Archive of SID

مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۶ شماره ۳، صفحه ۲۴۲-۲۳۱ (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2021.354060.1671
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1400.36.3.6.8

بررسی استفاده از آرد چوب درخت صنوبر هیبرید (پده-کبوده) رقم "مفید" در تولید چوب پلاستیک

فرهاد زینلی[۱]، علی کاظمی تبریزی[۲*] و امیرحسین جعفری مفیدآبادی[۳]

۱- دانش‌آموخته دکترای صنایع چوب و کاغذ، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، 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 محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، پست‌الکترونیک: eng_akt@yahoo.com

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی (علی‌آباد کتول)، دانشگاه گلستان، علی‌آباد کتول، 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 آنجایی‌که 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 واکشیدگی 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 ازجمله 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،

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند نقش بسیار مهمی در صیانت و احیای عرصه‌های جنگلی تخریب شده کشور ایفا نماید (Jafari Mofidabadi, 2008). از میان گونه‌های صنوبر، هیبریدها به دلیل عملکرد بالا بیشتر در طرح توسعه زراعت چوب استفاده می‌شوند (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 به‌دست‌آمده است (Jafari Mofidabadi *et al.*, 2009). با توجه به تجمیع صفات خوب والدین در این هیبرید و رشد فوق‌العاده 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 به‌ویژه در مناطق لب‌شور و شور مثبت ارزیابی شده است و لازم است استفاده از چوب تولیدی آن در صنایع مختلف چوبی مورد آزمون و بررسی قرارگیرد.

چندسازه چوب پلاستیک (WPC)[1] یک نیمه بیوکامپوزیت است که معمولاً از یک پلیمر مبتنی بر مشتقات نفتی غیرقابل تجزیه به‌عنوان ماتریس و یک ماده لیگنوسلولزی زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان پرکننده تشکیل شده است (Einollahi *et al.*, 2021). به‌طور متداول، چوب و ضایعات چوبی تولید شده در هنگام تبدیل مکانیکی چوب، به‌عنوان منبع اصلی مورد استفاده در تولید چندسازه چوب پلاستیک می‌باشد (Mirmehdi *et al.*, 2014; Nourbakhsh *et al.*, 2014)، بنابراین می‌توان از چوب گونه‌های سریع‌الرشد و همچنین ضایعات آن به‌عنوان منبع لیگنوسلولزی جدید استفاده نمود.

استفاده از پرکننده‌های طبیعی به جای پرکننده‌های مصنوعی (الیاف شیشه، الیاف کربن، کربنات کلسیم و همچنین موادی از قبیل رس و تالک) در پلاستیک‌های گرمانرم در سال‌های اخیر بیشتر مورد تحقیق قرار گرفته است و دلیل آن مزایای پرکننده‌های طبیعی یا مواد لیگنوسلولزی نسبت به پرکننده‌های مصنوعی است که از آن جمله: قیمت پائین، سایش کم تجهیزات تولید، در دسترس بودن، قابلیت بازیافت و سازگاری با محیط‌زیست، گوناگونی زیستی، استفاده از منابع تجدیدشونده، دانسیته پایین و سفتی بالا و ظاهر مناسب‌تر محصول نهایی را می‌توان نام برد. همچنین چندسازه‌هایی که با پرکننده‌های طبیعی ساخته می‌شوند سریع‌تر خنک شده و درنتیجه زمان تولید را کوتاه می‌کنند. البته جذب آب و استحکام گرمایی پایین از نقاط ضعف پرکننده‌های لیگنوسلولزی است و با توجه به اینکه مواد لیگنوسلولزی مختلف دارای ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند، برای استفاده از هریک از این مواد باید به ویژگی‌های همان ماده توجه کرد (Mirmehdi *et al.*, 2014; Nourbakhsh *et al.*, 2014; Einollahi *et al.*, 2021).

