نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://jwfst.gau.ac.ir

بررسی خواص مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک تقویت شده با الیاف پلی‌استر ضایعاتی

*سیده زهرا حسینی[۱] و علی‌اکبر عنایتی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری، گروه تکنولوژی چندسازه‌های چوبی، دانشکده تکنولوژی شیمیایی و بیوتکنولوژی، دانشگاه تکنولوژی جنگل سنت پترزبورگ، روسیه، [۲]استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۸/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: این تحقیق با هدف بررسی اثر الیاف مصنوعی ضایعاتی از نوع پلی‌استر در بهبود خواص مکانیکی چندسازه‌های چوب پلاستیک و همچنین کاهش تجمع الیاف ذکر شده در محیط زیست و کاهش آلودگی زیست‌محیطی از طریق استفاده بهینه از مواد اولیه دور ریز ضایعاتی (الیاف پلی‌استر) در جهت نیاز بشر، ارتقا صنعت چوب پلاستیک و بهبود شرایط اقتصادی این صنعت انجام شد. تاکنون محققیق زیادی جهت بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک روش‌های گوناگونی از قبیل اصلاح سطح الیاف، استفاده از مواد افزودنی و هیبرید کردن را مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق تحقیقات انجام شده یکی از منابع کاربردی برای بهبود خواص چندسازه چوب پلاستیک، مواد آلی مصنوعی می‌باشند. پژوهشگران در رشته‌های مختلف علمی از مواد آلی مصنوعی از نوع الیاف پلیمری، الیاف کوتاه تهیه کرده و درون سازه‌های مختلف از جمله بتون، آسفالت و چوب پلاستیک به‌منظور تقویت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن‌ها استفاده کرده‌اند.

مواد و روش‌ها: دو نوع الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و الیاف پولوش)، پلی‌اتیلن سنگین، آرد چوب صنوبر، پلی‌اتیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPE) و اتیلن گلیسایدل کوپلیمر (E-GMA) به عنوان مواد جفت کننده مورد استفاده قرار گرفتند. پس از دو مرحله اختلاط، گرانول‌های حاصل در

*مسئول مکاتبه: seyedehzahrahoseini@yahoo.com

مرحله بعد توسط پرس گرم با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰ مگاپاسکال، به تخته‌های آزمونی با ابعاد ۰/۷×۲۰×۲۰ سانتی‌متر تبدیل شدند. سپس جهت بررسی مقاومت‌های مکانیکی شامل مقاومت خمشی، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه تخته‌های آزمونی طبق استاندارد، برش خورده و آماده شدند. قابل ذکر است که عکس‌هایی توسط میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست کششی چندسازه‌ها به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و پولوش) بر خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک گرفته شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها نشان دادند که با افزایش میزان الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و الیاف پولوش)، مدول‌الاستیسیته کششی چندسازه چوب پلاستیک کاهش و مدول‌الاستیسیته خمشی آن افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان الیاف فرش، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک- الیاف فرش افزایش یافته است. بررسی ریخت‌شناسی توسط میکروسکوپ الکترونی بیان کننده این است که با افزایش درصد وزنی الیاف پلی‌استر، سطوح شکست متراکم‌تر و هموارتر و پیوستگی بین مواد تشکیل دهنده چندسازه بیش‌تر می‌شود.

نتیجه‌گیری: حداکثر مقاومت خمشی در نمونه حاوی ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش دیده شد. اما در مورد الیاف پولوش، مقدار ۱۰ درصد وزنی آن، حد بهینه در افزایش مقاومت خمشی و کششی چندسازه چوب پلاستیک- الیاف پولوش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌استر، چندسازه، چوب پلاستیک

مقدمه

چوب پلاستیک مخلوطی از مواد پلیمری و سلولزی است. معمول‌ترین پلاستیک‌های مورد استفاده شامل: پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی‌وینیل کلراید می‌باشند (۱۲). چندسازه‌های چوب پلاستیک فواید چوب و پلاستیک را توام دارند (۱۶). تخته کوبی سقف و کفپوش، تزئینات دکور، در و پنجره و استفاده در خودرو از کاربردهای متداول این دسته از کامپوزیت‌ها می‌باشند (۱۱ و ۷).

در مقایسه با پرکننده‌های معدنی، آرد چوب، موجب افت خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه می‌شود (۱۱). بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک به روش‌های گوناگونی از قبیل اصلاح سطح الیاف (۳)، استفاده از مواد افزودنی (۵) و هیبرید کردن (٦) صورت می‌گیرند. یکی از منابع کاربردی برای بهبود خواص چندسازه چوب پلاستیک، مواد آلی مصنوعی می‌باشد (٤ و ۱۳). مواد آلی مصنوعی از نوع الیاف پلیمری (الیاف پلی‌استر) دارای مقاومت به جذب آب، مقاومت کششی و استحکام خمشی، قابلیت انعطاف‌پذیری بالا و همین‌طور نقطه ذوب بالاتری نسبت به پلاستیک‌های متداول مورد استفاده در صنعت چوب پلاستیک می‌باشند (۲).

پلیمر پلی‌استر از فرآیند استری دو ماده دی‌اتیلن گلیکول و دی‌متیل ترفتالات در واحد پلیمریزاسیون در سه رآکتور به‌صورت مرحله‌ای تولید می‌شود (۱۵). الیاف پلی‌استر معمولاً دارای سطح مقطع دایره‌ای شکل می‌باشند. درمقابل اسیدها و قلیاهای ضعیف مقاوم می‌باشد. دارای جذب رطوبت بسیار کم و حداکثر ۰/۵ درصد و نقطه ذوب ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۵). الیاف مصنوعی به‌علت عدم تجزیه‌پذیری زیستی موجب افزایش نگرانی برای محیط‌زیست می‌شوند، بنابراین محققین در رشته‌های مختلف از آن‌ها الیاف کوتاه تهیه کرده‌اند و درون سازه‌های مختلف از جمله بتون، آسفالت و چوب پلاستیک به‌منظور تقویت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن‌ها استفاده کرده‌اند (۸ و ۱۰).

