

**بررسی استفاده از آرد چوب درخت صنوبر هیبرید (پده-کبوده) رقم "مفید" در تولید چوب پلاستیک**فرهاد زینلی<sup>۱</sup>، علی کاظمی تبریزی<sup>۲\*</sup> و امیرحسین جعفری مفیدآبادی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته دکترای صنایع چوب و کاغذ، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای صنایع چوب و کاغذ، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. پست الکترونیک: eng\_akt@yahoo.com

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی (علی آباد کنول)، دانشگاه گلستان، علی آباد کنول، ایران.

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

**چکیده**

یکی از راه‌های غلبه بر کمبود منابع چوبی، کشت درختان صنعتی می‌باشد. در این بین برای سرمایه‌گذاری بهینه در بخش زراعت چوب باید به مواردی از قبیل میزان رشد سالیانه گونه مورد کشت، تطابق گونه با آب‌وهوای منطقه، سازگاری با خاک محل کشت و همچنین کیفیت چوب تولیدی و قابلیت آن به‌عنوان ماده اولیه مورد استفاده در صنایع لیگنوسلولزی توجه شود. یکی از ارقام صنوبر با رشد فوق‌العاده سریع که به‌تازگی معرفی شده، صنوبر هیبرید مفید (*Populus euphratica Oliv. × P. alba L.*) می‌باشد. از آنجایی که چوب و ضایعات چوبی تولید شده در هنگام تبدیل مکانیکی چوب، به‌عنوان منبع اصلی مورد استفاده در تولید چندسازه چوب پلاستیک می‌باشد، در این پژوهش استفاده از آرد چوب درخت ۴ ساله صنوبر هیبرید "مفید" به‌عنوان ماده پرکننده در تولید چوب پلاستیک پلی‌اتیلنی بررسی شد. نتایج نشان داد که چندسازه‌های دارای پرکننده لیگنوسلولزی صنوبر مفید دارای خواص مکانیکی و فیزیکی قابل قبول و تقریباً مشابه با چندسازه‌های حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان (تیمار شاهد) بودند. نتایج نشان داد که در هر دو آزمون کشش و خمش تغییر طول در هنگام اعمال نیرو در چندسازه‌های دارای پرکننده صنوبر کمتر بود، بنابراین مدول‌های کششی و خمشی نسبت به چندسازه‌های شاهد بیشتر بود. نتایج نشان داد که استفاده از آرد چوب صنوبر سبب افت میزان مقاومت به ضربه گردید. همچنین از بین تیمارهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد پرکننده، تیمار دارای ۳۰ درصد پرکننده دارای بیشترین خواص مقاومتی بود. به‌طوری‌که تمامی نمونه‌ها دارای خواص جذب آب و واکنشیدگی ضخامت قابل قبولی بودند.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب-پلاستیک، صنوبر هیبرید مفید، پلی‌اتیلن، آرد چوب.

**مقدمه**

با توجه به کمبود منابع چوبی در کشور و همچنین آثار زیان‌بار قطع بی‌رویه درختان جنگلی لزوم استفاده و تعیین شرایط بهینه تولید محصولات چوبی با استفاده از دیگر منابع چوبی قابل کشت در ایران مانند چوب گونه‌های درختی سریع‌الرشد، در جهت کاهش فشار در بهره‌برداری از جنگل،

امری ضروری و با اهمیت به‌شمار می‌آید (Faezipour et al., 2002; Miri et al., 2016). صنوبر به‌عنوان گونه‌ای سریع‌الرشد از جمله درختانی است که به‌دلیل دارا بودن صفاتی از قبیل قدرت تولید جست (تکثیر شاخه‌زاد)، نیاز به مراقبت کم، دامنه اکولوژیکی نسبتاً بالا، دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت، قابلیت تکثیر غیرجنسی و امکان اصلاح کمی و کیفی آن،

تولید، در دسترس بودن، قابلیت بازیافت و سازگاری با محیط زیست، گوناگونی زیستی، استفاده از منابع تجدیدشونده، دانسیته پایین و سفتی بالا و ظاهر مناسب تر محصول نهایی را می توان نام برد. همچنین چندسازه هایی که با پرکننده های طبیعی ساخته می شوند سریع تر خنک شده و در نتیجه زمان تولید را کوتاه می کنند. البته جذب آب و استحکام گرمایی پایین از نقاط ضعف پرکننده های لیگنوسلولزی است و با توجه به اینکه مواد لیگنوسلولزی مختلف دارای ویژگی های متفاوتی می باشند، برای استفاده از هریک از این مواد باید به ویژگی های همان ماده توجه کرد ( Mirmehdi et al., 2014; Nourbakhsh et al., 2014; Einollahi et al., 2021).

امروزه چندسازه های چوب پلاستیک بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و مواد و فناوری تولید آن در حال گسترش است. کاربردهای جدید و نهایی گوناگونی برای مواد مرکب چوب پلاستیک وجود دارد که کاربردهایی مانند کف پوش، دیوارپوش، استفاده در صنایع خودروسازی و کشتی سازی و هواپیماسازی از آن جمله هستند ( Mirmehdi et al., 2014; Einollahi et al., 2021). به دلیل موفقیت چشمگیر درخت دست کاشت و سریع رشد صنوبر هیبرید مفید در تولید ماده چوبی در سنین کم، در این پژوهش به بررسی و ارزیابی استفاده از آرد چوب درخت ۴ ساله صنوبر هیبرید "مفید" در تولید چوب پلاستیک پلی اتیلنی به عنوان ماده پرکننده پرداخته شده است.

## مواد و روش ها

### مواد

چوب درخت صنوبر هیبریدی (پده-کبوده) رقم "مفید" ( $P.euphratica \times P.alba$ ) دارای سن ۴ سال با قطر برابر سینه ۲۰ سانتیمتر از زمین زراعت چوب واقع در روستای مفیدآباد در ۲۰ کیلومتری غرب شهر گرگان تهیه گردید (شکل ۱).