امروزه چندسازه‌های چوب پلاستیک بیش‌ازپیش موردتوجه 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 کف‌پوش، دیوارپوش، استفاده در صنایع خودروسازی و کشتی‌سازی و هواپیماسازی از آن جمله هستند (Mirmehdi *et al.*, 2014; Einollahi *et al.*, 2021). به دلیل موفقیت چشمگیر درخت دست‌کاشت و سریع‌الرشد 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 پلی‌اتیلنی به‌عنوان ماده پرکننده پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

چوب درخت صنوبر هیبریدی (پده–کبوده) رقم "مفید" (*P.euphratica*×*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).

1 -Wood Plastic Composite

www.SID.ir

Archive of SID

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

خاک‌اره چوب درخت ۴ ساله صنوبر هیبریدی در هنگام عملیات برش گرده‌ها از زیر اره 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 ۲ ± ۱۰۳ 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.

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.

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

روش‌ها

مواد تهیه شده مطابق جدول ۱ مخلوط شده و مخلوط حاصل برای تهیه گرانول‌های پلی‌اتیلن-آردچوب، توسط اکسترودر دو ماردون ناهمسوگرد مدل Dr. Collin Engelhardt GMBH D8510- Furth, Germany با ۱۰ ناحیه (شامل ۶ ناحیه حرارتی) ترکیب شدند. دمای نواحی

www.SID.ir

Archive of SID

حرارتی به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 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.

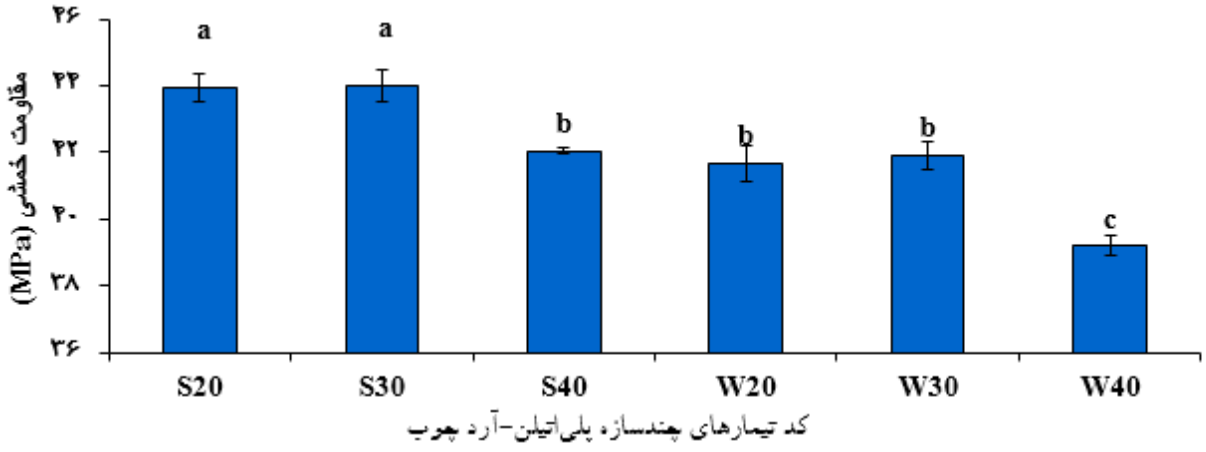
آزمون‌ها

آزمون خمش مطابق آیین‌نامه D۷۹۰ استاندارد ASTM و با سرعت بارگذاری 5mm/min بر روی نمونه‌ها انجام شد.

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 واکشیدگی ضخامت ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت مطابق استاندارد ASTM آیین‌نامه D۷۰۳۱–۰۴ برای نمونه‌هایی به ابعاد ۱×۵ سانتیمتر تهیه شد.

تحلیل آماری

برای تجزیه‌وتحلیل نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد و بعد گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.