لای و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی خصوصیات مکانیکی، حرارتی و فیزیکی چندسازه الیاف درخت موز- پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)/ نایلون ٦ پرداختند. نتایج این تحقیق دلالت بر این واقعیت دارد که حضور نایلون ٦ در چندسازه الیاف موز/ پلی‌اتیلن سنگین موجب افزایش مقاومت و مدول خمشی، مقاومت و مدول کششی و کاهش مقاومت به ضربه و جذب آب و واکشیدگی ضخامتی چندسازه چوب پلاستیک- نایلون ٦ می‌شود (۷).

لی و وو (۲۰۱۰) در مورد چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده با پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)، الیاف میکرونی پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و اتیلن گلیسایدل کوپلیمر (E-GMA)[1] به‌عنوان ماده جفت کننده تحقیق کردند. نتایج نشان دادند که با اضافه شدن ۲۵ درصد وزنی الیاف میکرونی پلی‌اتیلن ترفتالات به چندسازه، مقاومت‌های مکانیکی این چندسازه افزایش می‌یابند. افزودن ۲ درصد اتیلن

1- Ethylene- glycidyl methacrylate copolymer

گلیساید کوپلیمر (E-GMA) نیز موجب افزایش سازگاری میان بستر و الیاف میکرونی پلی‌اتیلن ترفتالات شد و همچنین مقاومت‌های مکانیکی چندسازه را افزایش داد (۸).

والنت و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر الیاف شیشه بازیافت شده در بهبود خواص ساختاری و مکانیکی چندسازه گرمانرم ترکیب شده با آرد چوب/ الیاف شیشه بازیافتی پرداختند. نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی نشان دادند که افزایش مدول‌الاستیسیته و مقاومت خمشی، سختی و مقاومت به پیچ چندسازه، تابع افزایش محتوای الیاف شیشه می‌باشد. بررسی ریخت‌شناسی برای مطالعه اثر سطحی و پراکنش الیاف شیشه بازیافتی، توسط میکروسکوپ الکترونی نشان دهنده پراکندگی خوب و همگن الیاف شیشه در چندسازه هیبریدی گرمانرم/ آرد چوب بود (١٤).

آلماده و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه هیبریدی آرد چوب درخت خرما/ پلی‌پروپیلن بازیافتی تقویت شده با الیاف شیشه پرداختند. نتایج اثبات کردند که با افزودن ۵ درصد وزنی الیاف شیشه به چندسازه چوب پلاستیک، مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی ۱۸ درصد نسبت به چندسازه فاقد الیاف شیشه و دیگر ویژگی‌های مکانیکی افزایش می‌یابند. بررسی ریخت‌شناسی نشان داد که الیاف شیشه دارای چسبندگی خوب با پلی‌پروپیلن بازیافتی است (۱).

این تحقیق با هدف بررسی اثر الیاف پلی‌استر ضایعاتی کارخانه‌های نساجی (الیاف پولوش) و قالی بافی (الیاف فرش) در بهبود خواص مکانیکی چندسازه آردچوب/ پلی‌اتیلن/ پلی‌استر و همچنین کاربردی کردن الیاف ضایعاتی نساجی (الیاف فرش و پولوش) جهت کاهش حجم مواد ضایعاتی غیرقابل تجزیه در محیط‌زیست انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد و دستگاه‌های مورد استفاده: در این پژوهش مواد اولیه شامل پلی‌اتیلن سنگین با شاخص جریان مذاب ۲۰ گرم بر ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۵٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب، آرد چوب صنوبر به‌عنوان پرکننده سلولزی، دو نوع الیاف پلی‌استر ضایعاتی، الیاف پولوش حاصل از ضایعات کارخانجات نساجی، با میانگین طول ۰/۵ میلی‌متر و دیگری الیاف ضایعاتی قالی، تهیه شده از شرکت فرش ماشینی ایران با میانگین طول ۵ میلی‌متر، پلی‌اتیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPE) با دانسیته ۰/۹۳٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب و اتیلن گلیسایدیل متاکریلیت کوپلیمر (E-GMA) باشاخص جریان مذاب ۵ گرم بر ۱۰ دقیقه به‌عنوان عامل جفت مورد استفاده قرار گرفتند. اختلاط مواد و تهیه گرانول‌ها توسط دو

نوع اکسترودر انجام شد. ابتدا اکسترودر دو مارپیچه نا همسوگرد (کولین) و سپس اکسترودر دو ماردون همسوگرد مدل USEON, TDS26B استفاده شد. آزمون خمش سه نقطه، براساس آیین‌نامه D 790 استاندارد ASTM و آزمون کششی بر اساس آیین‌نامه D 638 استاندارد ASTM توسط دستگاه تست مکانیکی اینسترون مدل ٤٤٨٦ انجام شدند. آزمون ضربه در این تحقیق به روش ایزود مطابق با آیین‌نامه D-256 استاندارد ASTM توسط دستگاه آزمون ضربه انجام شد. جهت بررسی دقیق‌تر تأثیر الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و پولوش) بر خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک، از سطح شکست کششی چندسازه‌ها با میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل S٣٦٠ ساخت شرکت Cambridge عکس‌هایی گرفته شد.

