

## بررسی تأثیر شکل ذرات و روش اختلاط بر ویژگی‌های کاربردی چندسازه سبز

### چکیده

امروزه پالونیا به‌عنوان گونه‌ای تندرشد برای صنعت چوب در جهان مورد توجه قرار گرفته‌است. در این تحقیق ارزیابی روی پالونیا فورتونی کاشته شده در جنگل شصت کلاته گرگان انجام شد. دو شکل آرد (مش ۶۰) و الیاف به‌دست‌آمده از روش مکانیکی (با ضریب کشیدگی ۲۱/۵۴) آماده شد و ۶۰٪ این مواد به‌طور جداگانه با HDPE ۳۷٪ و MAPE ۳٪ با دو روش اختلاط مذاب مخلوط شدند. بخشی از اختلاط با دستگاه مخلوط‌کن داخلی و بخشی دیگر با دستگاه اکسترودر انجام شد. محصول به‌صورت گرانول آماده شد. نمونه‌های آزمونی به ابعاد ۳۰ cm × ۳۰ cm × ۱ cm با چگالی (دانسیته) اسمی ۱ g/cm<sup>3</sup> با پرس گرم آماده شد. آزمون مکانیکی (خمش، سختی و ضربه بدون شکاف) و فیزیکی (جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت) بر روی نمونه‌های آزمونی انجام گرفت. نتایج نشان داد مدول گسیختگی، سختی و ضربه چندسازه الیاف- پلیمر نسبت به چندسازه آرد- پلیمر کم‌تر شد. در صورتی که مدول کشسانی (الاستیسیته) خمشی چندسازه الیاف- پلیمر بیشتر از چندسازه آرد- پلیمر شد و میزان جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت چندسازه الیاف- پلیمر بیشتر از چندسازه آرد- پلیمر به دست آمد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های اختلاط یافته با مخلوط‌کن داخلی در مقایسه چندسازه‌های اختلاط یافته با اکسترودر بهبود یافت. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه الیاف- پلیمر اختلاط یافته با مخلوط‌کن داخلی در مقایسه با اکسترودر بهبود یافت.

**واژگان کلیدی:** آرد، الیاف، مخلوط‌کن داخلی، اکسترودر، چندسازه

سحردائی<sup>۱</sup>  
تقی طبرسا<sup>۲</sup>  
علیرضا شاکری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، آستاد، گروه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup>عضو هیئت علمی گروه شیمی دانشگاه گلستان

مسئول مکاتبات:  
papyrus552000@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۱۴

### مقدمه

یکی از راه‌های بهینه جلوگیری از برداشت بی‌رویه از جنگل‌ها، جنگل‌کاری با گونه‌های تندرشد است. امروزه پالونیا به‌عنوان گونه‌ای تندرشد در بسیاری از مناطق جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است [۱]. جنس پالونیا از تیره گل‌میمون (*Schrophulariaceae*) شامل نه گونه بوده و

هفت گونه آن منحصر به کشور چین است. *Paulownia fortunei* گونه غیربومی‌ای است که از سالیان پیش به‌صورت قلمه از کشور چین وارد ایران شد و هم‌زمان با بررسی مراحل سازگاری به‌منظور بررسی میزان تولید چوب در جنگل آموزشی \_ پژوهشی شصت کلاته گرگان کاشته شده‌است [۲]. کاربرد مواد لیگنوسلولزی به

(۲۰۰۳) با مقایسه تأثیر ضریب کشیدگی الیاف چوب بر ویژگی فیزیکی و مکانیکی چندسازه برتری الیاف چوب صنوبر با ضریب کشیدگی ۳۴/۶۲ نسبت به الیاف کارتن کهنه با ضریب کشیدگی ۲۹/۵۸ را بیان نمود [۱۳]. Basiji و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود تأثیر ضریب کشیدگی بر روی ویژگی‌های مکانیکی فرآورده‌های چندسازه چوب پلاستیک مورد بررسی قرار دادند و بهبود مدول را در اثر افزایش ضریب کشیدگی نتیجه‌گیری کردند [۱۰]. هدف از این تحقیق مقایسه دو شکل الیاف و آرد گونه پالونیا و بررسی تأثیر روش اختلاط بر ویژگی‌های چندسازه گونه پالونیا- پلی اتیلن سنگین است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از پلیمر HDPE به صورت گرانول محصول پتروشیمی امیرکبیر با نام تجاری  $EX_3(HM_{5010}T_2N)$  با شاخص جریان مذاب  $10 \text{ min } 1.0 \pm 0.3 \text{ g}$  و نقطه ذوب  $136^\circ\text{C}$  استفاده شد. چگالی حجمی پلیمر گرمانرم  $0.945 \text{ g/cm}^3$  می‌باشد. برای سازگاری و پایین آوردن سطح انرژی بین مواد لیگنوسلولزی قطبی و پلی اتیلن غیر قطبی از ماده جفت-کننده مالئیک انیدرید بر پایه پلی اتیلن (MAPE) به صورت گرانول محصول شرکت کیمیا بسپار آسیا با شاخص جریان مذاب  $10 \text{ min } 1.0 \text{ g}$  و دمای ذوب  $190^\circ\text{C}$  استفاده شد.