می تواند نقش بسیار مهمی در صیانت و احیای عرصه های جنگلی تخریب شده کشور ایفا نماید ( Jafari Mofidabadi, 2008). از میان گونه های صنوبر، هیبریدها به دلیل عملکرد بالا بیشتر در طرح توسعه زراعت چوب استفاده می شوند (Jafari Mofidabadi and Shahrzad, 2015). هیبرید جدید صنوبر رقم "مفید" از تلاقی بین دو گونه صنوبر پده *P. euphratica Oliv.* و صنوبر کبوده *P. alba L.* برای انتقال ژن عامل مقاومت در برابر گرمای هوا و شوری از پده به کبوده با استفاده از تغذیه مصنوعی جنین به دست آمده است ( Jafari Mofidabadi et al., 2009). با توجه به تجمع صفات خوب والدین در این هیبرید و رشد فوق العاده سریع آن، ضمن اینکه از تنه سیلندریک و صاف برخوردار است که موجب تولید چوب صنعتی مطلوب خواهد شد، استفاده از آن در توسعه زراعت چوب به ویژه در مناطق لب شور و شور مثبت ارزیابی شده است و لازم است استفاده از چوب تولیدی آن در صنایع مختلف چوبی مورد آزمون و بررسی قرار گیرد.

چندسازه چوب پلاستیک (WPC)<sup>۱</sup> یک نیمه بیوکامپوزیت است که معمولاً از یک پلیمر مبتنی بر مشتقات نفتی غیر قابل تجزیه به عنوان ماتریس و یک ماده لیگنوسلولزی زیست تخریب پذیر به عنوان پرکننده تشکیل شده است (Einollahi et al., 2021). به طور متداول، چوب و ضایعات چوبی تولید شده در هنگام تبدیل مکانیکی چوب، به عنوان منبع اصلی مورد استفاده در تولید چندسازه چوب پلاستیک می باشد (Mirmehdi et al., 2014; Nourbakhsh et al., 2014). بنابراین می توان از چوب گونه های سریع رشد و همچنین ضایعات آن به عنوان منبع لیگنوسلولزی جدید استفاده نمود.

استفاده از پرکننده های طبیعی به جای پرکننده های مصنوعی (الیاف شیشه، الیاف کربن، کربنات کلسیم و همچنین موادی از قبیل رس و تالک) در پلاستیک های گرمانرم در سال های اخیر بیشتر مورد تحقیق قرار گرفته است و دلیل آن مزایای پرکننده های طبیعی یا مواد لیگنوسلولزی نسبت به پرکننده های مصنوعی است که از آن جمله: قیمت پائین، سایش کم تجهیزات



شکل ۱- گرده‌بینه‌های ۴ ساله درخت صنوبر هیبریدی (پده-کبوده) رقم "مفید"

پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) نوع G5218، با شاخص جریان مذاب ۱۸ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، از شرکت پتروشیمی تبریز تهیه شد. پلی‌اتیلن گرافت شده با مالئیک انیدرید (MA-g-PE) به‌عنوان یکی از سازگارکننده‌های مرسوم و مناسب به‌منظور بهبود چسبندگی با شاخص جریان مذاب ۶ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، محصول شرکت آریا پلیمر، به میزان ۳ درصد در ترکیب استفاده شد.

خاک‌اره چوب درخت ۴ ساله صنوبر هیبریدی در هنگام عملیات برش گرده‌ها از زیراره نواری جمع‌آوری گردید. پس از خشک کردن خاک‌اره در آون، توسط آسیاب چکشی آزمایشگاهی آرد شد و توسط الک‌های مش ۴۰ و ۶۰ مورد غربالگری قرار گرفت. ذرات باقیمانده روی الک مش ۶۰ جمع‌آوری و در دمای  $2 \pm 103$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. برای تهیه نمونه شاهد از آرد چوب مخلوط پهن‌برگان که حاوی خاک‌اره چوب‌های راش، بلوط و اکالیپتوس با نسبت تقریباً مشابه بود، استفاده شد.

جدول ۱- درصد مواد استفاده شده در تولید چندسازه‌ها

کد تیمار	درصد پلیمر پلی‌اتیلن	درصد جفت‌کننده	نوع آرد چوب	درصد آرد چوب
S20	۷۷	۳	صنوبر مفید	۲۰
S30	۶۷	۳	صنوبر مفید	۳۰
S40	۵۷	۳	صنوبر مفید	۴۰
W20	۷۷	۳	مخلوط پهن‌برگان	۲۰
W30	۶۷	۳	مخلوط پهن‌برگان	۳۰
W40	۵۷	۳	مخلوط پهن‌برگان	۴۰

اکسترودر دو ماردون ناهمسوگرد مدل Dr. Collin Engelhardt GmbH D8510- Furth, Germany با ۱۰ ناحیه (شامل ۶ ناحیه حرارتی) ترکیب شدند. دمای نواحی

## روش‌ها

مواد تهیه شده مطابق جدول ۱ مخلوط شده و مخلوط حاصل برای تهیه گرانول‌های پلی‌اتیلن-آردچوب، توسط

آزمون کشش طبق آیین‌نامه D۶۳۸ استاندارد ASTM بر روی نمونه‌های دمبلی انجام شد و بارگذاری با سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه اعمال گردید. بدین‌منظور از دستگاه SANTAM مدل STM-20 موجود در آزمایشگاه پلیمر دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران استفاده شد. مقاومت به ضربه مطابق آیین‌نامه D۲۵۶ استاندارد ASTM به‌صورت فاق‌دار بر روی نمونه‌ها انجام شد. بدین‌منظور از دستگاه SANTAM مدل SIT-20E موجود در آزمایشگاه پلیمر دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران استفاده شد. آزمون سختی مطابق آیین‌نامه D۲۲۴۰ استاندارد ASTM و با استفاده از دستگاه SANTAM موجود در آزمایشگاه پلیمر دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران بر روی نمونه‌ها انجام شد. جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت مطابق استاندارد ASTM آیین‌نامه ۰۴-۳۱-۰۷ DV برای نمونه‌هایی به ابعاد ۱×۵ سانتیمتر تهیه شد.