ساخت نمونه‌ها: آرد چوب قبل از فرآیند ساخت و پس از گذراندن از الک با مش ٤٠ و جمع‌آوری ذرات عبور کرده از الک، آماده و به‌مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ١٠٣ درجه سانتی‌گراد تا رطوبت ١ درصد به‌طور کامل خشک شد. ساخت نمونه‌ها در سه مرحله انجام شد. به‌علت عدم امکان ایجاد اختلاط مناسب بین پلی‌اتیلن و الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و الیاف پولوش) ابتدا پلی‌اتیلن و الیاف پلی‌استر همراه با اتیلن گلیسایدیل متاکریلیت کوپلیمر (E-GMA) به میزان ٢ درصد وزنی بر اساس وزن پلاستیک (الیاف پلی‌استر و پلی‌اتیلن) و به‌عنوان ماده افزودنی سازگار کننده توسط اکسترودر دو مارپیچه نا همسوگرد با دمای ١٧٠ درجه سانتی‌گراد مخلوط شده و گرانول تهیه شد (٨). قابل ذکر است که الیاف پلی‌استر به‌علت دارا بودن نقطه ذوب بالا (٢٥٠ درجه سانتی‌گراد)، توسط دمای اکسترودر ذوب نشده و به‌صورت فیبر در گرانول‌ها باقی می‌مانند (١٥). در مرحله بعد، گرانول‌های حاصل از مرحله اول همراه با آرد چوب خشک شده و پلی‌اتیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPE) با نسبت‌های وزنی بیان شده در جدول ١، توسط اکسترودر دو ماردون همسوگرد با دمای ١٧٠ درجه سانتی‌گراد مخلوط شدند. مواد مخلوط شده رشته‌ای شکل، پس از خروج از اکسترودر به منظور خنک شدن، از حمام آب سرد عبور داده شدند و به کمک دستگاه گرانول ساز به گرانول تبدیل شدند. در مرحله آخر ٢١ عدد تخته به ابعاد ٠/٧×٢٠×٢٠ سانتی‌متر با روش قالب‌گیری توسط پرس گرم هیدرولیک به‌مدت ٥ دقیقه با دمای ١٦٠ درجه سانتی‌گراد و فشار ١٠ مگاپاسکال ساخته شدند و در نهایت به‌مدت ٣ دقیقه جهت رسیدن به ضخامت نهایی درون پرس سرد قرار داده شدند. به‌منظور دستیابی به رطوبت تعادل، تخته‌ها به‌مدت دو هفته در اتاق کلیما با رطوبت نسبی ٦٥ درصد و دمای ٢٣ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

جدول ۱- درصد وزنی ترکیب اجزای تشکیل دهنده تیمارهای مختلف چندسازه چوب پلاستیک.

Table 1. Weighting percent of the composition of components of different treatments of wood plastic composites.

تیمار Treatment	آرد چوب Wood flour	الیاف پلی‌استر Polyester fibers		ماده زمینه Matrix	
		الیاف فرش Carpet fibers	الیاف پولوش Plush fibers	پلی‌اتیلن سنگین HDPE	پلی اتیلن مالئیکه MAPE
1	40	10	0	48	2
2	40	15	0	43	2
3	40	20	0	38	2
4	40	0	10	48	2
5	40	0	15	43	2
6	40	0	20	38	2
7	40	0	0	58	2

طرح آماری: برای تحلیل نتایج از روش آماری تجزیه واریانس با استفاده از آزمون F بهره گرفته شد. تحلیل‌ها در سطح اعتماد ۱ و ۵ درصد انجام شد. از آزمون دانکن برای مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک تقویت شده با الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و الیاف پولوش) را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد.

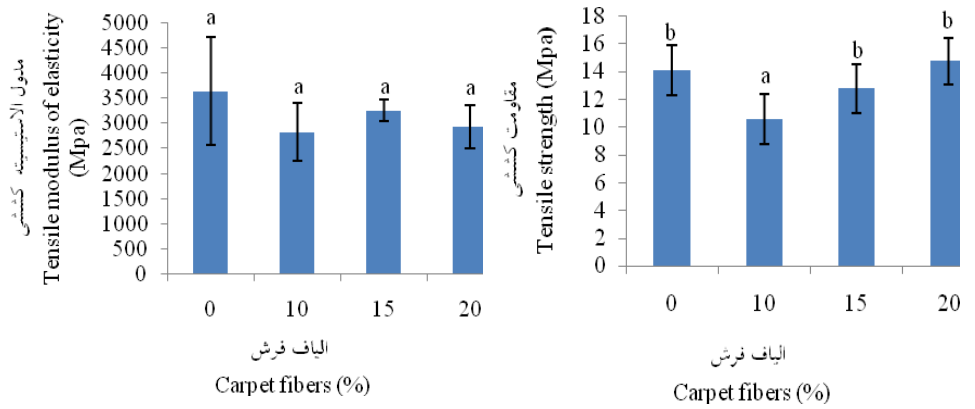
جدول ۲- تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی.

Table 2. Variance Analysis of the mechanical strengths.

