

## بررسی اثر الیاف ضایعاتی پلی استر بر خواص مکانیکی و حرارتی فراورده‌های چوب پلاستیک

سیده زهرا حسینی<sup>۱\*</sup> و علی اکبر عنایتی<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

پست الکترونیکی: seyedehzahrahoseini@yahoo.com

۲- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۴

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر الیاف مصنوعی ضایعاتی از نوع پلی استر در بهبود خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های چوب پلاستیک انجام شد. دو نوع الیاف پلی استر (الیاف فرش و الیاف پولیش)، پلی اتیلن سنگین به همراه ۴۰ درصد وزنی آرد چوب صنوبر، ۲ درصد وزنی پلی اتیلن 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 مرحله بعد توسط پرس گرم با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰ مگاپاسکال، به تخته‌های آزمونی با ابعاد  $20 \times 20 \times 7$  سانتیمتر تبدیل شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها نشان دادند که با افزایش میزان پلی استر (الیاف فرش و الیاف پولیش)، مدول الاستیسیته کششی چندسازه چوب پلاستیک کاهش و مدول الاستیسیته خمشی آن افزایش یافت. همچنین با افزایش میزان الیاف فرش، مقاومت‌های کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک - الیاف فرش افزایش یافته که حداکثر مقاومت خمشی در نمونه حاوی ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش بود؛ اما در مورد الیاف پولیش، مقدار ۱۰ درصد وزنی آن، حد بهینه در افزایش مقاومت خمشی و کششی چندسازه چوب پلاستیک - الیاف پولیش است. سپس بر روی چندسازه‌های حاوی میزان بهینه الیاف پلی استر (۱۰ درصد الیاف پولیش و ۲۰ درصد الیاف فرش) در افزایش مقاومت‌های مکانیکی، آزمون‌های DSC و TGA برای تجزیه و تحلیل رفتار حرارتی این چندسازه‌ها انجام شد. نتایج حاصل از آزمون‌های حرارتی نشان دادند که با افزودن الیاف پلی استر به چندسازه چوب پلاستیک، درصد کریستالیسیته، دمای کریستالی شدن، دمای شروع تخریب و پایداری حرارتی چندسازه کاهش یافت. بنابراین بررسی ریخت‌شناسی توسط میکروسکوپ الکترونی بیان کننده این است که با افزایش درصد الیاف پلی استر، سطوح شکست متراکم‌تر و هموارتر و پیوستگی بین مواد تشکیل دهنده چندسازه بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الیاف ضایعاتی، چندسازه، پولیش، فرش.

### مقدمه

پروپیلن، پلی اتیلن و پلی وینیل کلراید می‌باشند. چندسازه‌های چوب پلاستیک فواید چوب و پلاستیک را توأم دارند. تخته کوبی سقف و کف پوش، تزئینات دکور، در و

چوب پلاستیک مخلوطی از مواد پلیمری و سلولزی است. معمول‌ترین پلاستیک‌های مورد استفاده شامل: پلی -

پنجره و استفاده در خودرو از کاربردهای متداول این دسته از کامپوزیت‌ها می‌باشند (Oromeiehee, 2008).

در مقایسه با پرکننده‌های معدنی، آرد چوب وزن کمتری به چندانساز تولیدشده دارد و باعث می‌شود که رفتار ماده زمینه از حالت چکش‌خوار به شکننده سوق یابد، در نتیجه موجب کاهش مقاومت به ضربه خواهد شد. علاوه اینکه الیاف چوب به دلیل داشتن ترکیبات سلولز و همی سلولز آب دوست می‌باشند، بنابراین افزایش حجم آنها موجب افزایش جذب آب چندانساز و کاهش انرژی برای شکست، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در مرحله شکست می‌شود.

بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندانساز چوب پلاستیک به روش‌های گوناگونی از قبیل اصلاح سطح الیاف، طبق تحقیقات انجام شده توسط Chang و همکاران (۲۰۰۹)، استفاده از مواد افزودنی، طبق تحقیقات انجام شده توسط Fiori و همکاران (۲۰۰۸) و هیبرید کردن، طبق تحقیقات انجام شده توسط Jiang و همکاران (۲۰۰۳) انجام می‌شوند.