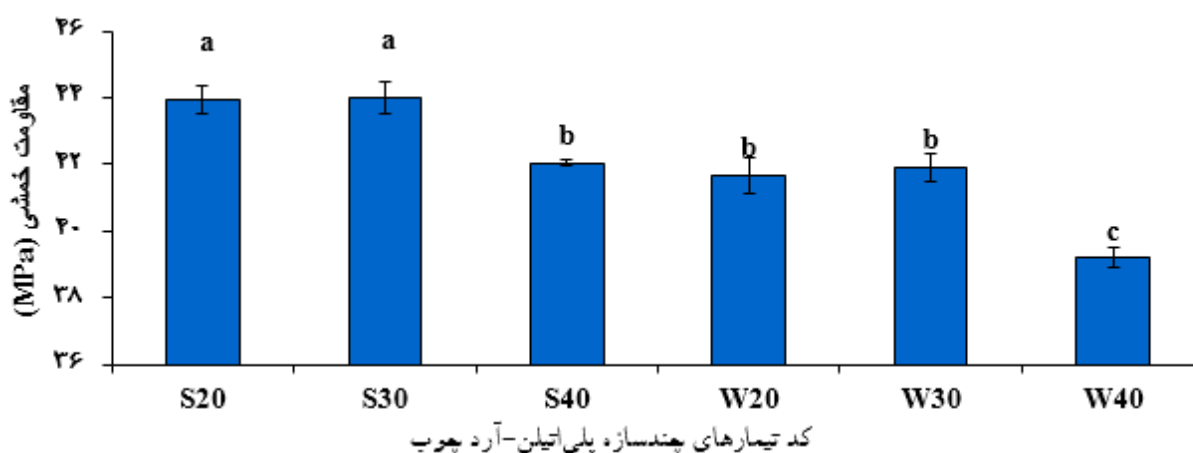
### تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد و بعد گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

حرارتی به ترتیب از سمت ورودی ۱۴۵، ۱۵۵، ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شده بود. ماردون‌ها با سرعت ۸۰ دور در دقیقه چرخش داشتند و میزان تغذیه بر اساس سطح چرخش تنظیم شده بود. مخلوط همگن شده خروجی از انتهای قالب (قطر ۲۵ میلی‌متر) به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند تا خنک شوند و بعد توسط دستگاه خردکن به ذرات کوچک (قطر ۲-۳ میلی‌متر) تبدیل شدند. گرانول‌های پلی‌اتیلن-آردچوب تهیه شده در داخل دستگاه تزریق (Paya Injection Molding Machine) ریخته شد. دمای سه ناحیه حرارتی دستگاه به ترتیب از سمت ورودی دستگاه ۱۸۵، ۱۸۵ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. نمونه‌های آزمونی شامل نمونه آزمون کشش، خمش، ضربه و جذب آب توسط فرایند تزریق چوب-پلاستیک انجام شد. از هر نمونه تعداد سه عدد تهیه شد. کلیه مراحل ساخت چندسازه‌ها در آزمایشگاه پلاستیک پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد.

### آزمون‌ها

آزمون خمش مطابق آیین‌نامه DV۹۰ استاندارد ASTM و با سرعت بارگذاری ۵mm/min بر روی نمونه‌ها انجام شد.



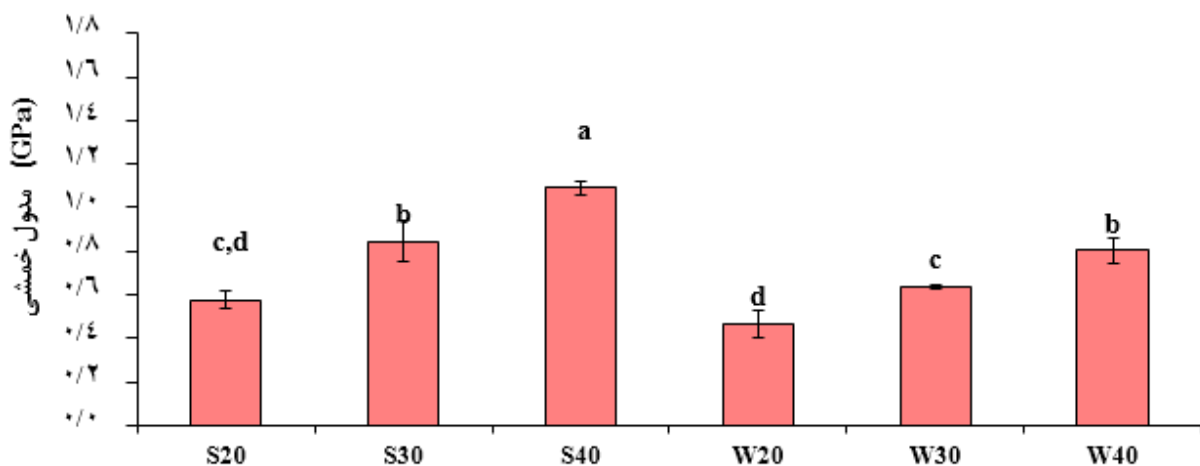
شکل ۲- مقادیر مقاومت خمشی چندسازه پلی‌اتیلن-آردچوب

## نتایج

### مقاومت خمشی و مدول خمشی

شکل ۲ مقادیر مقاومت خمشی چندسازه‌های گرم‌انرم پلی‌اتیلن-آردچوب را با دو نوع پرکننده لیگنوسلولزی (آرد چوب صنوبر مفید و آرد چوب مخلوط پهن‌برگان) در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است افزایش آرد چوب از ۲۰ به ۳۰ درصد در میزان مقاومت خمشی در هر دو گروه چندسازه اثر معنی‌داری نداشت اما در ادامه با افزایش بیشتر آرد چوب در ترکیب چندسازه (تا ۴۰٪)، میزان مقاومت خمشی کاهش یافت. همچنین مقاومت خمشی در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید بیشتر بود. حروف مشابه در نمودار نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. شکل ۳ میانگین مدول خمشی نمونه‌های چندسازه

پلی‌اتیلن-آردچوب را در مقادیر مختلف پرکننده لیگنوسلولزی با دو نوع پرکننده لیگنوسلولزی (آرد چوب صنوبر مفید و آرد چوب مخلوط پهن‌برگان) نشان می‌دهد. همچنین، مقادیر تغییر طول نمونه‌های چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب در تیمارهای متفاوت و در هنگام انجام آزمون خمش سه نقطه در شکل ۴ ارائه شده است. حروف مشابه در نمودارها نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. شکل ۳ نشان می‌دهد که مدول خمشی با افزایش میزان آرد چوب افزایش معنی‌داری داشت و در بین دو گروه پرکننده سلولزی، چندسازه‌های دارای آرد چوب صنوبر مفید دارای مدول خمشی بیشتری بودند. نتایج نشان داد که افزایش میزان مصرف آرد چوب در ترکیب چندسازه‌ها سبب کاهش معنی‌دار مقدار تغییر طول در هنگام اعمال نیروی خمشی گردید. همچنین مقدار تغییر طول در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید کمتر بود.