منبع Source	مقاومت کششی Tensile strength	مدول‌الاستیسیته کششی Tensile modulus of elasticity	مقاومت خمشی Flexural strength	مدول‌الاستیسیته خمشی Flexural modulus of elasticity	مقاومت به ضربه Impact strength
الیاف فرش Carpet fibers	٭0.003	ns 0.170	٭٭0.000	٭٭0.000	٭٭٠0.000
الیاف پولوش Plush fibers	٭٠0.012	٭٠0.012	٭٭0.000	٭٭٠0.000	ns 0.338

٭٭ معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ٭ معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

شکل ۱ نشان دهنده کاهش اندک مدول‌الاستیسیته کششی در نمونه‌های حاوی الیاف فرش نسبت به نمونه فاقد الیاف فرش می‌باشد. دلیل این امر کمتر بودن مدول‌الاستیسیته کششی پلی‌استر با میزان ۰/۵۵ گیگاپاسکال نسبت به مدول‌الاستیسیته کششی پلی‌اتیلن سنگین (مدول‌الاستیسیته کششی ۰/٦٤ گیگاپاسکال است (۲، ۸ و ۱۵). افزایش مقاومت کششی در چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش مشاهده می‌شود. که البته مقاومت کششی نمونه بدون الیاف فرش بیشتر از مقاومت کششی نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی الیاف فرش است و نمونه حاوی ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش بیشترین میزان مقاومت کششی را به خود اختصاص داده است. در توصیف این امر باید گفت که مقاومت کششی به همگنی ماده زمینه و برهم‌کنش‌های بین الیاف و ماده زمینه بستگی دارد. از آن‌جایی که الیاف پلی‌استر غیرقطبی هستند اصولا پراکنش آن‌ها در بستر غیر قطبی به‌خوبی انجام نمی‌شود. بنابراین با افزودن ۱۰ درصد الیاف پلی‌استر (الیاف فرش)، پراکنش این الیاف بسیار بلند (۵ میلی‌متر) در ماده زمینه به‌طور ناهمگن انجام می‌گیرد که این امر موجب برهم خوردن یکنواختی ترکیب مواد در چندسازه و در نتیجه ایجاد تمرکز بار کششی در نقاطی از ماده زمینه که پراکنش الیاف فرش یکسان نیست می‌شود. ولی با افزایش الیاف فرش به ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی به‌علت افزایش تراکم این الیاف، پراکنش آن‌ها در بستر به‌طور یکنواخت انجام شده است. البته تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی (شکل ۷) که از سطح شکست نمونه‌های کششی تهیه شده است این ادعا را ثابت میکند. در نتیجه همگنی ترکیب مواد چندسازه افزایش می‌یابد و اثر منفی تمرکز بار کششی حذف می‌شود. با انتقال بار به الیاف بلند فرش مقاوت‌های کششی نمونه‌های حاوی ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش نسبت به نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف فرش افزایش می‌یابند. بنابراین نتیجه می‌شود که باید درصد وزنی استفاده از الیاف کوتاه در چندسازه چوب پلاستیک کنترل گردد (۱۲ و ١٦). با توجه به نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس موجود در جدول ۲، کاهش مدول‌الاستیسیته کششی در نمونه‌های حاوی الیاف فرش نسبت به نمونه فاقد الیاف فرش معنی‌دار نیست و با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که اختلاف بین میانگین مقاومت کششی نمونه‌ها از لحاظ درصد الیاف فرش، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

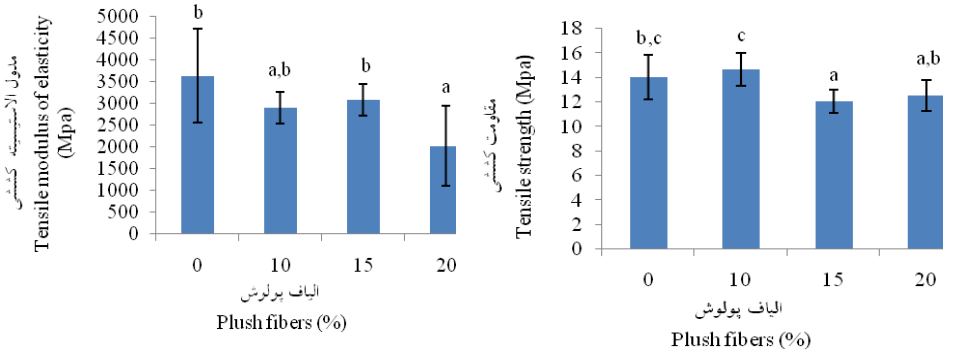


شکل ۱- اثر میزان الیاف ضایعاتی فرش بر مدول‌الاستیسیته کششی و مقاومت کششی.

Figure 1. Effect of waste carpet fibers on the tensile modulus of elasticity and tensile strength.

با توجه به شکل ۲ افزودن الیاف پولوش به چندسازه چوب پلاستیک، موجب کاهش مدول‌الاستیسیته کششی آن شده است. که دلیل این امر همانطور که برای الیاف فرش بیان شد، کمتر بودن مدول‌الاستیسیته کششی پلی‌استر نسبت به پلی‌اتیلن سنگین است (۲، ۸ و ۱۵). حداکثر مقاومت کششی مربوط به تیمار حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف پولوش می‌باشد و با افزایش الیاف پولوش به ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی، مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که نتایج به‌دست آمده عکس نتایج حاصل از تأثیر الیاف فرش بر مقاومت کششی چندسازه (شکل ۱) می‌باشد. برای توجیه این امر باید بیان کرد که طول الیاف پولوش و الیاف فرش به‌ترتیب ۰/۵ و ۵ میلی‌متر می‌باشند، بنابراین چون طول الیاف پولوش ۱ دهم الیاف فرش است، با توجه به عکس‌های الکترونی (شکل ۷)، استفاده ۱۰ درصد وزنی الیاف پولوش به‌علت کوچک بودن طول این الیاف، موجب برهم خوردن همگنی ترکیب مواد چندسازه و تمرکز بار کششی در بخش ناهمگن بستر و به طبع آن کاهش مقاومت کششی چندسازه ۱۰ درصد الیاف پولوش- آرد چوب- پلی‌اتیلن نمی‌شود. از طرفی کوچکتر بودن اندازه الیاف پولوش نسبت به الیاف فرش موجب کافی نبودن میزان اتیلن گلیسایدل کوپلیمر (E-GMA) به‌عنوان عامل جفت کننده بین الیاف پولوش و پلی‌اتیلن، در نمونه‌های حاوی ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی الیاف پولوش می‌شود. به‌دلیل این‌که اتیلن گلیسایدل کوپلیمر (E-GMA) در این تحقیق به میزان ثابت ۲ درصد وزنی در نظر گرفته شده است، به اندازه کافی در اختیار الیاف پولوش در تراکم بالا قرار نمی‌گیرد در نتیجه اتصال مطلوبی بین الیاف پولوش و پلی‌اتیلن ایجاد نمی‌شود که این امر موجب کاهش مقاومت کششی این

