴ آورده شده است.



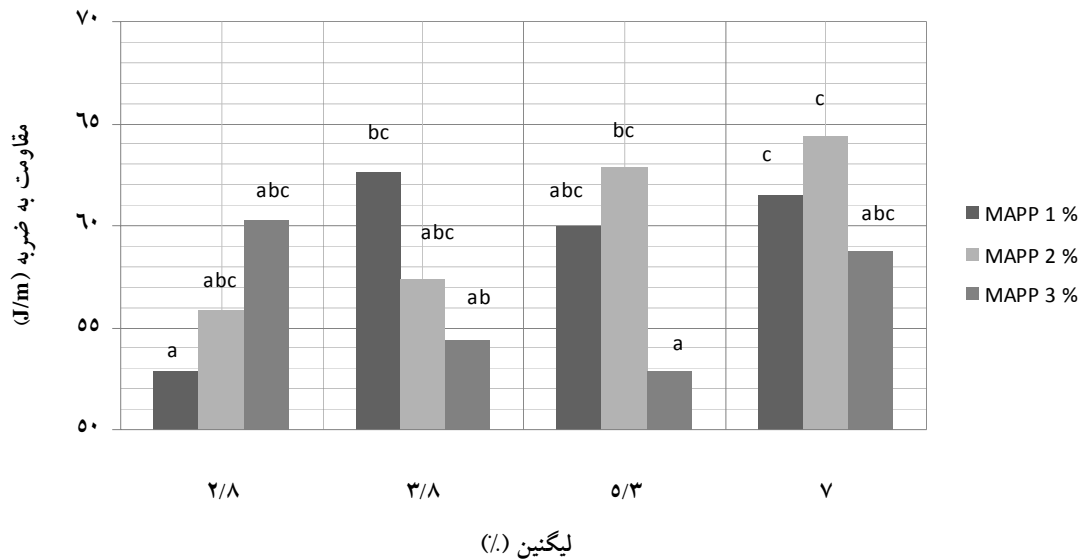
شکل ۳- تغییر مقاومت خمشی چندسازه الیاف سلولزی-پلی پروپیلن در اثر تغییر مقدار لیگنین و MAPP



شکل ۴- تغییر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه الیاف سلولزی-پلی پروپیلن در اثر تغییر مقدار لیگنین و MAPP

بررسی بیانگر نقش کاهش‌دهندگی همزمان دو عامل است. در مورد الیاف با کمترین مقدار لیگنین نقش افزودن MAPP بارزتر بوده و نشان‌دهنده ایجاد مقاومت به ضربه زیادتر است. ولی وقتی از الیاف با لیگنین زیادتر استفاده می‌شود، مقادیر کمتر MAPP به نتایج بهتری رسیده است (شکل ۵).

تأثیر متقابل عوامل مورد بررسی بر مقاومت به ضربه نمونه‌های چندسازه در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی‌دار شده و گروه‌بندی دانکن میانگین‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. تغییرات در این ویژگی در اثر تغییر عوامل مورد بررسی به وجود آمده و تأثیر متقابل دو عامل مورد



شکل ۵- تغییر مقاومت به ضربه چندسازه الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن در اثر تغییر مقدار لیگنین و MAPP

تولید چندسازه‌های مواد سلولزی و پلی‌پروپیلن دو ماده آب‌دوست و آبگریز با یکدیگر سازگاری نداشته و اتصال بین این دو ماده ضعیف بوده و لازم است از یک ماده سازگارکننده جهت انطباق آنها استفاده شود، در این تحقیق سعی شده است با تغییر میزان لیگنین، سطح الیاف سلولزی به نحوی به سوی آبگریز بودن تغییر داده شود تا نقش تعادل آبگریزی در دو ماده ارزیابی گردد. بدین منظور الیاف سلولزی با میزان لیگنین متفاوت تولید شده و در ساخت چندسازه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه ماهیت لیگنین نیز بر ویژگی‌های سطح و فرایند تشکیل اتصال تأثیرگذار خواهد بود، بنابراین در حذف

## بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی‌های مقاومتی یک چندسازه تحت تأثیر دو مؤلفه ویژگی‌های اجزاء تشکیل‌دهنده آن و ویژگی پیوند بین این اجزاء بستگی دارد. طول و استحکام ذاتی الیاف بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه تأثیرگذار هستند (Beg and Pickering 2008). با توجه به اینکه ماده اولیه سلولزی یک ماده آب‌دوست و قطبی است، مواد پلاستیکی مانند پلی‌پروپیلن، یک ماده آبگریز می‌باشد، به ناچار سعی در ایجاد شرایطی بوده است تا پتانسیل ایجاد پیوند بین دو ماده ناسازگار با یکدیگر ارتقاء داده شود (Cue et al., 2008). بنابراین عقیده عمومی بر این است که در فرایند



اندازه مولکول‌ها) لیگنین یک عامل منفی بوده و مولکول‌های با وزن مولکولی زیادتر باعث محدود کردن حلالیت می‌شوند. Peng و همکاران (۲۰۱۰) عنوان کردند که حذف لیگنین از سطح الیاف می‌تواند مقاومت حد فاصل در یک چندسازه را ارتقاء داده و مقاومت کششی آن و مقاومت چسبندگی داخلی را افزایش دهد.

Gregorava و همکاران (۲۰۰۵) با افزودن ۰/۵ و ۱۰ درصد لیگنین به پلی‌پروپیلن تازه و پلی‌پروپیلن بازیابی شده، نقش پایدارکنندگی آن در هر دو نوع پلی‌پروپیلن را مورد بررسی قرار داده‌اند و عنوان می‌کنند که با زیاد شدن مقدار لیگنین عامل حفاظت‌کنندگی آن زیادتر شده و مقاومت به حرارت آنها افزایش می‌یابد.

Alexy و همکاران (۲۰۰۰) تأثیر افزودن تا ۳۰ درصد لیگنین به پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن را بررسی کرده و عنوان کردند که افزودن لیگنین بر رفتار تخریب این پلیمرها مؤثر بوده و توانایی پایدارکنندگی دارد ولی در اثر زیاد شدن لیگنین ویژگی‌های مقاومتی پلیمر کم شده و شاخص جریان مذاب (Melt flow index) افزایش یافته است.

به‌منظور شناسایی نقش بازدارندگی یا بهبود دهندگی لیگنین در عملکرد سازگارکننده MAPP و ارتقاء ترشوندگی از مقادیر متفاوت MAPP به همراه الیاف با مقادیر متغیر لیگنین در ساخت چندسازه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در مقادیر کمتر لیگنین، در اثر افزودن مقادیر زیادتر MAPP (بین ۱ تا ۳ درصد)، مقاومت‌ها افزایش می‌یابد. ولی در مقدار لیگنین زیادتر، نقش افزودن MAPP کاهش یافته و مقاومت‌ها افت کرده‌اند. در مقدار لیگنین ۵/۲۶ درصد با زیاد شدن MAPP مقاومت‌ها کاهش یافته‌اند و در مقدار لیگنین ۷ درصد تأثیر افزودن MAPP زیادتر بوده که مؤید نقش بازدارندگی لیگنین در پیوندیابی در حضور

لیگنین و رسیدن به سطوح متفاوت آن از یک فرایند لیگنین‌زدایی یکسان استفاده شده است.