کد تیمارهای چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

شکل ۳- مقادیر مدول خمشی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

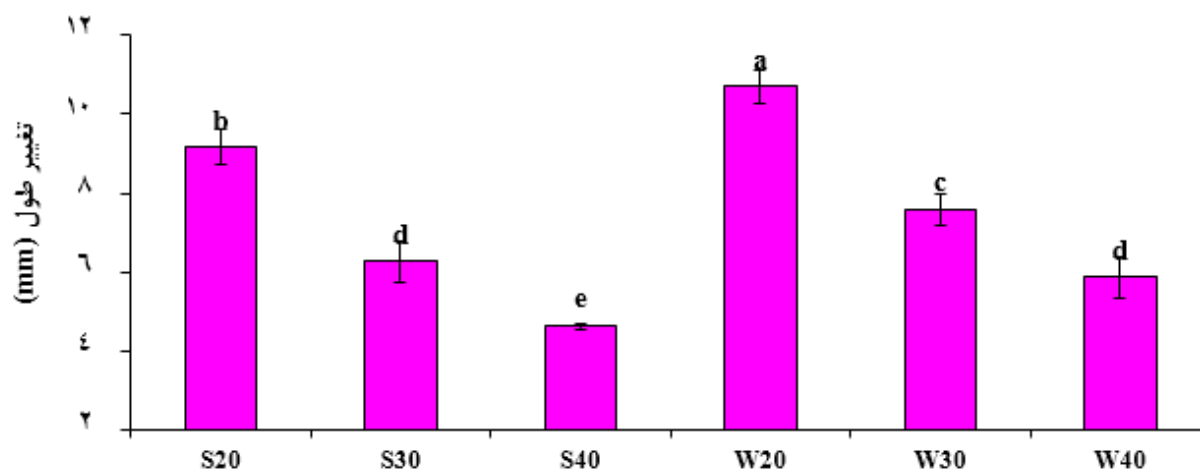
### مقاومت کششی و مدول کششی

نتایج حاصل از انجام آزمون کشش نمونه‌های حاصل از تیمارهای مختلف چندسازه‌های پلی‌اتیلن-آرد چوب شامل مقادیر مقاومت کششی، مدول کششی و تغییر طول ناشی از اعمال نیروی کششی به ترتیب در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است. حروف مشابه در این نمودارها نشان‌دهنده عدم

معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است در چندسازه حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان افزایش آرد چوب از ۲۰ به ۳۰ درصد در میزان مقاومت کششی اثر معنی‌داری نداشت اما در ادامه با افزایش بیشتر آرد چوب در ترکیب چندسازه (تا ۴۰٪)، میزان مقاومت کششی کاهش یافت. در چندسازه دارای آرد چوب صنوبر

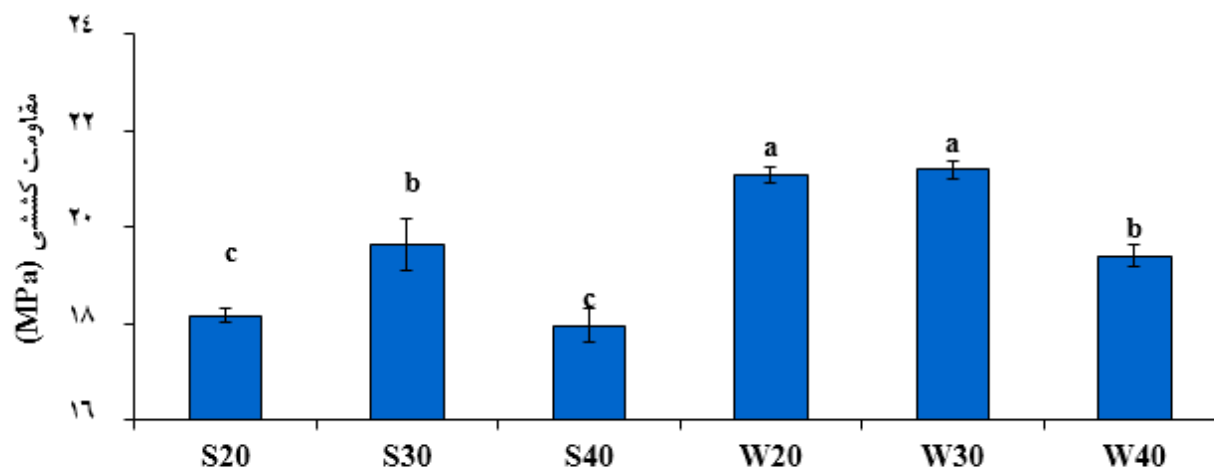
مقاومت کششی در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید کمتر بود.

مفید با افزایش آرد چوب از ۲۰ به ۳۰ درصد، مقاومت کششی افزایش معنی‌داری یافت، سپس با افزایش بیشتر آرد چوب (تا ۴۰٪)، میزان مقاومت کششی کاهش یافت. همچنین



کد تیمارهای چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

شکل ۴- مقادیر تغییر طول تحت تأثیر نیروی خمشی در چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب



کد تیمارهای چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

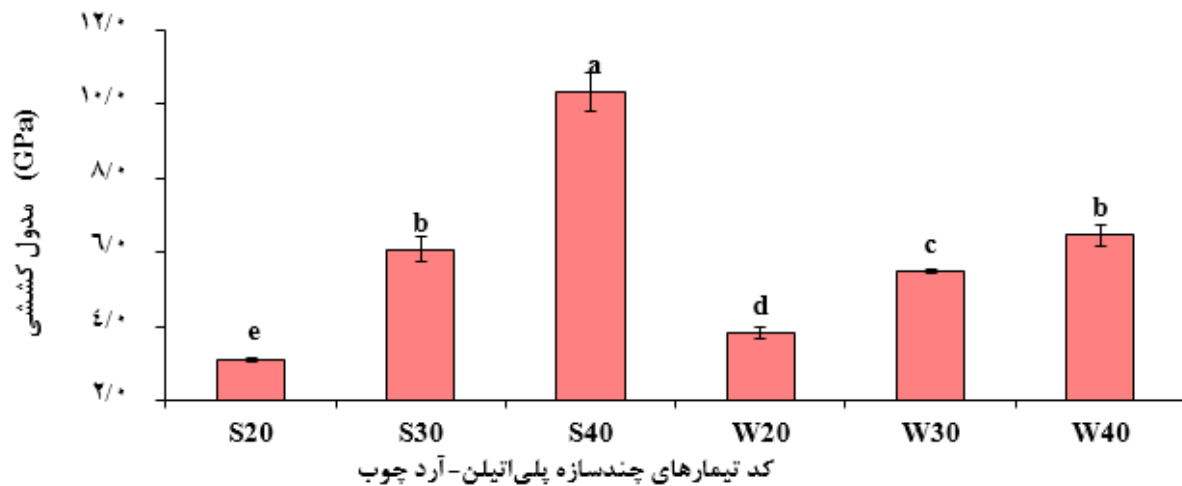
شکل ۵- مقادیر مقاومت کششی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