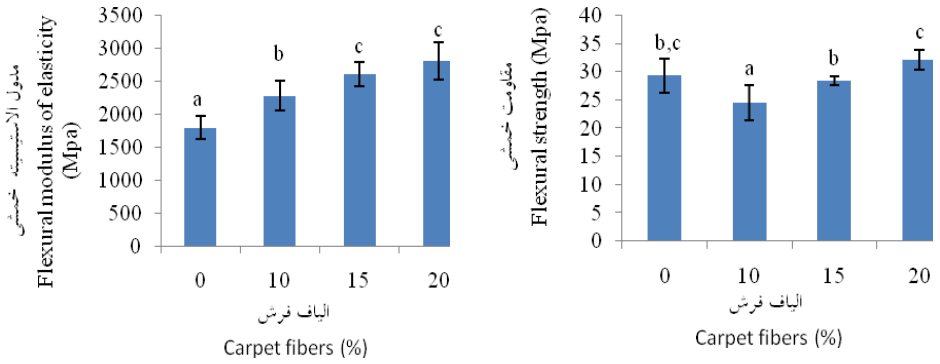
نمونه‌ها می‌شود (۷ و ۸). بر اساس نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۲، اختلاف بین میانگین مقاومت و مدول‌الاستیسیته کششی نمونه‌های حاوی الیاف پولوش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.



شکل ۲- اثر میزان الیاف ضایعاتی پولوش بر مدول‌الاستیسیته کششی و مقاومت کششی.

Figure 2. Effect of the waste plush fibers on the tensile modulus of elasticity and tensile strength.

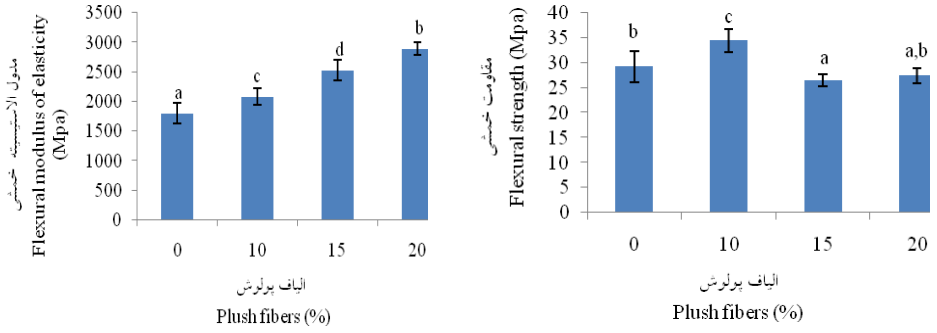
با توجه به شکل ۳ مشخص است که با افزایش درصد وزنی الیاف فرش مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه چوب پلاستیک- الیاف فرش افزایش می‌یابد که دلیل این امر بیشتر بودن مدول‌الاستیسیته خمشی پلی‌استر با میزان ۲/٦ گیگاپاسکال نسبت به پلی‌اتیلن سنگین (۰/۸ گیگاپاسکال) است (۲، ۸ و ۱۵). افزایش مقاومت خششی در چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش مشاهده می‌شود. که البته نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی الیاف فرش مقاومت خمشی کمتری نسبت به نمونه بدون الیاف فرش دارد. از آنجایی که مقاومت‌های کششی و خمشی به همگنی ماده زمینه و برهم‌کنش‌های بین الیاف و ماده زمینه بستگی دارد (۱۲ و ۱٦)، استدلال نتایج این بخش قابل استناد به مطالب بیان شده برای تأثیر الیاف فرش بر مقاومت کششی چندسازه (شکل ۱) می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۲، اختلاف بین میانگین مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی نمونه‌ها از لحاظ درصد الیاف فرش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.



شکل ۳- اثر میزان الیاف ضایعاتی فرش بر مدول‌الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی.

Figure 3. Effect of waste carpet fibers on the flexural modulus of elasticity and flexural strength.