مواد لیگنوسلولزی چوب به دو شکل آرد و الیاف از گونه پالونیا فورتونی برداشت شده از جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا (شصت کلاته) استفاده شد. پوشال‌های تهیه‌شده از گونه یاد شده در اتوکلاو آزمایشگاهی در دمای  $103^\circ\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس بخشی از آن با آسیاب چکشی تبدیل به آرد و برای همگن‌سازی الک شد. ذرات در ابعاد مش ۶۰ برای ساخت چندسازه مورد استفاده قرار گرفت. بخش دیگر پوشال‌ها برای تهیه الیاف سلولزی به روش بخارزنی در فشار متوسط  $1/5 \text{ bar}$  و دمای  $100^\circ\text{C}$  مدت ۲۰ دقیقه آماده شد. پوشال‌ها با دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی با عمل مکانیکی فشردن و سائیدن به دسته‌های الیاف تبدیل شدند. ضریب کشیدگی دسته‌های الیاف با محاسبه نسبت طول به قطر  $21/54$  مشخص شد (میانگین‌های طول و

دلیل چگالی کم و زیست تخریب پذیر بودن و هزینه پایین آن نسبت به الیاف مصنوعی در چندسازه برتری پیدا کرده است. فرآیند آماده‌سازی چندسازه با توجه به ویژگی‌های کاربردی، نوع مواد اولیه و هزینه تمام‌شده متفاوت است. برای بهبود بیشتر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه، روش تولید، درصد و نوع مواد لیگنوسلولزی و پلیمر، سازگارکننده‌ها، مواد افزودنی، شرایط فرآوری، طول، توزیع و پخش مناسب مواد لیگنوسلولزی در ماده زمینه پلیمر، نوع اتصال و جهت‌یابی الیاف و... مورد توجه است. توزیع و پخش مناسب مواد لیگنوسلولزی در ماده زمینه پلیمر به عواملی مانند اختلاف چگالی حجمی مواد ترکیبی، شکل ذرات، درجه برش و وسیله اختلاط بستگی دارد [۳]. مواد لیگنوسلولزی با منشأ پوست، برگ و بذر گیاهانی مانند کتان، کنف، جوت و سیسال و بخش گسترده‌ای از منابع سلولزی چوب به صورت خاکاره یا آرد چوب و انواع الیاف خمیرکاغذ در چندسازه‌های الیاف سلولزی به کار می‌روند. ذرات مورد استفاده در این فرآورده به شکل‌های مختلفی مانند آرد، دسته‌های الیاف، الیاف مجزا به عنوان پرکننده و تقویت کننده در صنعت پلاستیک به کار می‌روند [۴]. ناسازگاری مواد لیگنوسلولزی قطبی با پلیمرهای غیر قطبی گرمانرم، منجر به نداشتن اتصال مناسب می‌شود. حضور سازگارکننده‌ها و تیمار با روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی مواد لیگنوسلولزی با کاهش قطبیت و سطح انرژی سبب بهبود اتصال‌ها می‌شود. پژوهشگران استفاده از جفت‌کننده را برای بالا بردن سطح اتصال‌ها در چندسازه‌ها ضروری می‌دانند [۵]. Youngquist و همکاران (۱۹۹۴) به تولید چندسازه از پسماندهای چوب و روزنامه باطله با دو روش ساخت ریزش کیک و مخلوط کردن مذاب و نحوه ترکیب کردن در یک اکسترودر تک مارپیچ را موردنظر قرار دادند [۱۶]. نتایج نشان داد که مواد لیگنوسلولزی در شکل‌های مختلف دارای ویژگی‌هایی هستند که باعث پخش نشدن یکسان می‌شوند. Iran mehr (۲۰۱۰) و Evaz malayeri (۲۰۱۰) در تحقیقات خود بهبود یکنواختی پراکنش مواد ترکیب‌شده را ناشی از اختلاف چگالی کم و در نظر گرفتن زمان کافی برای توزیع و پخش مواد در فاز پلیمری را نیز از عوامل مهم در یک اختلاط مناسب بیان داشتند [۶ و ۷]. Nourbakhsh

حجم بیشتر آن نسبت به آرد، زمان خوراک‌دهی بیشتری را به خود اختصاص داد. پس از اتمام خوراک‌دهی، اختلاط به مدت ۳ دقیقه صورت گرفت. مواد مخلوط شده به صورت گرانول، در آسیاب چکشی آسیاب شد و برای یکنواخت شدن مواد مجدداً الک شد.

#### آماده‌سازی نمونه‌های آزمونی: برای تهیه نمونه‌های

آزمونی رطوبت ترکیب مخلوط شده در اتو با دمای  $85^{\circ}\text{C}$  به مدت ۸ ساعت به حداقل رسید. نمونه‌های آزمونی به ابعاد  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  با چگالی اسمی  $1\text{ g/cm}^3$  با پرس گرم آزمایشگاهی ساخته شد. شرایط پرس با فشار  $35\text{ bar}$  و دمای  $185^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱۰ دقیقه صورت گرفت. اندازه‌گیری آزمون خمش برابر با استاندارد BS آیین‌نامه 1:2007 TS15534، آزمون سختی برابر با استاندارد ASTM آیین‌نامه D-143 انجام گرفت. آزمون‌های مذکور با دستگاه SCHENCK TREBOEL صورت گرفت. آزمون ضربه بدون شکاف با دستگاه ضربه پاندولی SANTAM مدل SIT:20D برابر با استاندارد ASTM آیین‌نامه D-4495 صورت گرفت. همچنین ویژگی‌های فیزیکی درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری برابر با استاندارد ASTM آیین‌نامه D-1037 محاسبه شد [۸ و ۱۱].

#### نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس تأثیر شکل ذرات و روش اختلاط بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه پالونیا-پلی‌اتیلن سنگین را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، اثر مستقل شکل ذرات و روش اختلاط بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد و اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر مدول گسیختگی، مدول کشسانی و مقاومت به ضربه چندسازه معنی‌دار نشان نمی‌دهد. در صورتی که مقاومت به سختی، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد.

قطر به ترتیب  $6/612$  میلی‌متر و  $0/307$  میلی‌متر. پیش از فرآیند اختلاط، مواد لیگنوسولوزی در اتو آزمایشگاهی به مدت ۱۲ ساعت (به دلیل سبک بودن گونه پالونیا این زمان در نظر گرفته شد) در دمای  $103^{\circ}\text{C}$  تا رطوبت زیر ۳ درصد خشک شدند. بخشی از ترکیب  $60\%$  مواد لیگنوسولوزی (آرد و الیاف به‌طور جداگانه) و  $37\%$  پلی‌اتیلن سنگین و  $3\%$  مالئیک انیدرید بر پایه پلی‌اتیلن با دستگاه اکسترودر دو مارپیچ آزمایشگاهی و بخشی دیگر با مخلوط‌کن داخلی مخلوط شدند.

#### شرایط اختلاط: اکسترودر دومارپیچ ناهمسوگرد

آزمایشگاهی مدل ۴۸۱۵ ساخت شرکت برنا پارس مهر شامل بخش تغذیه، ذوب، اختلاط و شکل‌دهی بود. میانگین دمایی در این بخش‌ها به ترتیب (راست به چپ)  $185^{\circ}\text{C}$ ،  $180^{\circ}\text{C}$ ،  $175^{\circ}\text{C}$ ،  $170^{\circ}\text{C}$  در حسگرهای (سنسور) گرمایی تنظیم شد. سرعت دستگاه برای اختلاط مواد به شکل آرد  $20\text{ rpm}$  در نظر گرفته شد. الیاف چوب به دلیل سبک و حجیم بودن منجر به بالا رفتن گرانروی مواد در اکسترودر شد و جریان مواد را کند نمود برای به‌کارگیری زمان ماندگاری یکسان در هنگام اختلاط برای هر دو شکل مواد، زمانی حدود ۱۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد که با توجه به زمان مذکور سرعت مارپیچ برای اختلاط الیاف چوب  $60\text{ rpm}$  تنظیم شد. محصول خروجی به صورت گرانول تهیه شد. گرانول‌ها در آسیاب چکشی مجدداً آسیاب شد و برای یکنواخت شدن مواد، الک شد. در روش اختلاط با مخلوط‌کن داخلی، این دستگاه ساخت شرکت هکه مدل HBI SIS90 با حسگرهای گرمایی و روتور بنبوری و با محفظه دارای حجم  $300\text{ CC}$  برای اختلاط به کار گرفته شد. سرعت دستگاه  $60\text{ rpm}$  و دما  $160^{\circ}\text{C}$  تنظیم شد. در مرحله اول پس از گرم شدن دستگاه و رسیدن دما به نقطه تنظیم شده که به نقطه ذوب پلیمر بستگی دارد، گرانول‌های پلیمر را درون محفظه ریخته تا ذوب شود. پس از ذوب و همگن شدن پلیمر، مالئیک انیدرید افزوده شد. در این مرحله نیز پس از همگن شدن مواد که به‌وسیله نمودار بر روی مونیتور دستگاه مشخص می‌شود، مواد لیگنوسولوزی اضافه شد. زمان خوراک‌دهی دستگاه بستگی به نوع مواد لیگنوسولوزی دارد. الیاف به علت سبک بودن و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه

منبع تغییر اثر مستقل و متقابل	شکل ذرات	روش اختلاط	شکل ذرات « روش اختلاط
مدول گسیختگی (Mpa)	۲۷/۳۶۵**	۶۲/۱۴۱**	۲/۳۶۹ NS
مدول کشسانی (Mpa)	۱۹/۴۹۷**	۴۵/۵۷۴**	۴/۰۲۱ NS
مقاومت به ضربه (J/m)	۶۷/۷۱۳**	۲۷/۵۴۳**	۰/۳۸ NS
مقاومت به سختی (N)	۲۳۸/۵۴۳**	۶۵۲/۸۴**	۳۵/۱۹۳**
جذب آب پس از ۲ ساعت (%)	۱۱۷/۷۰۱**	۶۵۲/۳۶۹**	۲۰۸/۰۶۷**
جذب آب پس از ۲۴ ساعت (%)	۸۶/۳۳۴**	۶۸۰/۴۵۴**	۱۷۷/۸۰۲**
واکسیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت (%)	۶۱/۴۶۷**	۲۱۴/۸۱۱**	۶۹/۰۶۶**
واکسیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت (%)	۸۷/۷۴۹**	۴۶۸/۳۳۳**	۱۰۹/۵۹۸**

NS فاقد اثر معنی دار \* اثر معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد \*\* اثر معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