دارای مدول کششی بیشتری بودند، به جز نمونه حاوی ۲۰٪ پرکننده لیگنوسلولزی صنوبر مفید که مدول کششی کمتری داشت. نتایج نشان داد که افزایش میزان مصرف آرد چوب در

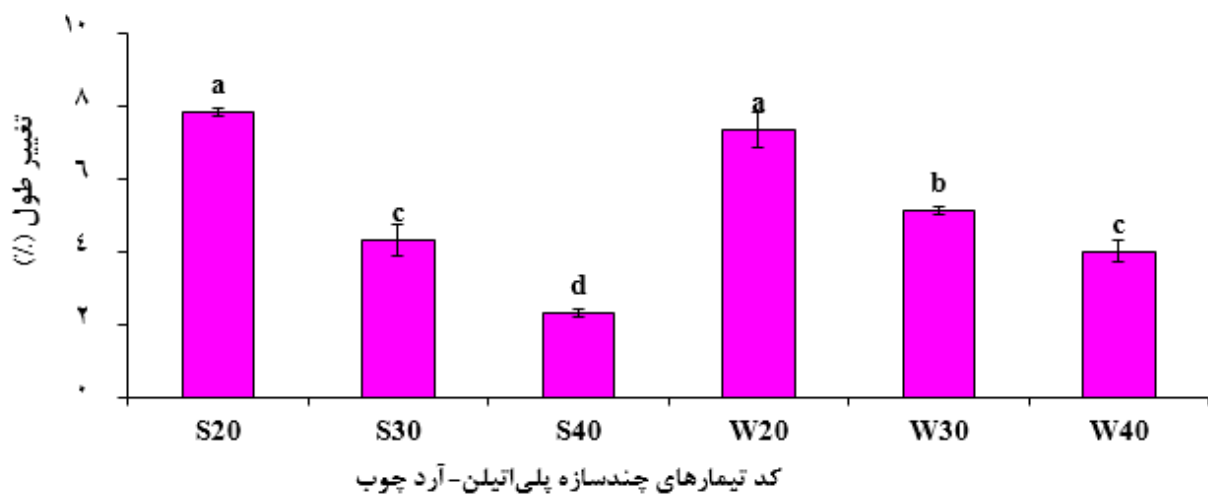
شکل ۶ نشان می‌دهد که مدول کششی با افزایش میزان درصد آرد چوب افزایش معنی‌داری داشت و در بین دو گروه پرکننده سلولزی، چندسازه‌های دارای آرد چوب صنوبر مفید

بود، به جز در نمونه دارای ۲۰٪ پرکننده لیگنوسلولزی که تفاوت معنی داری بین میزان تغییر طول آنها وجود نداشت.

ترکیب چندسازه‌ها سبب کاهش معنی دار مقدار تغییر طول در هنگام اعمال نیروی کششی گردید. همچنین مقدار تغییر طول در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید کمتر



شکل ۶- مقادیر مدول کششی چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب



شکل ۷- مقادیر تغییر طول تحت تأثیر نیروی کششی در چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب

افزایش میزان درصد آرد چوب کاهش معنی داری داشت و در بین دو گروه پرکننده سلولزی، چندسازه‌های دارای آرد چوب صنوبر مفید دارای مقاومت به ضربه کمتری بودند. نتایج نشان داد که افزایش میزان مصرف آرد چوب سبب افزایش معنی دار مقدار سختی چندسازه‌ها گردید. همچنین مقدار سختی در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید بیشتر بود.

### مقاومت به ضربه

نتایج به دست آمده از اجرای آزمون مقاومت به ضربه و سختی نمونه‌های چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب با دو نوع پرکننده لیگنوسلولزی (آرد چوب صنوبر مفید و آرد چوب مخلوط پهن‌برگان) در تیمارهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که مقاومت به ضربه با

جدول ۲- مقادیر مقاومت به ضربه و سختی در چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب

کد تیمار	میزان جذب انرژی (J)	مقاومت به ضربه (KJ/m <sup>2</sup> )	سختی (D)
S20	۰/۵ <sup>c</sup>	۶/۹۳ <sup>c</sup>	۶۶/۷ <sup>c</sup>
S30	۰/۴ <sup>d</sup>	۵/۴۳ <sup>d</sup>	۷۰/۰ <sup>b</sup>
S40	۰/۲۸ <sup>f</sup>	۳/۸۰ <sup>f</sup>	۷۲/۷ <sup>a</sup>
W20	۰/۶۵ <sup>a</sup>	۹/۰۰ <sup>a</sup>	۶۳/۷ <sup>d</sup>
W30	۰/۵۴ <sup>b</sup>	۷/۴۲ <sup>b</sup>	۶۹/۳ <sup>b</sup>
W40	۰/۳۴ <sup>e</sup>	۴/۶۷ <sup>e</sup>	۷۰/۳ <sup>b</sup>

\*: حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

### ویژگی های فیزیکی

در جدول ۳ میانگین خصوصیات فیزیکی چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب شامل دانسیته، جذب آب و واکنش پذیری ضخامتی بعد از غوطه وری ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت تخته های حاصل از تیمارهای مختلف ذکر شده است. نتایج نشان داد که

با افزایش آرد چوب مقادیر جذب آب و واکنش پذیری ضخامتی چندسازه ها افزایش معنی داری یافته است. همچنین نتایج نشان داد که در بیشتر موارد جذب آب هر چند اندک، اما به طور معنی داری در چندسازه های حاوی چوب صنوبر مفید بیشتر بود.