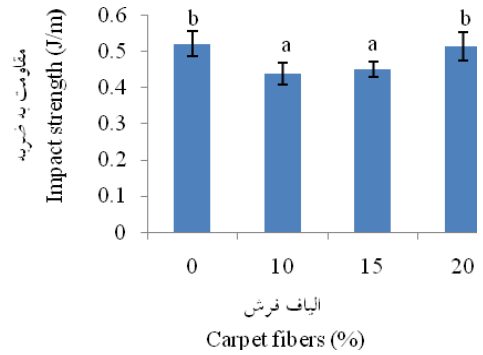
با توجه به شکل ٤ ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد الیاف پولوش مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه افزایش می‌یابد و حداکثر این افزایش در نمونه حاوی ۲۰ درصد الیاف پولوش دیده می‌شود. البته چون الیاف فرش و پولوش هر دو از یک جنس یعنی الیاف پلی‌استر می‌باشند، دلیل این امر قابل استناد به مطالب ذکر شده برای تاثیر الیاف فرش بر مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه (شکل ۳) می‌باشد. حداکثر مقاومت خمشی توسط نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف پولوش به‌دست آمده است و با افزایش الیاف پولوش به ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی، مقاومت خششی چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که نتایج به‌دست آمده عکس نتایج حاصل از تأثیر الیاف فرش بر مقاومت خمشی چندسازه (شکل ۳) می‌باشد. برای توجیه این امر از آنجایی که مقاومت‌های خمشی و کششی به همگنی ماده زمینه و برهم کنش‌های بین الیاف و ماده زمینه بستگی دارد (۱۲ و ١٦)، به استدلال بیان شده برای عدم تطابق نتایج حاصل از تأثیر الیاف پولوش و فرش بر مقاومت کششی (شکل ۲) چندسازه استناد می‌کنیم. علاوه‌بر این، به‌علت بیشتر بودن مقاومت خمشی الیاف پلی‌استر ۲۸ مگاپاسکال نسبت به مقاومت خمشی پلی‌اتیلن سنگین ٢٤/٥ مگاپاسکال با افزودن ۱۰ درصد الیاف کوتاه پولوش مقاومت خمشی چندسازه افزایش پیدا کرده است (۸). بر اساس نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۲، اختلاف بین میانگین مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی نمونه‌ها از لحاظ درصد وزنی الیاف پولوش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.



شکل ٤- اثر میزان الیاف ضایعاتی پولوش بر مدول‌الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی.

Figure 4. Effect of the waste plush fibers on the flexural modulus of elasticity and flexural strength.

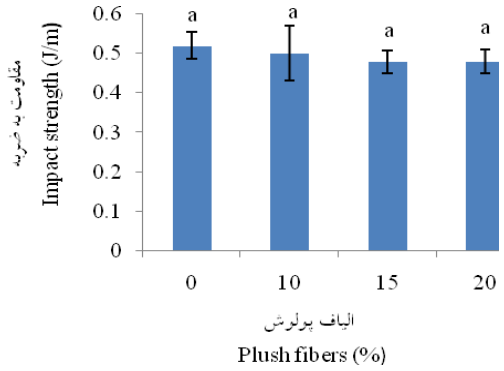
با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش الیاف فرش از ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی، مقاومت به ضربه چندسازه افزایش یافته است و مصرف ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش، بیشترین اثر را بر افزایش مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک- الیاف فرش دارد. مقاومت به ضربه به تمرکز تنش در ماده زمینه بستگی دارد (۱۲ و ١٦). از آنجایی که الیاف پلی‌استر غیر قطبی هستند اصولاً پراکنش آن‌ها در بستر غیر قطبی بخوبی انجام نمی‌شود. بنابراین با افزودن ۱۰ درصد الیاف فرش، پراکنش این الیاف بسیار بلند (۵ میلی‌متر) در ماده زمینه به‌طور ناهمگن انجام می‌گیرد که این امر موجب برهم خوردن یکنواختی ترکیب مواد در چندسازه و در نتیجه ایجاد تنش در نقاطی از ماده زمینه که پراکنش الیاف فرش یکسان نیست می‌شود. ولی با افزایش الیاف فرش به ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی به‌علت افزایش تراکم این الیاف، پراکنش آن‌ها در بستر به‌طور یکنواخت انجام شده است. البته تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی که از سطح شکست نمونه‌های کششی تهیه شده است این ادعا را ثابت می‌کند. در نتیجه همگنی ترکیب مواد چندسازه افزایش می‌یابد و اثر منفی تمرکز تنش حذف می‌شود (۱۲ و ١٦). بر اساس نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۲، اختلاف بین میانگین مقاومت به ضربه نمونه‌ها از لحاظ درصد الیاف فرش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.



شکل ۵- اثر میزان الیاف ضایعاتی فرش بر مقاومت به ضربه.

Figure 5. Effect of waste carpet fibers on impact strength.

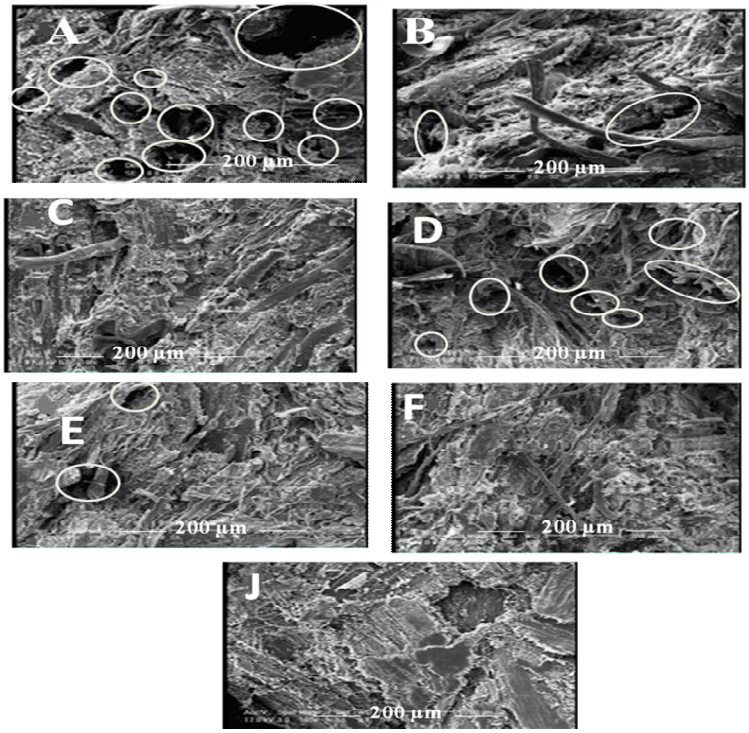
شکل ٦ نشان می‌دهد که استفاده از الیاف پولوش موجب کاهش اندک مقاومت به ضربه چندسازه شده است که این کاهش با توجه به نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۲، معنی‌دار نیست. مشاهده می‌شود که نتایج به‌دست آمده عکس نتایج حاصل از تأثیر الیاف فرش بر مقاومت به ضربه چندسازه می‌باشد. برای توجیه این امر با استناد به نتایج بیان شده برای عدم تطابق نتایج حاصل از تأثیر الیاف فرش و پولوش بر مقاومت‌های خمشی و کششی، باید بیان کرد که استفاده ۱۰ درصد الیاف پولوش موجب ایجاد تمرکز تنش در بستر و کاهش معنی‌دار مقاومت به ضربه چندسازه نمی‌شود. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن مشاهده می‌شود که میانگین مقاومت به ضربه نمونه‌های مختلف در یک گروه قرار گرفته‌اند.