یکی از منابع کاربردی برای بهبود خواص چندانساز چوب پلاستیک، مواد آلی مصنوعی می‌باشد (Semeralul & Rizvi, 2009; Cui & Tao, 2009). نوع الیاف پلیمری شامل الیاف ویسکوز، الیاف اکریلیک، الیاف پلی‌آمید (نایلون)، الیاف پلی‌وینیل‌الکل، الیاف شیشه و الیاف پلی‌استر می‌باشند که دارای مقاومت به جذب آب، مقاومت کششی و استحکام خمشی و قابلیت انعطاف‌پذیری (خاصیت الاستیسیته) بالا هستند و همین‌طور دمای ذوب بالاتری نسبت به پلاستیک‌های متداول مورد استفاده در صنعت چوب پلاستیک دارند (Anurag, et al., 2009).

پلیمر پلی‌استر از فرایند استری دو ماده دی‌اتیلن گلیکول و دی‌متیل ترفتالات در واحد پلیمریزاسیون در سه رآکتور به صورت مرحله‌ای تولید می‌شود، در رآکتور اول ابتدا عمل استری شدن و تولید مونومر تشکیل‌دهنده پلی‌استر انجام می‌شود؛ سپس رآکتورهای دوم و سوم وظیفه تبدیل مونومر تولیدشده در رآکتور اول را به پلیمر پلی‌استر برای تولید

الیاف پلی‌استر دارند. پلیمر نهایی در رآکتور سوم با ویسکوزیته بالا به سمت ماشین ریسندگی هدایت می‌شود (Voit, 2000). الیاف پلی‌استر معمولاً دارای سطح مقطع دایره‌ای شکل است. در مقابل اسیدها و قلیاهای ضعیف مقاوم می‌باشد. دارای جذب رطوبت بسیار کم و حداکثر ۰/۵ درصد، دمای ذوب ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و دانسیته ۱/۳۸ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد (Voit, 2000). الیاف مصنوعی به علت عدم تجزیه سریع موجب افزایش نگرانی برای محیط زیست می‌شوند، بنابراین محققان در رشته‌های مختلف علمی با پیدا کردن برنامه‌های کاربردی جدید، این ضایعات را مورد استفاده قرار داده‌اند که در این رابطه به علت خصوصیات مقاومتی بالایی که الیاف ضایعاتی دارند، از آنها الیاف کوتاه تهیه شده و درون سازه‌های مختلف از جمله بتون، آسفالت و چوب پلاستیک به منظور تقویت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها استفاده شده‌اند (Miraftab & Lickfold, 2008).

Liu و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی خصوصیات مکانیکی، حرارتی و فیزیکی چندانساز الیاف درخت موز- پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) و نایلون ۶ (پلی‌کاپرولاکتام)<sup>۱</sup> پرداختند که با حضور انیدرید مالئیک پیوند خورده با استایرن / اتیلن- بوتیلن / پلیمر تریبلوک استایرن (SEBS-G-MA) و انیدرید مالئیک پیوند خورده با پلی- اتیلن (PE-G-MA) به عنوان مواد جفت‌کننده به منظور افزایش عملکرد و پیوند سطحی میان الیاف چوب، پلی- اتیلن سنگین و نایلون ۶ توسط اکستروژن دو مرحله‌ای تولید شدند. نتایج این تحقیق دلالت بر این واقعیت دارد که حضور نایلون ۶ در چندانساز الیاف موز / پلی‌اتیلن سنگین موجب افزایش مقاومت و مدول خمشی، مقاومت و مدول کششی چندانساز چوب پلاستیک- نایلون ۶ می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز حرارتی نشان‌دهنده این است که با حضور مواد جفت‌کننده درصد کریستالینته نایلون ۶ در چندانساز افزایش می‌یابد.