جدول ۳- خواص فیزیکی پانل های چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب

کد تیمار	جذب آب ۲ ساعت (%)		جذب آب ۲۴ ساعت (%)		جذب آب ۴۸ ساعت (%)	
	واکنش پذیری ضخامت	واکنش پذیری ضخامت	واکنش پذیری ضخامت	واکنش پذیری ضخامت	واکنش پذیری ضخامت	واکنش پذیری ضخامت
S20	۰/۱۰ <sup>d</sup>	۰/۱۵ <sup>e</sup>	۰/۲۰ <sup>d</sup>	۰/۶۲ <sup>e</sup>	۱/۱۰ <sup>d</sup>	۰/۸۵ <sup>d</sup>
S30	۰/۱۴ <sup>b,c</sup>	۰/۲۳ <sup>d</sup>	۰/۵۱ <sup>b</sup>	۱/۰۸ <sup>d</sup>	۱/۵۱ <sup>b</sup>	۱/۳۱ <sup>c</sup>
S40	۰/۳۱ <sup>a</sup>	۰/۳۴ <sup>c</sup>	۰/۸۵ <sup>a</sup>	۲/۷۶ <sup>a</sup>	۱/۶۹ <sup>a</sup>	۲/۹۹ <sup>a</sup>
W20	۰/۱۰ <sup>d</sup>	۰/۶۴ <sup>b</sup>	۰/۱۱ <sup>e</sup>	۱/۳۵ <sup>c</sup>	۱/۰۱ <sup>e</sup>	۱/۵۹ <sup>c</sup>
W30	۰/۱۴ <sup>c</sup>	۰/۷۱ <sup>b</sup>	۰/۱۹ <sup>d</sup>	۱/۹۹ <sup>b</sup>	۱/۱۲ <sup>c,d</sup>	۲/۱۵ <sup>b</sup>
W40	۰/۱۷ <sup>b</sup>	۰/۸۵ <sup>a</sup>	۰/۳۰ <sup>c</sup>	۲/۵۴ <sup>a</sup>	۱/۲۴ <sup>c</sup>	۲/۷۸ <sup>a</sup>

\*: حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

### بحث

خواص مکانیکی چندسازه پلی اتیلن-آرد چوب  
بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه ها بخش

مهمی از مهندسی مواد را تشکیل می دهد و هدف آن دستیابی به اطلاعاتی درباره رفتار ماده تحت تنش و حدود ظرفیت تحمل این تنش، تعیین ثابت های الاستیک ماده، تعیین تغییرات



در نتیجه مدول خمشی بیشتر می‌شود، درحقیقت در چندسازه‌های حاوی پلیمرهای نفتی گرمانرم افزودن پرکننده‌هایی نظیر پرکننده معدنی (مانند کربنات کلسیم) و پرکننده‌های زیستی (نظیر ذرات چوب) سبب افزایش سختی و کاهش خاصیت شکل‌پذیری و خاصیت خمیری پلیمرهای مصرفی می‌گردد (Klyosov, 2007; Kenechi *et al.*, 2016; Kutz, 2017).

نتایج حاصل از آزمون کششی چندسازه‌های پلی‌اتیلن-آردچوب نشان داد که مقاومت کششی چندسازه‌ها با افزایش میزان آرد چوب از ۲۰ به ۳۰ درصد افزایش چشمگیری داشت و سپس با افزودن بیشتر آرد چوب تا ۴۰ درصد، کاهش یافت. که علت آن بهبود مقاومت در اثر افزودن ذرات کشیده و طولی پرکننده لیگنوسولوزی و بهبود بافت چندسازه بود اما کاهش نسبت پلیمر چندسازه به جهت اضافه نمودن بیشتر آرد چوب (تا میزان ۴۰ درصد پرکننده) باعث عدم پوشش کامل ذرات پرکننده و توزیع نایکنواخت اجزای تشکیل دهنده و در نتیجه ایجاد مناطق تجمع مواد پرکننده و نقاط شکست می‌گردد (Mirmehdi *et al.*, 2014; Klyosov, 2007). البته آنالیز آماری نشان داد که بین تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد پرکننده در گروه پرکننده چوب مخلوط پهن‌برگان، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همین‌طور در گروه پرکننده چوب صنوبر مفید، بین تیمارهای ۲۰ و ۴۰ درصد پرکننده تفاوت معنی‌داری نبود. به‌علاوه نتایج نشان داد که مقاومت کششی در چندسازه‌های حاوی آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید کمی پایین‌تر بود. علت را می‌توان به سختی و انعطاف‌پذیری کمتر در حین اعمال نیروی کششی چندسازه‌های حاوی آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید مربوط دانست که در هنگام کشش این سختی بالاتر سبب عدم تغییر شکل الاستیک و پلاستیک شده و شکست سریع‌تر چندسازه رخ خواهد داد (Klyosov, 2007; Kutz, 2017; Einollahi *et al.*, 2021).

تعیین مقادیر مدول کششی نمونه‌های چندسازه پلی‌اتیلن-آردچوب نشان داد که چندسازه ساخته شده با پرکننده لیگنوسولوزی حاصل از آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید از مدول

در معرض رطوبت و حرارت و بررسی عوامل تأثیرگذار بر رفتار ماده تحت تنش می‌باشد (Ebrahimi & Rostampur, 2010).

نتایج نشان دادند که مقاومت خمشی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب با افزایش میزان آرد چوب از ۲۰ به ۳۰ درصد کمی افزایش و بعد با افزودن بیشتر آرد چوب تا ۴۰ درصد، کاهش یافت. دلیل افزایش مقاومت خمشی حضور ذرات کشیده و طولی پرکننده لیگنوسولوزی و بهبود بافت چندسازه بود اما افزودن بیش از حد پرکننده (۴۰ درصد آرد چوب) و کاهش مقدار پلیمر چندسازه باعث افت دربرگیری پرکننده توسط ماتریکس پلیمری و توزیع غیریکنواخت اجزای تشکیل دهنده شده که در نهایت سبب ایجاد نقاط شکست می‌گردد (Mirmehdi *et al.*, 2014; Klyosov, 2007). البته آنالیز آماری نشان داد که بین تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد پرکننده، در هر دو گروه ماده لیگنوسولوزی، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌علاوه نتایج نشان داد که مقاومت خمشی در چندسازه‌های حاوی آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید کمی بیشتر بود. دلیل آن می‌تواند به خاطر دانسیته کمتر و طول بیشتر ذرات پرکننده صنوبر مفید باشد (Klyosov, 2007).