### تأثیر شکل ذرات

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که مدول گسیختگی، مقاومت به ضربه و سختی چندسازه الیاف- پلیمر نسبت به آرد- پلیمر کاهش نشان داد. گونه پالونیا از گروه گونه‌های تندرشد، چگالی پائینی دارد و جزء گونه‌های سبک می‌باشد. با توجه به بالا بودن حجم الیاف پالایشی- مکانیکی به دست آمده از این گونه نسبت به وزن و چگالی حجمی پائین در مقایسه با آرد چوب، به علت نداشتن پلیمر کافی که نقش چسب را برای مواد لیگنوسلولزی در چندسازه ایفا می‌کند، به خوبی با پلیمر همپوشانی نمی‌شود و اتصال‌های ضعیف‌تری در الیاف- پلیمر در مقایسه با آرد- پلیمر ایجاد می‌کند و نقاط تمرکز تنش را بین الیافی که با پلیمر همپوشانی نشده است به وجود می‌آورد و مانع انتقال تنش از پلیمر به الیاف شده که سبب کاهش مقاومت در چندسازه الیاف- پلیمر می‌شود. نتایج جدول ۲ مدول کشسانی چندسازه الیاف- پلیمر را نسبت به آرد- پلیمر بیشتر نشان داد. از مهم‌ترین عامل‌هایی که بر مدول کشسانی چندسازه تأثیر دارد مدول اجزای تشکیل‌دهنده چندسازه است که بین

آن‌ها رابطه مستقیم وجود دارد. با توجه به ثابت بودن نسبت اختلاط، اختلاف بین مدول کشسانی می‌تواند از نظر شکل ذرات الیاف و آرد مورد توجه قرار گیرد. الیاف لیگنوسلولزی به دلیل ضریب کشیدگی بیشتر نسبت به آرد و حجم زیاد الیاف در واحد وزن، در هم‌رفتگی بیشتری ایجاد کرده و باعث سفتی چندسازه و افزایش مدول کشسانی خمشی الیاف- پلیمر می‌شود. Basiji و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود نیز به بهبود ویژگی‌های مدول کشسانی خمشی در اثر افزایش ضریب کشیدگی اشاره کردند [۱۰]. با توجه به جدول ۲ کاهش سختی در چندسازه الیاف- پلیمر مشاهده می‌شود. الیاف به دلیل گروه‌های هیدروکسیل فراوانی که بر روی سطح آن قرار گرفته است امکان پیوند هیدروژنی بین الیاف- الیاف را فراهم می‌کند. قطبیت بالای پیوند هیدروژنی عامل نگهداری الیاف در کنار یکدیگر می‌شوند که باعث کلوخه‌ای شدن الیاف و نداشتن پراکندگی مناسب آن در فاز پلیمری می‌شود [۵ و ۹]. در آزمون مقاومت به ضربه بدون شکاف، میزان انرژی مورد نیاز برای آغاز ترک اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به جدول ۲ مقاومت به ضربه

کاهش مقاومت به ضربه در چندسازه الیاف- پلیمر گردد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی چندسازه الیاف- پلیمر بهتر از آرد- پلیمر بود. به دلیل حضور فراوان گروه‌های هیدروکسیل آزاد و عدم همپوشانی سطح الیاف با پلیمر، احتمال تماس گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل با رطوبت بیشتر می‌شود و درصد جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت پس از غوطه‌وری در چندسازه الیاف- پلیمر بیشتر می‌شود. به دلیل نداشتن همپوشانی مناسب گروه‌های هیدروکسیل آزاد الیاف با پلیمر و از سوی دیگر فشردگی بیشتر حجم الیاف، افزایش واکنشیدگی ضخامت در چندسازه الیاف- پلیمر در مقایسه آرد- پلیمر دیده می‌شود.

در چندسازه الیاف- پلیمر نسبت به آرد- پلیمر کاهش نشان داد. افزودن مواد لیگنوسولوزی در فاز پلیمری باعث ایجاد تمرکز تنش در چندسازه شده و سبب ترک شده و شکنندگی پیدا می‌کند و باعث کاهش مقاومت به ضربه می‌شود. در اصل، الیاف نسبت به آرد چوب به دلیل ضریب کشیدگی بیشتر باعث توزیع تنش در چندسازه شده و از شکنندگی تا حدودی جلوگیری می‌کنند. الیاف به‌دست‌آمده از گونه پالونیا به دلیل چگالی پایین و حجم بالای آن و نداشتن پراکنش مناسب در پلیمر، نقاط تمرکز تنش بیشتری در چندسازه ایجاد می‌کند که هر یک می‌تواند نقطه آغاز ترک به هنگام ضربه باشد و موجب

جدول ۲- اثر مستقل شکل ذرات بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه

الیاف	آرد	خواص
۱۷/۸۷۸	۲۰/۵۹۲	مدول گسیختگی (Mpa)
۲۱۹۳/۶۲۸	۲۰۳۲/۲۹۶	مدول کنسانی (Mpa)
۳۴/۱۹	۵۶/۶۶۳	مقاومت به ضربه (J/m)
۷۳۳۸/۲۰۷	۹۰۳۷/۳۸۸	مقاومت به سختی (N)
۵/۱۴۵	۲/۷۸۲	درصد جذب آب پس از ۲ ساعت
۱۲/۴۰۶	۷/۴۲۱	درصد جذب آب پس از ۲۴ ساعت
۱/۰۵۲	۰/۳۶۷	درصد واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت
۲/۱۷۹	۱/۱۲۱	درصد واکنشیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت

به دلیل نسبت پایین طول به قطر ماریپیچ در این اکسترودر، نداشتن المان‌های پیچ مخلوط کافی و نداشتن زمان ماندگاری مناسب، پیش از رسیدن به یک اختلاط کامل، مواد از دستگاه خارج می‌گردند و مانع پخش یکنواخت مواد در پلیمر می‌شوند. در صورتی که در روش اختلاط با مخلوط‌کن داخلی در آغاز پلیمر در اثر نیروی برش ذوب و وزن مولکولی آن کاهش می‌یابد و به حالت یکنواخت می‌رسد. در این هنگام مالٹیک انیدرید افزوده می‌شود. پس از یکنواختی آن، مواد لیگنوسولوزی افزوده می‌شود. به نظر می‌رسد که این زمان برای اختلاط مناسب بین مواد تا حدودی کافی بوده و باعث اتصال‌های مناسبی بین پلیمر، جفت‌کننده و مواد لیگنوسولوزی می‌شود و منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه خواهد شد [۶ و ۷].