در این بررسی تأثیر همزمان لیگنین الیاف به‌عنوان یک ماده آبریز و میزان مواد سازگارکننده پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار (MAPP) به‌عنوان اصلاح‌ترشوندگی استفاده می‌شود و می‌تواند به‌عنوان مکمل لیگنین بوده و یا اینکه لیگنین بتواند جایگزین تمام یا بخشی سازگارکننده پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار (MAPP) از آن گردد. بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه الیاف سلولزی-پلی‌پروپیلن بررسی شده است. در اثر زیاد شدن مقدار لیگنین الیاف (در مقدار مشخص MAPP)، ویژگی‌های مقاومتی چندسازه شامل ویژگی‌های خمشی، کششی و ضربه افزایش یافته است. زیرا لیگنین در ترکیب یک چندسازه خاصیت ضد اکسیدکنندگی داشته و قادر است انطباق‌پذیری بین مواد را ارتقاء دهد و نقش سازگارکننده داشته باشد (Pouteau et al., 2003). به علاوه اینکه حضور لیگنین در چندسازه باعث زیاد شدن دمای تخریب حرارتی ترکیب شده و تخریب کمتری در هنگام ترکیب کردن مواد و ساخت نمونه اتفاق می‌افتد. برهم‌کنش بین پلی‌پروپیلن و لیگنین به شکل‌گیری یک لایه محافظ سطحی انجامیده و این لایه از نفوذ اکسیژن به توده پلیمر کم می‌کند (Canetti et al., 2006). بدین ترتیب وجود لیگنین در ترکیب می‌تواند به ارتقاء پیوندیابی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن کمک کند؛ ولی در صورت زیاد شدن مقدار لیگنین از تأثیر آن کاسته می‌شود. Pouteau و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر مفید افزودن ۱ درصد لیگنین به ترکیب چندسازه و (Canetti et al., 2006) تأثیر افزودن ۵ و ۱۵ درصد لیگنین به ترکیب چندسازه را گزارش کرده و در هر دو مورد نقش ضد اکسیدکنندگی لیگنین را اعلام کرده‌اند. ولی (Pouteau et al., 2003) عنوان می‌کنند که بسپاشیدگی (پراکندگی

- properties of modified wood fiber/polypropylene composites. *Front For.China*, 3(2): 243\_247.
- Gregorova, A., Cibulkova, Z., Kosikova, B. and Simon, P., 2005. Stabilization effect of lignin in polypropylene and recycled polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 89 553-558.
- Gao, H., Xie, Y., Ou, R. and Wang, R., 2012. Grafting effects of polypropylene/polyethylene blends with maleic anhydride on the properties of the resulting wood-plastic composites. *Composites; Part A*, 43 150-157.
- Gwon, J., Lee, S.Y., Chun, S.J., Doh, G.H. and Kim, J.H., 2010. Effect of chemical treatment of wood fibers on the physical strength of polypropylene based composites. *Korean J.Chem.Eng*, 27(2), 651-657.
- Karimi, A., Nazari, S., Ghasemi, I., Tajvidi, M. and Ebrahimi, G., 2003. Effect of delignification of wood fibers on the mechanical properties of wood-fiber reinforced composites. *J of Applied Polymer Science*, 1025 4759-4763.
- Karmaker, A.C. and Youngquist, J.A., 1996. Injection molding of polypropylene reinforced with short jute fibers. *Journal of applied polymer science*, Vol.62, 1147-1151.
- Kim, H.S., Lee, B.H., Choi, S.W., Kim, S. and Kim, H.J., 2007. The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites. *Composites: Part A* 38 1473-1482.
- Kazayawoko, M., balatincez, J.J. and Matuana, L.M., 1999. Surface modification and adhesion mechanisms in wood fiber-polypropylene composites. *Material Science*, 34: 6189-6199.
- Kuo, P.Y., Wang, S.Y., Chen, J.H., Hsueh, H.C. and Tsai, M.J., 2009. Effects of material compositions on the mechanical properties of wood-plastic composites manufactured by injection molding. *Material and Design* 30 3489-3496.
- Nygard, P., Tanem, B.S., Karlsen, T., Brachet, P. and Leinsvang, B., 2008. Extrusion-based wood fiber-PP composites: Wood powder and palletized wood fibers – a comparative study. *Composite Science and Technology* 68 3418-3424.
- Pouteau, C., Dole, P., Cathala, B., Averous, L. and Boquillon, N., 2003. Antioxidant properties of lignin in polypropylene. *Polymer Polymer Degradation and Stability*, 81 9-18.
- Sobczak, L., Lang, R.W. and Haider, A., 2012. Polypropylene composites with natural fibers and wood-General mechanical property profiles. *Composite Science and Technology* 72 550-557.
- Yue, X., Chen, F. and Zou, X., 2011. Improved interfacial bonding of pvc/wood-flour composites by lignin amine modification. *Bio Resources*, 6(2), 2022-2034.
- MAPP است. بنابراین وجود لیگنین در الیاف به‌عنوان یک ماده آبرگیر فقط در مقادیر لیگنین کمتر تأثیرگذار است. نتایج این بررسی نشان‌دهنده نقش لیگنین بر توسعه ویژگی‌های مقاومتی در چندسازه می‌باشد. با وجودی که با افزودن زیاده‌تر ماده سازگارکننده (MAPP) در ترکیب چندسازه توجه به زیاد کردن ترشوندگی و پیوندیابی در سطح مشترک الیاف و پلی پروپیلن شده است ولی نقش بازدارندگی لیگنین در مقادیر زیاده‌تر آن بارزتر بوده است. در مقدار لیگنین کمتر، افزودن زیاده‌تر MAPP مفید بوده، و مقاومت به خمش و مقاومت به کشش افزایش یافته است، ولی در مقدار لیگنین زیاده‌تر از تأثیر MAPP زیاده‌تر کاسته می‌شود که مؤید تأثیر لیگنین در فرایند تشکیل پیوند بین الیاف و پلی پروپیلن است. بنابراین می‌توان با انتخاب دقیق مقدار لیگنین در الیاف، در مصرف MAPP صرفه‌جویی کرده و هزینه ساخت چندسازه را کاهش داد.