از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی مدول الاستیسیته کامپوزیت‌ها، اجزای تشکیل دهنده آنها می‌باشد (Ebrahimi & Rostampur, 2010). چندسازه ساخته شده با پرکننده لیگنوسولوزی حاصل از آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید از مدول خمشی بیشتری نسبت به چندسازه‌های حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان برخوردار بود. درواقع با توجه به مقاومت ایجاد شده بیشتر در ناحیه برگشت‌پذیر چندسازه‌های حاوی آرد صنوبر و همچنین تغییر طول کمتر این چندسازه‌ها نسبت به چندسازه‌های حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان، مقادیر بیشتر مدول خمشی کامپوزیت‌های ساخته شده با پرکننده آرد صنوبر دور از انتظار نیست. درواقع مدول الاستیسیته رابطه مستقیمی با میزان مقاومت چندسازه در ناحیه برگشت‌پذیر چندسازه مورد اعمال نیرو دارد (Ebrahimi & Rostampur, 2010). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش آرد چوب سختی چندسازه افزایش یافته و

نمونه‌ها پس از ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت در تمامی تیمارها اندک بود. نتایج نشان دادند که با افزایش آرد چوب مقادیر جذب آب و واکنش‌دهی ضخامتی چندسازه اندکی افزایش می‌یابد که علت آن آب‌دوستی پرکننده لیگنوسلولوزی می‌باشد (Klyosov, 2007; Nourbakhsh *et al.*, 2014). همچنین نتایج نشان دادند که در بیشتر موارد جذب آب در مقادیر ناچیزی در چندسازه‌های حاوی چوب صنوبر مفید بیشتر بود، علت آن را می‌توان مربوط به دانسیته حجمی کمتر ذرات چوب صنوبر مفید در مقایسه با مخلوط پهن برگان دانست. مقدار واکنش‌دهی چندسازه تقریباً با میزان جذب آب اجزای تشکیل دهنده آن از رطوبت محیط بستگی دارد و پایداری ابعاد چندسازه عمدتاً به درجه تر شدن آن وابسته است (Wilpizewska and Stepto, 2003; Spychai, 2006). واکنش‌دهی ضخامتی معمولاً رفتاری مشابه با خاصیت جذب آب دارد و نفوذ آب به بافت چندسازه باعث ایجاد فاصله بین اجزای سازه می‌شود و به همین ترتیب تورم ایجاد می‌کند (Lomelí-Ramírez *et al.*, 2014; Kenechi *et al.*, 2016). از طرف دیگر مقادیر واکنش‌دهی ضخامتی، هرچند اندک، اما در بیشتر موارد در چندسازه‌های حاوی چوب مخلوط پهن‌برگان بیشتر بود؛ دلیل این رفتار نیز ممکن است مربوط به دانسیته بیشتر ذرات چوب این گروه پرکننده باشد که با جذب آب افزایش حجم بیشتری داشته است (Hernández, 2007). درواقع، میزان واکنش‌دهی در مواد چوبی به دانسیته چوب، میزان و نوع مواد استخراجی و میزان همگنی بافت چوب وابسته است، بطوریکه دانسیته چوب رابطه مستقیم با واکنش‌دهی چوب داشته اما مواد استخراجی اثر بازدارنده در واکنش‌دهی خواهد داشت (Hernández, 2007). بنابراین یکی از دلایل کم بودن واکنش‌دهی در نمونه‌های دارای پرکننده صنوبر ۴ ساله می‌تواند مربوط به مواد استخراجی بیشتر در چوب جوان صنوبر باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که چندسازه پلی‌اتیلن-آردچوب ساخته شده با پرکننده لیگنوسلولوزی آرد چوب صنوبر هیبرید مفید دارای خواص مکانیکی و فیزیکی قابل قبول و تقریباً مشابه با چندسازه‌های ساخته شده حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان بود. نتایج نشان داد که تغییر طول در حین اعمال نیرو در

کششی بیشتری نسبت به چندسازه‌های حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان برخوردار است (به‌جز تیمار حاوی ۲۰ درصد پرکننده). درواقع با توجه به اختلاف اندک مقاومت کششی در بین چندسازه‌های حاوی دو گروه پرکننده، نقش اصلی در اختلاف مدول کششی، ناشی از تفاوت در خاصیت انعطاف‌پذیری الاستیک و تغییر طول پلاستیک در این چندسازه‌ها می‌باشد، بطوریکه چندسازه‌های حاوی آرد چوب صنوبر مفید نسبت به چندسازه‌های حاوی آرد چوب مخلوط پهن‌برگان در اثر اعمال نیروی کششی تغییر طول کمتری داشته و در نتیجه مدول کششی بیشتری در چندسازه‌های ساخته شده با پرکننده آرد صنوبر مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش آرد چوب سختی چندسازه افزایش یافته و در نتیجه مدول کششی بیشتر می‌شود. معمولاً افزودن پرکننده‌های لیگنوسلولوزی در چندسازه‌های چوب-پلاستیک سبب افزایش سختی و کاهش خاصیت شکل‌پذیری و خاصیت خمیری پلیمرهای مصرفی می‌گردد (Klyosov, 2007; Kenechi *et al.*, 2016; Kutz, 2017).

نتایج حاصل از آزمون مقاومت به ضربه نمونه‌های چندسازه پلی‌اتیلن-آردچوب نشان داد که شکست در تمامی نمونه‌ها به صورت لولایی اتفاق افتاد و مقادیر جذب انرژی توسط نمونه‌ها با افزایش درصد پرکننده لیگنوسلولوزی کاهش یافت. درحقیقت در چندسازه‌های حاوی پلیمرهای نفتی گرمانرم افزودن پرکننده‌هایی نظیر پرکننده معدنی (مانند کربنات کلسیم) و پرکننده‌های زیستی (نظیر ذرات چوب) سبب کاهش جذب انرژی و عدم پخش آن در ماتریس چندسازه می‌گردد. میزان مقاومت به ضربه در چندسازه‌ها به نوع پرکننده، عوامل جفت‌کننده و به‌طور قابل‌توجهی به همگنی بافت و توزیع یکنواخت اجزا در چندسازه وابسته است (Klyosov, 2007; Kenechi *et al.*, 2016; Kutz, 2017). همچنین نتایج نشان داد که میزان مقاومت به ضربه در نمونه‌های حاوی آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید کمتر از نمونه‌های دارای آرد چوب مخلوط پهن‌برگان است.