شکل ۲– مقادیر مقاومت خمشی چندسازه پلی‌اتیلن–آردچوب

www.SID.ir

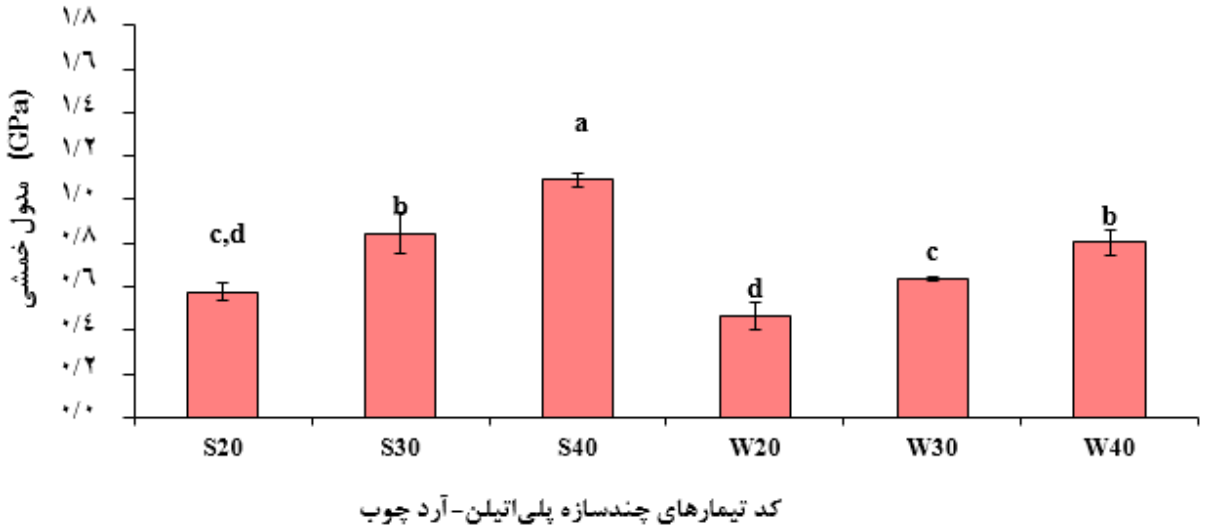
Archive of SID

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. همان‌طورکه 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 درصد 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.



شکل ۳– مقادیر مدول خمشی چندسازه پلی‌اتیلن–آرد چوب

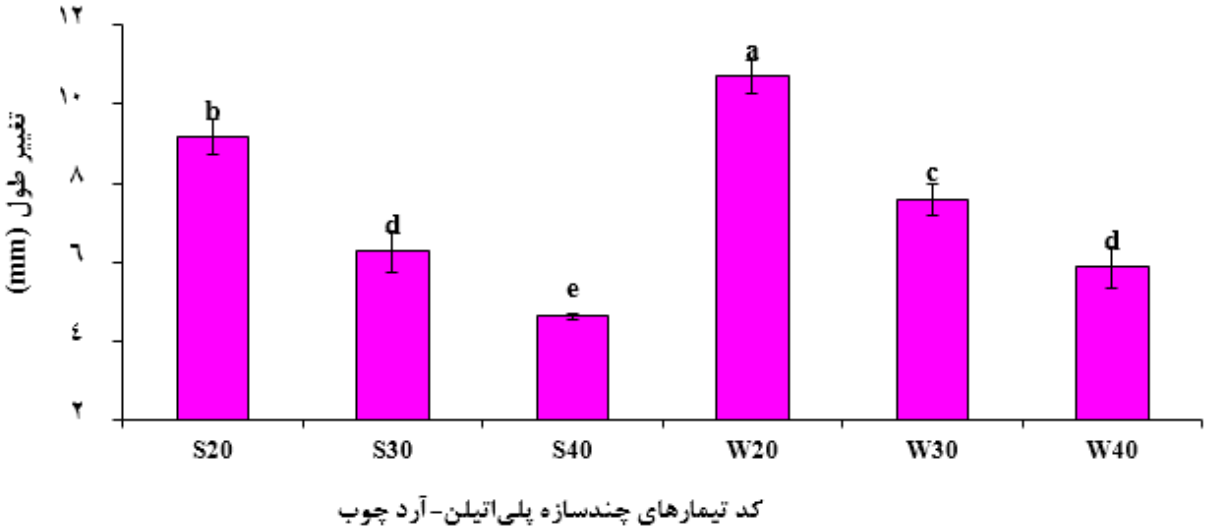
مقاومت کششی و مدول کششی

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 به‌ترتیب در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه شده است. حروف مشابه در این نمودارها نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. همان‌طورکه 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