شکل ٦- اثر میزان الیاف ضایعاتی پولوش بر مقاومت به ضربه.

Figure 5. Effect of waste plush fibers on impact strength.

بررسی ریخت‌شناسی: با توجه به شکل ۷ قابل مشاهده است که با افزایش درصد الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و پولوش) یکنواختی و همگنی مواد در ساختار چندسازه‌ها افزایش یافته و به دنبال آن حفرات (توسط حلقه در شکل نشان داده شده‌اند) که نشان دهنده پیوستگی نامطلوب مواد است کاهش یافته است. دلیل این امر این است که با افزایش درصد وزنی الیاف پلی‌استر، سطوح مشترک اتصال بین الیاف پلی‌استر، آردچوب و پلی‌اتیلن بیش‌تر می‌شود، در نتیجه پیوستگی بین مواد تشکیل دهنده چندسازه افزایش یافته است و سطوح شکست هموارتر می‌باشند. قابل مشاهده است که سطح شکست کششی نمونه فاقد الیاف پلی‌استر شکل (J) نسبت به سایر سطوح هموارتر و یکنواخت‌تر می‌باشد.



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) با بزرگ نمایی ۲۰۰ میکرومتر از سطوح شکست کششی چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۱۰ درصد الیاف فرش (A)، ۱۵ درصد الیاف فرش (B)، ۲۰ درصد الیاف فرش (C)، ۱۰ درصد الیاف پولوش (D)، ۱۵ درصد الیاف پولوش (E)، ۲۰ درصد الیاف پولوش (F) و بدون الیاف پلی‌استر (الیاف فرش و پولوش) (J).

Figure 7. Scanning electron micrographs (SEM) with a magnification of 200 micrometers of tensile fracture surfaces of wood-polymer composites containing 10 % of the carpet fibers (A), 15% of carpet fibers (B), 20% of carpet fibers (C), 10% of plush fibers (D), 15 % of plush fibers (E), 20% of plush fibers (F) and non-fiber polyester (carpet and Plush fiber) (J).

نتیجه‌گیری

با توجه به عدم تجزیه زیستی الیاف مصنوعی و افزایش آلودگی حاصل از تجمع الیاف ضایعاتی در محیط‌زیست، این تحقیق با هدف پیدا کردن میزان بهینه مصرف الیاف مصنوعی ضایعاتی از نوع پلی‌استر شامل: الیاف فرش و الیاف پولوش در چندسازه آرد چوب- پلی‌اتیلن سنگین- پلی‌استر، به‌منظور تقویت خواص مکانیکی این چندسازه به انجام رسیده است. طبق نتایج به‌دست آمده، استفاده از الیاف فرش و الیاف پولوش به‌ترتیب به میزان ۲۰ و ۱۰ درصد وزنی، بیشترین مقاومت خمشی و کششی را در چندسازه چوب پلاستیک- الیاف پلی‌استر ایجاد می‌کند. که البته بین مقاومت خمشی و کششی چندسازه حاوی ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش با نمونه فاقد الیاف فرش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش در ساخت چندسازه آرد چوب- پلی‌اتیلن- الیاف فرش و ۱۰ درصد وزنی الیاف پولوش برای چندسازه آرد چوب- پلی‌اتیلن- الیاف پولوش، میزان بهینه مصرف الیاف پلی‌استر ضایعاتی (الیاف فرش و الیاف پولوش) جهت تقویت خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک- الیاف پلی‌استر و همچنین کاربردی کردن الیاف ضایعاتی نساجی (الیاف فرش و پولوش) جهت کاهش حجم مواد ضایعاتی غیرقابل تجزیه در محیط‌زیست می‌باشد. نتایج بررسی ریخت‌شناسی سطح شکست کششی چندسازه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی SEM تأیید کننده نتایج حاصل از بررسی خواص مکانیکی آن‌ها می‌باشند.