### تأثیر روش اختلاط

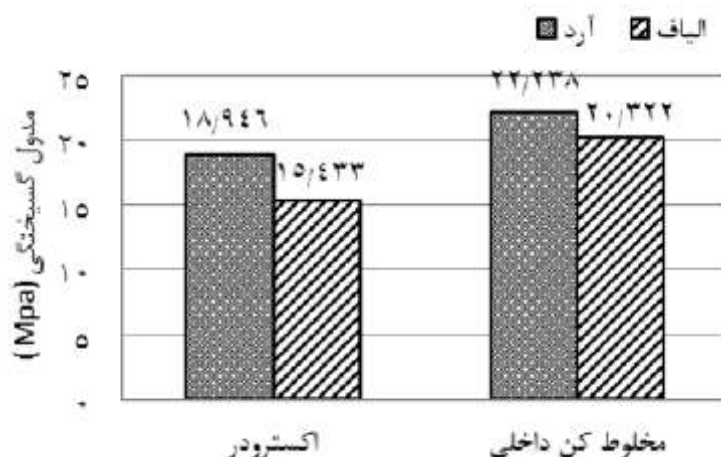
با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی در چندسازه‌هایی که اختلاط آن با مخلوط‌کن داخلی صورت گرفت در مقایسه با اکسترودر بهبود یافت. در روش‌های اختلاط ترتیب افزودن مواد به دستگاه اختلاط، جزء مهم‌ترین بخش در اختلاط است. انتخاب روش واردکردن مواد اولیه به درون دستگاه به میزان زیادی بازده اختلاط را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نکته قابل توجه است که هرچه اختلاف چگالی مواد کم‌تر باشد اختلاط همگن و یکنواخت‌تری خواهیم داشت [۶]. احتمال می‌رود در روش اختلاط با اکسترودر، پلیمر و مالٹیک انیدرید که به‌طور هم‌زمان با مواد لیگنوسولوزی به درون دستگاه ریخته و مخلوط شدند زمان کافی برای ذوب پلیمر و مالٹیک انیدرید وجود نداشته و همپوشانی مناسبی با مواد لیگنوسولوزی صورت نگرفته‌است. همچنین

جدول ۳- اثر مستقل روش اختلاط بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه

خواص	اکسترودر	مخلوط‌کن داخلی
مدول گسیختگی (Mpa)	۱۷/۱۹	۲۱/۲۸
مدول کشسانی (Mpa)	۱۹۹۰/۸۹۲	۲۲۲۶/۰۲
مقاومت به ضربه (J/m)	۴۶/۴۴۹	۵۴/۴۰۴
مقاومت به سختی (N)	۷۱۷۲/۵۲۹	۹۲۱۱/۱۶۶
درصد جذب آب پس از ۲ ساعت	۶/۷۴۷	۱/۱۷۹
درصد جذب آب پس از ۲۴ ساعت	۱۶/۹۱۱	۲/۹۱۶
درصد واکنش‌دهی شخامت پس از ۲ ساعت	۱/۳۵	۰/۶۹
درصد واکنش‌دهی شخامت پس از ۲۴ ساعت	۲/۸۷۲	۰/۴۲۸

با اکسترودر کمتر نشان می‌دهد به طوری که تأثیر منفی حجم الیاف بر مدول گسیختگی در مخلوط‌کن داخلی کاهش یافته است.

مطابق شکل ۱ به علت اختلاط مناسب هر دو شکل مواد لیگنوسلولزی آرد و الیاف در مخلوط‌کن داخلی، تأثیر شکل ذرات در روش اختلاط مخلوط‌کن داخلی در مقایسه