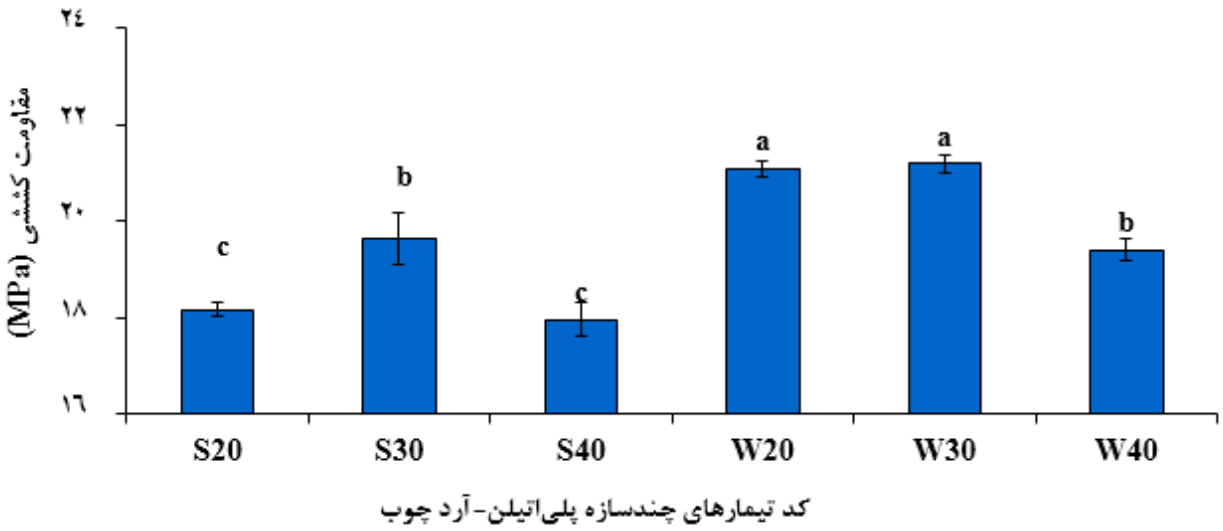
www.SID.ir

Archive of SID

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



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



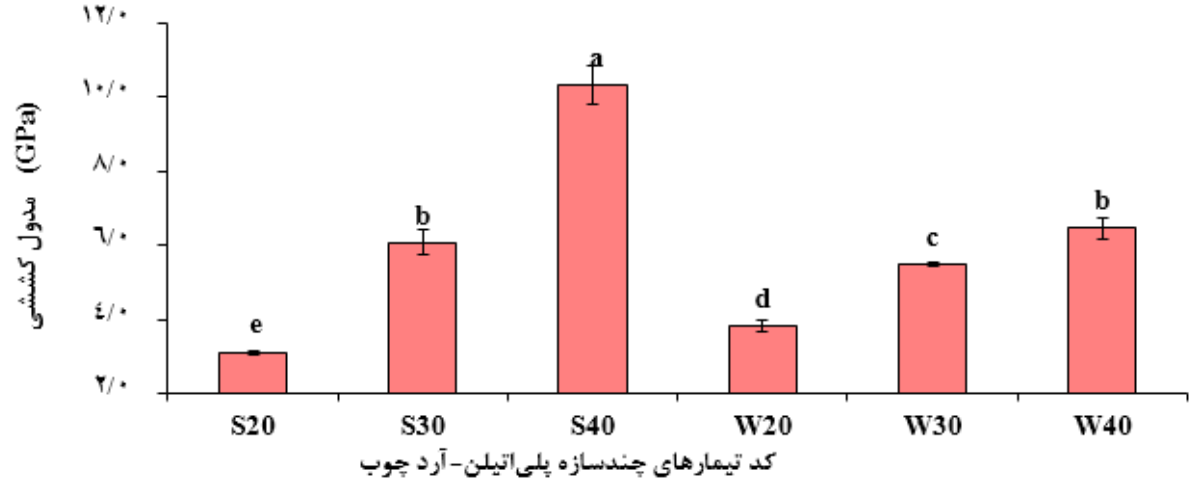
شکل ۵- مقادیر مقاومت کششی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