خواص فیزیکی چندسازه پلی‌اتیلن-آردچوب نتایج نشان دادند که میزان جذب آب و واکنش‌دهی ضخامتی

- Jafari Mofidabadi, A. 2008. Propagation of *Populus caspica* through mature ovary. J. of genetic improvement of forests and rangelands plant species, 29: 13-21.
- Jafari Mofidabadi, A. and Shahrzad, S. 2015. Asexual reproduction of hybrid poplar "Mofid" (*Populus euphratica* Oliv. X *P. alba* L.) using tissue culture. J. of Wood & Forest Science and Technology, 22 (3): 127-141.
- Jafari Mofidabadi, A., Modir-Rahmeti, A., Tavesoli, A., Kazemi, F., Kelagari, M. and Asadi, F. 2009. Application of embryo rescue (ovary, ovule-embryo culture) in interspecific poplar hybridization. J. of Pejohesh and Sazendegi, 43: 38-41.
- Kenechi, N.O., Linus, C. and Kayode, A., 2016. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication- A Review. American Journal of Materials Synthesis and Processing, 1(3): 32-36.
- Klyosov, A.A., 2007. Wood-Plastic Composites. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 698p.
- Kutz, M., 2017. Applied Plastics Engineering Handbook. Processing, Materials, and Applications (2nd ed.). William Andrew Publishing, Norwich. 784p.
- Lomelí-Ramírez, M.G., Kestur, S.G., Manríquez-González, R., Iwakiri, S., Muniz, G.B. and Flores-Sahagun, T.S., 2014. Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II-Structure and properties. Carbohydrate Polymers 102, 576-583.
- Miri, S.M., Ghasemian, A., Resalati, H. and Zeinaly, F. 2016. Investigation on Producing Bleachable kraft Pulp from *Populus deltoids*. J. of Wood & Forest Science and Technology, 23(1): 133-148.
- Mirmehdi, S.M., Zeinaly, F. and Dabbagh, F., 2014. Date palm wood flour as filler of linear low-density polyethylene. Composites: Part B, 56, 137-141.
- Nourbakhsh, A., Ashori, A. and Kazemi Tabrizi, A., 2014. Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. Composites: Part B, 56, 279-283.
- Stepo, R.F.T., 2003. The processing of starch as a thermoplastic. Macromol. Symp. 201, 203-212.
- Wilpiszewska, K. and Spychai, T., 2006. Heat plasticisation of starch by extrusion in the presence of plasticizers. International Polymer Science and Technology, 33(10): 53-58.

آزمون‌های کششی و خمشی در چندسازه چوب-پلاستیک حاوی صنوبر مفید کمتر بود، بنابراین مدول‌های کششی و خمشی در این تیمارها نسبت به چندسازه حاوی آرد چوب مخلوط پهن برگان بیشتر بود. نتایج نشان داد که افزایش سختی نمونه‌های حاوی پرکننده لیگنوسلولزی صنوبر مفید سبب افت میزان انرژی جذب شده نمونه‌ها در حین انجام آزمون ضربه گردید. همچنین از بین تیمارهای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد پرکننده، افزودن ۳۰ درصد پرکننده لیگنوسلولزی به چندسازه پلی‌اتیلن-آردچوب دارای بیشترین خواص مقاومتی بود. در ارتباط با خواص فیزیکی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، تمامی نمونه‌ها خواص قابل قبولی داشتند، اما میزان جذب آب در نمونه‌های حاوی پرکننده لیگنوسلولزی صنوبر مفید بیشتر بود اما واکنشیدگی ضخامت این نمونه‌ها اندکی کمتر بود.

#### منابع مورد استفاده

- ASTM D256-10 (2010). "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics" ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D638-14 (2014). "Standard test method for tensile properties of plastics," ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D7031-04 (2004). "Standard guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products," ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790-17 (2017). "Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials," ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Ebrahimi, G., Rostampur, A., 2010. Wood Plastic Composites. Tehran University. 900p.
- Einollahi, Y., Hemmasi, A.H., Khademi Eslam, H., Ghasemi, E. and Taleipour, M. 2021. The Effect of Different Mineral Fillers on Starch/Rice Husk Composite Properties. BioResources, 16(1): 1772-1786.
- Faezipour, M., Kaburani, A. and Parsapajuh, D. 2002. Paper and material composite of agricultural resources. University of Tehran Press, Tehran, 573p.
- Hernández, R.E. 2007. Swelling properties of hardwoods as affected by their extraneous substances, wood density, and interlocked grain. Wood and Fiber Science, 39(1): 146-158.

## Investigating the use of wood-flour of hybrid populus (*euphratica-alba*) cultivar of “Mofid” in wood-plastic composite

F. Zeinaly<sup>1</sup>, A. Kazemi Tabrizi<sup>2\*</sup> and A. Jafari Mofidabadi<sup>3</sup>

1- Ph.D. in Wood and Paper Industries, Department of Wood and Paper Industry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2\*- Corresponding author, Ph.D. Candidate of Wood and Paper Industry, Department of Wood and Paper Industry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: eng\_akt@yahoo.com

3- Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Aliabad Katoul, Iran.

Received: April, 2021

Accepted: June, 2021

### Abstract

Growing industrial trees is one of the solutions to overcome the wood resources shortage. Thus, for efficient investment in wood cultivation, factors such as annual growth of cultivated species, species adaptation to the climate of the region, adaptation to the soil of the cultivation site and also the quality of the produced wood and its capability as a raw material used in lignocellulosic industries, must be regarded. One of the recently introduced extremely fast growing poplar cultivars is the “Mofid” hybrid poplar (*Populus euphratica Oliv. × P. alba L.*). Since the wood and wood-waste produced during the wood mechanical conversion, are used as the main source in the wood-plastic composite production, in this study, the use of 4-year-old Mofid” hybrid poplar wood-flour as filler in the polyethylene wood-plastic production was investigated. Results indicated that the composites with Mofid poplar lignocellulosic filler had acceptable mechanical and physical properties, in a way that they were comparable with the composites containing hardwoods wood-flour filler (control treatment). Results showed that the plasticity and irreversible-strain during applying force were less in poplar filler-composites, so the tensile and flexural moduli were higher than control composites. Results indicated that the use of poplar wood-flour reduced the impact resistance value. Also, among the treatments of 20, 30 and 40% filler, the 30% filler treatment had the highest mechanical properties. All samples had acceptable water-absorption and thickness-swelling characteristics.

**Keywords:** Wood-plastic composite, mofid hybrid populus, poly ethylene, wood flour.