1- Nylon 6 or polycaprolactam

چندسازه افزایش می‌یابد. بررسی ریخت‌شناسی نشان داد که الیاف شیشه دارای چسبندگی خوب با پلی پروپیلن بازیافتی است که این امر بهبود خواص مکانیکی چندسازه تقویت‌شده با الیاف شیشه را تأیید می‌کند.

این تحقیق با هدف بررسی اثر الیاف پلی استر ضایعاتی کارخانه‌های نساجی، الیاف پولیش<sup>۱</sup> (پارچه‌هایی که پوشش مویی، پرزدار، جیر و خز مانند دارند از الیاف مصنوعی معروف به پولیش تهیه می‌شوند و برای تولید انواع عروسک‌های خزی و میلمان خانگی کاربرد دارند) و قالی‌بافی، الیاف فرش در بهبود خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه آردچوب/ پلی اتیلن سنگین/ پلی استر و همچنین یافتن ترکیب بهینه مواد تشکیل‌دهنده این چندسازه انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### مواد

در این پژوهش پلی اتیلن سنگین با شاخص جریان مذاب ۲۰ گرم بر ۱۰ دقیقه و دانسیته ۰/۹۵۶ گرم بر سانتیمتر مکعب از شرکت پتروشیمی اراک تهیه شد. آرد چوب صنوبر خریداری شده از کارگاه چوب‌بری واقع در شهرستان کرج پس از عبور از الک ۴۰ مش با اندازه ذرات حداکثر ۰/۳۷ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. درصد ترکیب و میانگین اندازه ذرات چوب بکار برده شده در این تحقیق به این شرح می‌باشد، ذرات باقی‌مانده بین الک ۴۰ و ۵۰ مش با میانگین اندازه ذرات ۰/۳۵ میلی‌متر، ۶۲ درصد، ذرات باقی‌مانده بین الک ۵۰ و ۶۰ مش با میانگین اندازه ذرات ۰/۲۷ میلی‌متر، ۱۸ درصد، ذرات باقی‌مانده بین الک ۶۰ و ۷۰ مش با میانگین اندازه ذرات ۰/۲۳ میلی‌متر، ۱۲ درصد و ذرات آرد چوب عبور کرده از الک ۷۰ مش با حداکثر اندازه ذرات ۰/۱۸ میلی‌متر، ۸ درصد. دو نوع الیاف پلی استر ضایعاتی شامل الیاف فرش و پولیش استفاده شدند. قابل ذکر است که الیاف فرش و پولیش هر دو از جنس پلی استر بوده و دارای خواص کلی یکسانی می‌باشند که در بخش مقدمه به آنها اشاره شده و در جدول ۱ به بیان برخی

Lei و Wu (۲۰۰۶) در مورد چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده با پلی اتیلن سنگین (HDPE)، الیاف میکرونی پلی اتیلن ترفتالات (PET) و اتیلن گلیسایدل کوپلیمر (E-GMA) به عنوان ماده جفت‌کننده، تحقیق کردند. نتایج آنان نشان داد که با اضافه شدن ۲۵ درصد وزنی الیاف میکرونی پلی اتیلن ترفتالات به چندسازه آرد چوب/ پلی اتیلن سنگین، مقاومت‌های مکانیکی این چندسازه افزایش می‌یابند. افزودن ۲ درصد اتیلن گلیساید کوپلیمر (E-GMA) نیز موجب افزایش سازگاری میان بستر و الیاف میکرونی پلی اتیلن ترفتالات شد و مقاومت‌های مکانیکی چندسازه را افزایش داد. نتایج حاصل از آزمون‌های حرارتی نشان دادند که پلی اتیلن ترفتالات موجب کاهش درصد کریستالیت و کاهش پایداری حرارتی چندسازه می‌شود.