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

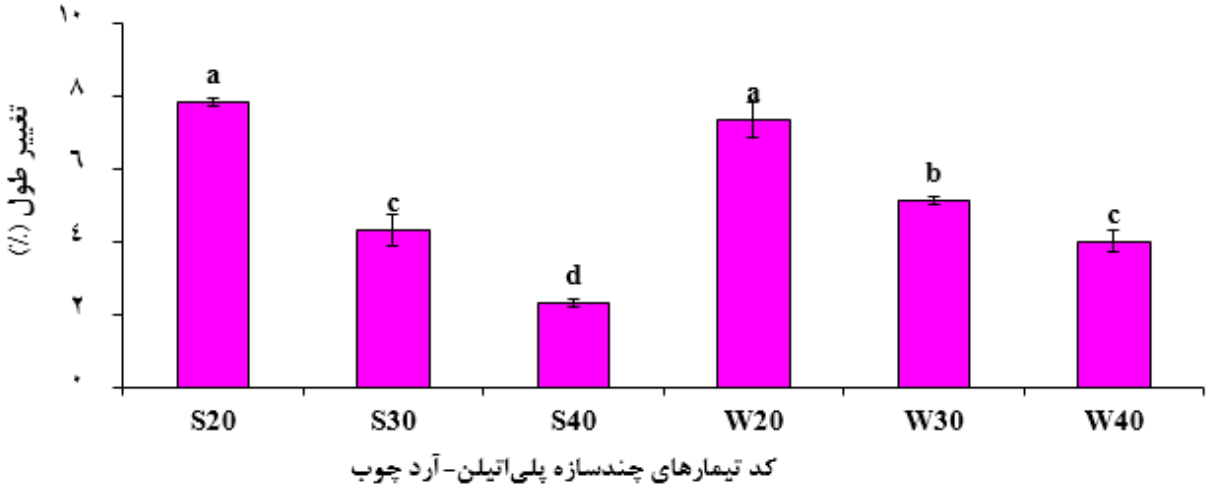
www.SID.ir

Archive of SID

ترکیب چندسازه‌ها سبب کاهش معنی‌دار مقدار تغییر طول در هنگام اعمال نیروی کششی گردید. همچنین مقدار تغییر طول در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید کمتر بود، به‌جز در نمونه دارای ۲۰٪ پرکننده لیگنوسلولزی که تفاوت معنی‌داری بین میزان تغییر طول آنها وجود نداشت.



شکل ۶- مقادیر مدول کششی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب



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

مقاومت به ضربه

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای آزمون مقاومت به ضربه و سختی نمونه‌های چندسازه پلی‌اتیلن-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 افزایش میزان درصد آرد چوب کاهش معنی‌داری 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 معنی‌دار مقدار سختی چندسازه‌ها گردید. همچنین مقدار سختی در چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر مفید بیشتر بود.

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

*: حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

ویژگی‌های فیزیکی

در جدول ۳ میانگین خصوصیات فیزیکی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب شامل دانسیته، جذب آب و واکشیدگی ضخامتی بعد از غوطه‌وری ۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت تخته‌های حاصل از تیمارهای مختلف ذکر شده است. نتایج نشان داد که با افزایش آرد چوب مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامتی چندسازه‌ها افزایش معنی‌داری یافته است. همچنین نتایج نشان داد که در بیشتر موارد جذب آب هرچند اندک، اما به‌طور معنی‌داری در چندسازه‌های حاوی چوب صنوبر مفید بیشتر بود.