منابع

1. Almaadeeh, M., Kahraman, R., Khanam, N., and Madi, N. 2012. Date palm wood flour/glass fiber reinforced hybrid composites of recycled polypropylene: Mechanical and thermal properties. Materials and Design J. 42: 289-294.
2. Anurag, K., Xiao, F., and Amirkhanian, S. 2009. Laboratory investigation of indirect tensile strength using roofing polyester waste fiber in hot mix asphalt. Construction and Building Materials J. 23: 2035-2040.
3. Chang, W.P., Kim, K.J., and Gupta, R.K. 2009. Ultrasound assisted surface modification of wood particulates for improved wood plastic composites. Composite Interfaces J. 16: 687-709.
4. Cui, Y.H., and Tao, J. 2009. Fabrication and mechanical properties of glass fiber- reinforced wood plastic hybrid composites. Applied Polymer Science J. 112: 1250-1257.
5. Fiori, M.A., Paula, M.M.S., Angioletto, E., Santos, M.F., Riella, H.G., and Quadiri, M.G.N. 2008. Effect of the temperature in the antimicrobial action of

the bactericide wood polymer composite-BWPC. Materials Science Forum J. 19: 591-593.
6. Jiang, H., Kamdem, D.D., Bezubic, B., and Ruede, P. 2003. Mechanical properties of poly (vinyl chloride) wood flour glass fiber hybrid composites. Vinyl and Additive Technology J. 9: 138-145.
7. Lei, Y., Wu, Q., and Zhang, Q. 2009. Morphology and properties of microfibrillar composites based on recycled poly (ethylene terephthalate) and high density polyethylene. Composites: Part A J. 40: 904-912.
8. Lei, Y., and Wu, Q. 2010. Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly (ethylene terephthalate). Bioresource Technology. 101: 3665-3671.
9. Liu, H., Wu, Q., and Zhangm Q. 2009. Preparation and properties of banana fiber-reinforced composites based on high density polyethylene (HDPE)/ Nylon-6 blends. Bioresource Technology J. 100: 6088-6097.
10. Miraftab, M., and Lickfold, A. 2008. Utilization of carpet waste in reinforcement of substandard soils. Industrial textiles J. 38: 167-174.
11. Oromiehee, A., and Jafarzadeh, F. 2008. Composite Plastic-Wood. The Publication of Iranian Polymer Forum. Tehran, 97p. (In Persian)
12. Razavi Nouri, M., Jafar Zadeh Dogouri, F., Oromiehie, A., and Ershad Langroudi, A. 2006. Mechanical properties and water absorption behavior of chopped rice husk filled polypropylene composites. Iranian Polymer J. 15(2): 757-766.
13. Semeralul, H.O., and Rizvi, G.M. 2009. Characterization of properties of wood plastic composites (WPC) with glass fiber reinforcements. Reinforced Plastics and Composites J. 2: 22-25.
14. Valente, M., Sarasini, F., Marra, F., Tirillo, J., and Pulci, G. 2011. Hybrid recycled glass fiber/wood flour thermoplastic composites: Manufacturing and mechanical characterization. Composites: Part A J. 42: 649-657.
15. Voit, B. 2000. New development in hyper branched polymers. Journal of Polymer Chemistry Science Part A J. 38: 2505-2525.
16. Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P., and Jia, M. 2006. Property of poly (vinyl chloride)/wood flour /montmorillonite composite: effect of coupling agent and layered silicate. Polymer Degradation and Stability J. 91: 2874-2883.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (3), 2016
http://jwfst.gau.ac.ir

An investigation on the mechanical properties of the wood plastics composite reinforced with waste polyester fibers

***S.Z. Hosseini[1] and A.A. Aenayati[2]**
[1]Ph.D. Student., Dept., of Wood Composite Technology, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology of Saint Petersburg State Forest Technical University, Russia, [2]Professor, Dept., of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources of Tehran University, Iran
Received: 01/27/2015 ; Accepted: 10/31/2015

Abstract
Background and objectives: This study has been undertaken to investigate effects of synthetic waste fibers of polyester in improving mechanical properties of wood plastic composites and also in reducing the accumulation of fiber listed on the environment and reduce environmental pollution through efficient use of raw waste material (polyester fiber) in human needs and in promote WPC industry and improve economic conditions in the industry. Until now, many researchers have studied variety of methods such as modification the surface fiber, use of additives materials and Hybrid to improve the physical and mechanical properties of wood plastic composite. According to researches, one of the applicative resources to improve the properties of wood-plastic composites is synthetic organic materials. Researchers in various scientific disciplines from synthetic organic materials of polymer fiber produced short fibers and have used them in various structures including concrete, asphalt and wood plastic in order to strengthen the physical and mechanical properties them.
Materials and methods: Two types of polyester fibers (carpet fibers and plush fibers), high density polyethylene, wood flour of Populus, maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE) and ethylene- glycidyl methacrylate copolymer (E-GMA) as coupling agent were used. After two-stage mixing, resulted granules were hot pressed (at160^{o}C, under 10 Mpa pressures) to produce test boards measuring 20×20×0.7 cm in dimensions. Then to evaluate the mechanical strength including flexural strength, tensile strength and impact strength, test boards were prepared and were cute according to standard. It should be noted that were taken images by Scanning Electron Microscopy from the tensile fracture surface of composite in

*Corresponding author: seyedehzahrahoseini@yahoo.com

order to examine the effect of the polyester fibers (carpet fiber and Plush fiber) on the mechanical properties of wood-plastic composite more closely.
Results: Results from measurement of mechanical properties of the samples have shown that with increasing the amount of polyester fibers (carpet fibers and plush fibers), tensile modulus of elasticity of wood plastic composites decreases and increases his flexural modulus of elasticity. Also by increasing amount carpet fibers, the tensile, flexural and impact strengths of wood plastic composites-carpet fibers increases. Morphologic study by Scanning Electron Microscopy indicates that with the increasing percentage of polyester fibers, is denser and smoother the integration between the fracture surface of the composite material.
Conclusion: The maximum of flexural strength is in a sample that contained 20 wt% carpet fibers. But about the plush fiber, 10 wt% of it is efficient for increasing the flexural and tensile strengths of wood plastic composites-plush fibers.

Keywords: Polyester, Composite, Wood plastic