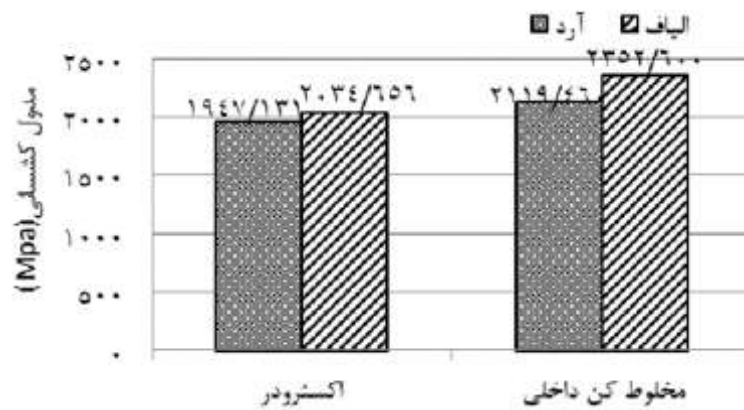


شکل ۱- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر مدول گسیختگی

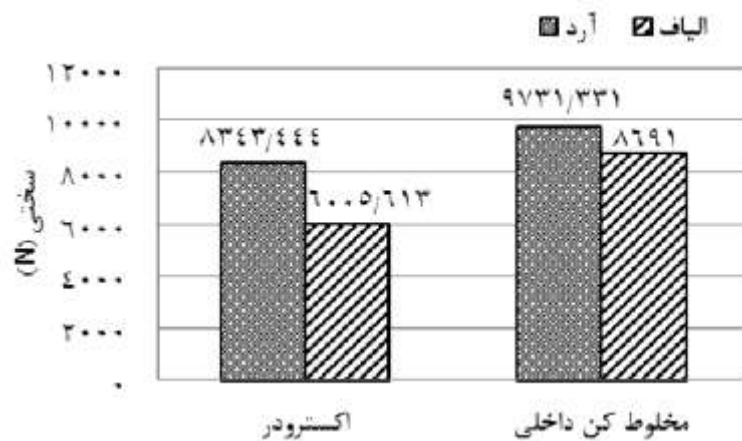
سختی در روش مخلوط‌کن داخلی کاهش می‌یابد که یکنواختی مواد را در مخلوط‌کن داخلی نشان می‌دهد. اختلاف مقاومت به سختی در روش اختلاط با اکسترودر بین الیاف و آرد در مقایسه با روش اختلاط با مخلوط‌کن داخلی بیشتر دیده می‌شود که ناشی از شکستگی بخشی از الیاف در اکسترودر و نداشتن پراکنش یکنواخت به علت کم بودن نسبت طول به قطر مارپیچ و زمان ماندگاری مواد در اکسترودر و اختلاف چگالی مواد می‌باشد [۱۴ و ۱۵].

### تأثیر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط

با توجه به شکل ۲ تأثیر شکل ذرات بر مدول کشسانی خمشی چندسازه اختلاط یافته در اکسترودر کمتر است. شکستگی مواد لیگنوسلولزی به علت نیروی برشی در اثر مارپیچ‌های اکسترودر موجب کاهش مدول کشسانی گردید. شکل ۳ مقاومت به سختی بیشتری را در آرد-پلیمر در مقایسه با الیاف-پلیمر در هر دو روش اختلاط نشان می‌دهد که ناشی از پراکنش مناسب ذرات آرد می‌باشد. با توجه به شکل ۳ تأثیر شکل ذرات بر



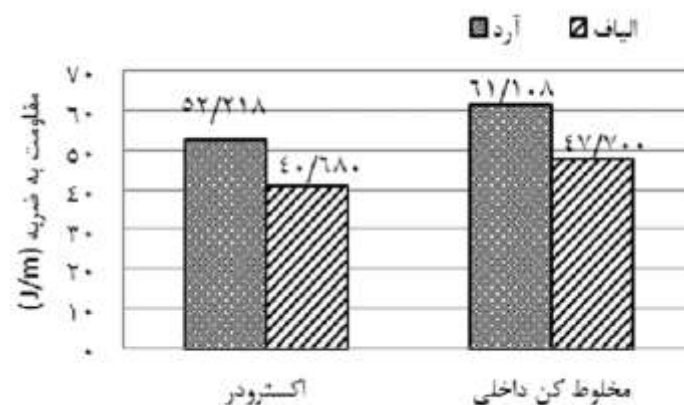
شکل ۲- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر مدول کشسانی



شکل ۳- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر مقاومت بر سختی

چندسازه‌های اختلاط یافته در روش مخلوط‌کن داخلی بیشتر از روش اختلاط با اکسترودر نشان می‌دهد.

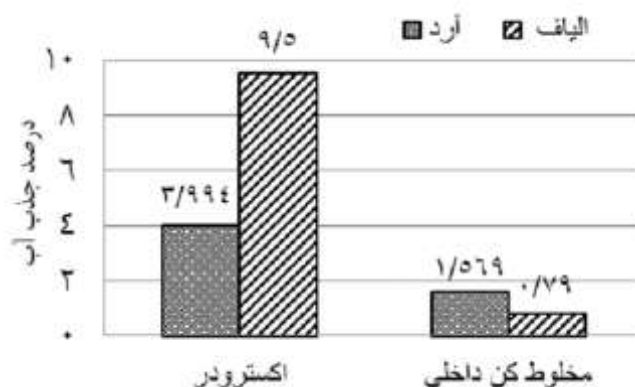
مقاومت به ضربه چندسازه آرد- پلیمر در هر دو روش اختلاط در مقایسه با الیاف- پلیمر مقدار بیشتری را نشان می‌دهد (شکل ۴). تأثیر شکل ذرات بر مقاومت به ضربه در



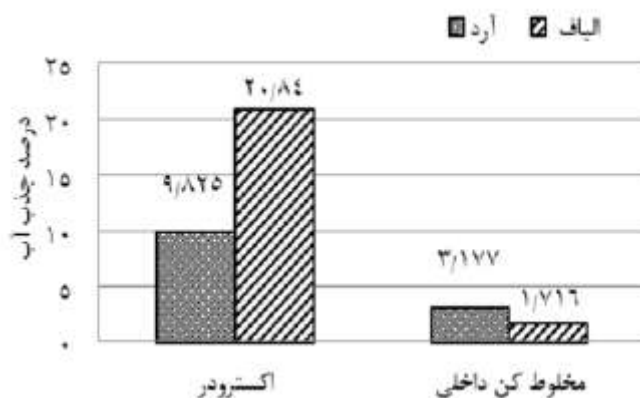
شکل ۴- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر مقاومت به ضربه

کمتری با آب در تماس هستند. حال آنکه در روش اکسترودر به دلیل اختلاف دانسیته پلیمر و مواد لیگنوسلولزی، پلیمر در قسمت زیرین و مواد لیگنوسلولزی در قسمت سطحی قرار می‌گیرد و گروه‌های هیدروکسیل بیشتری با آب در تماس می‌باشند و باعث افزایش جذب آب چندسازه می‌گردند.