### منابع مورد استفاده

- Alexy, P., Kosikova, B. and Podstranska, G., 2000. The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties. *Polymer*, 41 4901-4908.
- Beg, M.D.H. and Pickering, K.L., 2008. Mechanical performance of kraft fiber reinforced polypropylene composites; Influence of fiber length, fiber beating and hygrothermal ageing. *Composites: Part A* 39 1748-1755.
- Bengtsson, M., Baillif, M.L. and Oksman, K., 2007. Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fiber-polypropylene composites. *Composites : Part A* 38 1992-1931.
- Canetti, M., Bertini, F., Chirico, A.D. and Audisio, G., 2006. Thermal degradation behaviour of isotactic polypropylene blended with lignin. *Polymer Degradation and Stability*, 91 494-498.
- Cui, Y., Lee, S., Norouziaan, B., Cheung, M. and Tao, J., 2008. Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials. *Composites Part A* 39 655-661.
- Dang, W., Song, Y., Wang, Q. and Wang, W., 2008. Improvement in compatibility and mechanical

## The influence of fiber lignin content on mechanical properties of wood fiber-polypropylene composites

Rezaei Niaraki, P.<sup>1</sup>, Jahan Latibari, A.<sup>2\*</sup>, Roohnia, M.<sup>3</sup> and Tajdini, A.<sup>3</sup>

1-M.Sc., Wood and Paper Science and Technology Dept, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2-Corresponding Author, Prof. Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch Islamic Azad University Karaj Branch, Karaj, Iran, Email: Latibari@kiaiu.ac.ir

3-Associate Prof., Wood Science and Its Products Research Division, Iran Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran

Received: Jan., 2013

Accepted: Feb., 2014

### Abstract

The influence of fiber lignin content and the dosage of coupling agent on the strength and physical properties of cellulosic fiber-polypropylene composite were investigated. The old corrugated container (OCC) fibers were delignified using sodium hydroxide to reach the lignin content of 2.7, 3.78, 5.26 and 7%. Fibers were compounded with polypropylene by extrusion process using 20% fibers and 77% PP and the extrudate was cooled and grinded to fine granulates before injection molding. MAPP coupling agent was applied at three different levels (1, 2 and 3 percent based on the total weight of the composite). The strength properties of the composites were measured using relevant ASTM test methods and the results were statistically analyzed using factorial experiment under complete randomized design. The impact of fiber lignin content on flexural strength of composite was statistically significant at 98 percent significance level and the lowest and highest values of flexural strength of composite were measured at 3.78 percent and 7 percent lignin content of fiber. The interactive effect of fiber lignin and MAPP on the tensile strength and flexural modulus of elasticity of the composite showed that at lower values of lignin and higher dosage of MAPP, these properties are 38.7 and 3438 MPa respectively. Other strength values of the composites were also improved and at lower content of lignin and increasing dosages of the MAPP, the impact strength of the composites was increased from 52.82 J/m to 60.26 J/m.

**Key words:** Fiber-polypropylene composite, lignin, MAPP, strength properties.