جدول ۳- خواص فیزیکی پانل‌های چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

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

*: حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

بحث

خواص مکانیکی چندسازه پلی‌اتیلن-آرد چوب

بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌ها بخش مهمی از مهندسی مواد را تشکیل می‌دهد و هدف آن دستیابی به اطلاعاتی درباره رفتار ماده تحت تنش و حدود ظرفیت تحمل این تنش، تعیین ثابت‌های الاستیک ماده، تعیین تغییرات

www.SID.ir

Archive of SID

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 لیگنوسلولزی و بهبود بافت چندسازده بوداما 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 نشـــان داد که بین تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد پرکننده، در هر دو گروه ماده لیگنوسلولزی، 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 کمـــتر و طول بیشتر ذرات پرکننده صنوبر مفید باشد (Klyosov, 2007).

از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار برروی مدول الاستیسیته کامپوزیت‌ها، اجزای تشکیل دهنده آنها می‌باشد (Ebrahimi & Rostampur, 2010). چندسازه ساخته شده با پرکننده لیگنوسلولزی 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 درنتیجه مدول خمـــشی بیشـــتر می‌شود، درحقیقت در چندســـازه‌های حـــاوی 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 لیگنوسلولزی و بهبود بافت چندسازده بود اما کاهش نسبت پلیمر چندسازه به‌جهت اضافه نمودن بیشتر آرد چوب (تا میزان ۴۰ درصد پرکننده) باعث عدم پوشش کامل ذرات پرکننده و توزیع نایکنواخت اجزای تشکیل دهنده و درنتیجه ایجاد مناطق تجمع مواد پرکننده و نقاط شکست می‌گردد (Mirmehdi *et al.*, 2014; Klyosov, 2007). البته آنالیز آماری نشان داد که بین تیمـــارهای 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 به‌سختی و انعطاف‌پـــذیری کمـــتر در حـــین 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 لیگنوسلولزی حاصل از آرد چوب صنوبر هیبریدی مفید از مدول

www.SID.ir

Archive of SID

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 درنتیجه 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 درنتیجه مدول کششی بیشتر می‌شود. معمولاً افزودن پرکننده‌های لیگنوسلولزی 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 لیگنوسلولزی 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 واکشیدگی ضخامتی 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 واکشیدگی ضخامتی چندسازه اندکی افزایش می‌یابد که علت آن آب‌دوستی پرکننده لیگنوسلولزی 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 واکشیدگی 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 (Stepto, 2003; Wilpiszewska and Spychai, 2006). واکشیدگی 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 واکشیدگی 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 واکشیدگی در مواد چوبی به دانسیته چوب، میزان و نوع مواد استخراجی و میزان همگنی بافت چوب وابسته است، بطوریکه دانسیته چوب رابطه مستقیم با واکشیدگی چوب داشته اما مواد استخراجی اثر بازدارنده در واکشیدگی خواهد داشت (Hernández, 2007). بنابراین یکی از دلایل کم بودن واکشیدگی 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 لیگنوسلولزی 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 واکشیدگی ضخامت، تمامی نمونه‌ها خواص قابل قبولی داشتند، اما میزان جذب آب در نمونه‌های حاوی پرکننده لیگنوسلولزی صنوبر مفید بیشتر بود اما واکشیدگی 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 Plasic Composites. Tehran University. 900p.
-Einollahi, Y., Hemmasi, A.H., Khademi Eslam, H., Ghasemi, E. and Talaeipour, 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.
-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.
-Stepto, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

F. Zeinaly[1], A. Kazemi Tabrizi[2*] and A. Jafari Mofidabadi[3]

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.

www.SID.ir