هر دو شکل ۵ و ۶، تأثیر منفی حجم الیاف بر جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در روش اختلاط با مخلوط‌کن داخلی نسبت به روش اکسترودر را نشان می‌دهد. این اختلاف به نحوه حضور الیاف در روش اختلاط برمی‌گردد؛ زیرا الیاف در مخلوط‌کن داخلی به‌طور مناسبی با پلیمر همپوشانی می‌شود و گروه‌های هیدروکسیل



شکل ۵- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر درصد جذب آب پس از ۲ ساعت

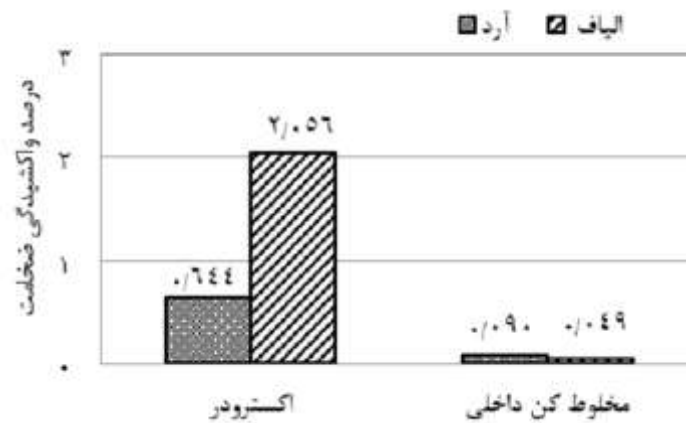


شکل ۶- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر درصد جذب آب پس از ۲۴ ساعت

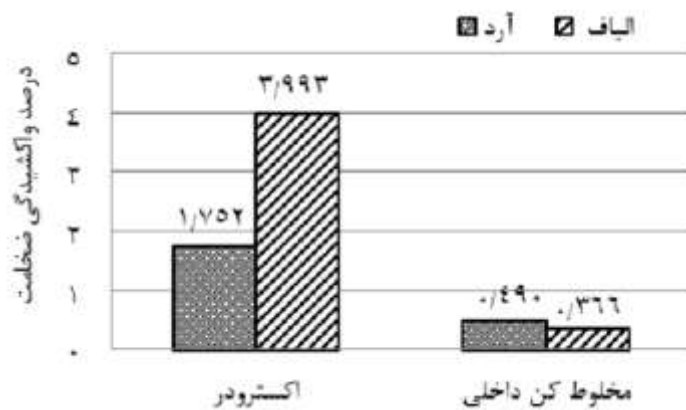
های هیدروکسیل آزاد الیاف با پلیمر و اختلاط کامل در نتیجه زمان ماندگاری بیشتر نسبت به اکسترودر می‌باشد که منجر به کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در چندسازه الیاف-پلیمر اختلاط یافته در مخلوط‌کن داخلی می‌شود.

شکل‌های ۷ و ۸ تأثیر منفی حجم زیاد الیاف بر درصد واکنشیدگی ضخامت در دو زمان ۲ و ۲۴ ساعت پس از غوطه‌وری را نشان می‌دهد. این میزان در روش اختلاط با مخلوط‌کن داخلی نسبت به اکسترودر مقدار کمتری نشان می‌دهد که به علت همپوشانی سطح گسترده‌ای از گروه-





شکل ۷- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر درصد واكشیدگی و خنجامت پس از ۲ ساعت



شکل ۸- اثر متقابل شکل ذرات و روش اختلاط بر درصد واكشیدگی و خنجامت پس از ۲۴ ساعت

الیاف-پلیمر اختلاط یافته در دستگاه مخلوط کن داخلی در مقایسه چندسازه الیاف-پلیمر اختلاط یافته در اکسترودر مدل ۴۸۱۵ بهبود یافت. مراحل افزودن مواد در شرایط اختلاط و در نظر گرفتن زمان ماندگاری مواد و ذوب پلیمر، پخش و یکنواختی بیشتری در مخلوط کن داخلی ایجاد نمود و باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی شد که با نتایج Iran mehr (۲۰۱۰) و Evaz malayeri (۲۰۱۰) همخوانی دارد [۶ و ۷]. با توجه به نتایج به دست آمده از دو روش اختلاط می‌توان ترتیب افزودن مواد و زمان ماندگاری مواد در دستگاه اختلاط را بر ویژگی‌های شکل ذرات مؤثر دانست که موجب تغییر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه می‌شود.

## نتیجه‌گیری

با کاهش مقاومت‌ها (خمشی، سختی و ضربه) و افزایش جذب آب و واكشیدگی و خنجامت چندسازه الیاف-پلیمر به علت پایین بودن چگالی حجمی الیاف گونه پالونیا در درصد اختلاط ۶۰٪ با کمبود پلیمر روبه‌رو شده و الیاف به‌خوبی با پلیمر همپوشانی نمی‌شود و اتصال‌های ضعیفی تشکیل شده و روزهایی را برای جذب رطوبت ایجاد می‌کند. در این صورت می‌توان با به‌کار بردن الیاف این گونه سبک در درصدهای اختلاط پایین‌تر، علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه، با اشغال کردن حجم زیادی از پلیمر موجب کاهش هزینه‌ها به سبب مصرف کمتر پلیمر در صنایع پلیمر شد. با توجه به نتایج تحقیق، ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه

## مراجع

- [1] Bergmann, B.A., 2003. Five years of Paulownia field trails in North Carolina, *New Forests* 25: 185-199.
- [2] Abasi.H, N.A., and Alizadeh, H., M.K., 1998. Properties and Application of Paulownia for air manufacture, Glyder & Havercraft. 2th conference Aerospace Engineering, Esfahan, 823-827. (In Persian).
- [3] Doosthoseini, K., 2007. Wood composite materials manufacturing, applications, No2487, 2<sup>th</sup> ed University of Tehran press, 708 p. (In Persian).
- [4] Nabi, S.D., and Jog, J.P., 1999. Natural fiber polymer composites: a review, *Advances In Polymer Technology* 18(4):351-363
- [5] Oromiehie, A., and Jafarzadeh, F., 2008. Plastic-wood composite, Iran Polymer Society Press, 97p. (In Persian).
- [6] Iran mehr, GH., 2010. Arrangement of adding materials to mixing method (banbury). *Iranian Rubber Industry* 58: 119-120. (In Persian).
- [7] Evaz malayeri, F., 2010. Review and basis Tayer production and Rubber pieces Technology (For having a suitable mixing). *Iranian Rubber Industry* 58: 117-118. (In Persian).
- [8] American society for Testing and Materials. 1999. *Composite Materials Handbook: Volume 4. Metal Matrix Composites*. Rev. 21.
- [9] Ashori, A., Nourbakhsh, A., 2010. Effects of chemical compositions and particle size, *Bioresource Technology* 101: 2515-2519.
- [10] Basiji, F., Safdari, V., Latibari, A.J., and Nourbaksh, A., 2010. Effect of fiber length on mechanical properties of wood composite plastic (polypropylene), *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 25(2): 187-200. (In Persian).
- [11] Ebrahimi, GH., 1998. *Mechanics of wood and wood composites*, Badig J., Jin, B. (Author) 2nd edition. Tehran University Publications, 686p. (In Persian).
- [12] Krzysik, A. M., Youngquist, J. A., Meyers, G., Chahyadi, I.S., and Kolosick, P.C., 1991. Wood polymer bonding in extruded and non-woven web composites panels wood adhesives , *Proceeding of symposium Madison*. WI, Forest Products Research Society, pp. 183-189.
- [13] Nourbakhsh, A., 2003. Effect of variety of manufacture on physical-mechanical properties of wood fiber-polymer composite and investigate bonding by FTIR spectroscopy, PhD Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, 166p. (In Persian).
- [14] Shakeri, A.R., 2004. Study of the effect of coupling agents and novel methods on preparation of cellulosic fiber reinforced thermoplastic composites, P.HD Thesis, Faculty of Processing Iran Polymer and Petrochemical Institute, 207p. (In Persian).
- [15] Shakeri, A.R., and Omidvar, A., 2006. Investigation on the effect of type, quantity and size of straw particles on the mechanical properties of crops straw-high density polyethylene composites, *Polymer Technology* (4): 301-308. (In Persian).

- [16] Youngquist, J.A., Myers, G.E. Muehi, J.H., Krzysik, A.M., and Clemens, C.M., 1994. Composites from recycled wood and plastic. USDA forest service forest products lab. Madison, International conference on wood fiber-plastic composites.

## Investigating on Effect of Particle Form and Mixing Method on applied Properties Green Composite

### Abstract

Nowadays Paulownia as the fast growing species has noticed for wood industry in the world. In this research, *Paulownia fortunei* planted in Shaskolatheh forest of Gorgan were studied. Two particle form, flour (60 mesh size) and fiber (RMP, L/D= 21/54) were prepared. 60 percent of this material with 37% of HDPE, 3% of MAPE were blended separately. Part from this material by internal mixer and other part by extruder blended. Output was prepared like pellets. Samples were prepared in dimensions of 30cm×30cm×1cm, and nominal density 1 g/cm<sup>3</sup> by hot press. The mechanical testing of the panels (flexural, hardness, unnotched impact strength) and the physical testing of the panels (thickness swelling and water absorption after 2 & 24 hours immersion in water) were measured. The result showed that modulus of rupture, hardness, unnotched impact strength of composite made of fiber-PE were lower than composite made of flour-PE. Flexural elastic modulus of composite made of fiber-PE were higher than flour-PE. Water absorption and thickness swelling of composite made of fiber-PE were higher than flour-PE. Also physical and mechanical properties of composites blended by internal mixer improved in compared composites blended by extruder. Physical and mechanical properties of composite made of fiber-PE blended by internal mixer improved in compared composite made of fiber-PE blended by extruder.

**Key words:** Flour, Fiber, Internal mixer, Extruder, composite

S. Daei<sup>1\*</sup>  
T. Tabarsa<sup>2</sup>  
A. Shakeri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc, <sup>2</sup> Professor, <sup>3</sup>Assistant Professor, <sup>1,2</sup> Department of Wood and Paper Technology, University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup> Department of Chemistry, University of Golestan, Gorgan, Iran

Corresponding author:  
papyrus552000@yahoo.com

Received: 2012.12.19  
Accepted: 2013.11.05