Valente و همکاران (۲۰۱۱) به منظور بررسی اثر الیاف شیشه بازیافت شده در بهبود خواص ساختاری و مکانیکی چندسازه گرم‌انرم ترکیب شده با آرد چوب/ الیاف شیشه بازیافتی، این چندسازه را از طریق یک فرایند دو مرحله‌ای شامل میکسر و ماشین قالب‌ریزی و دستگاه پرس تولید کردند. نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی نشان دادند که افزایش مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی چندسازه، تابع افزایش محتوای الیاف شیشه می‌باشد. بنابراین نتایج بررسی ریخت‌شناسی نشان‌دهنده پراکندگی خوب و همگن الیاف شیشه در چندسازه هیبریدی گرم‌انرم/ آرد چوب می‌باشد.

Almaadeed و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی خواص مکانیکی و حرارتی چندسازه هیبریدی آرد چوب درخت خرما/ پلی پروپیلن بازیافتی تقویت‌شده با الیاف شیشه پرداختند. نتایج آنان اثبات کرد، با افزودن ۵ درصد وزنی الیاف شیشه به چندسازه چوب پلاستیک، مقاومت و مدول الاستیسیته کششی ۱۸ درصد نسبت به چندسازه فاقد الیاف شیشه و دیگر ویژگی‌های مکانیکی افزایش می‌یابند. به طوری که حداکثر مقدار این ویژگی‌ها در چندسازه حاوی ۲۵ درصد وزنی الیاف شیشه دیده شد. نتایج آزمون حرارتی نشان دادند که با مشارکت الیاف شیشه، درصد کریستالیسیته

(E-GMA) با شاخص جریان مذاب ۵ گرم بر ۱۰ دقیقه به عنوان بهبود دهنده ترکیب بین الیاف پلی استر (الیاف فرش و پولیش) و پلی اتیلن و اسید استئاریک به عنوان عامل روان کننده مورد استفاده قرار گرفتند.

از خصوصیات مختص به هریک از آنها پرداخته شده است. مواد افزودنی شامل پلی اتیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPE) با دانسیته ۰/۹۳۴ گرم بر سانتیمتر مکعب به عنوان جفت کننده بین آرد چوب با ماهیت قطبی و بستر پلیمری غیر قطبی از جنس پلی اتیلن، اتیلن گلیسایدیل متاکریلیت کوبلیمر

جدول ۱- خصوصیات الیاف پولیش و فرش

الیاف ضایعانی	میانگین طول الیاف (میلی متر)	رنگ	دانسیته (گرم بر سانتیمتر مکعب)	محل تهیه
پلی استر	۰/۵	مشکی	۱/۳۰	کارخانه های نساجی شهر تهران
فرش	۵	کرمی	۱/۴۰	شرکت فرش ماشینی ایران واقع در شهر تهران

دستگاه گرانول ساز به گرانول تبدیل شدند. قابل ذکر است که الیاف پلی استر به علت دارا بودن دمای ذوب بالا (۲۵۰) درجه سانتی گراد، در گرانول های حاصل ذوب نشده و به صورت فیبر باقی می ماند. در مرحله آخر ۲۱ عدد تخته به ابعاد ۲۰×۲۰×۰/۷ سانتیمتر با روش قالب گیری توسط پرس گرم هیدرولیک به مدت ۵ دقیقه با دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۰ مگاپاسکال ساخته شدند و در نهایت به مدت ۳ دقیقه برای رسیدن به ضخامت نهایی درون پرس سرد قرار داده شدند. به منظور دستیابی به رطوبت تعادل، تخته ها به مدت دو هفته در اتاق کلیماتیزه با رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۲۳ درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

اندازه گیری خواص مکانیکی، حرارتی و ریخت شناسی آزمون خمشی سه نقطه ای، بر اساس آیین نامه D 790 استاندارد ASTM و آزمون کششی بر اساس آیین نامه D 638 استاندارد ASTM، توسط آزمایشگر اینسترون مدل ۴۴۸۶ با سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه انجام شدند.

#### ساخت نمونه ها

آرد چوب قبل از فرایند ساخت و پس از گذراندن از الک با مش ۴۰ و جمع آوری ذرات عبور کرده از الک، آماده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد تا رطوبت ۱ درصد به طور کامل خشک شد. ساخت نمونه ها در سه مرحله انجام شد. به علت عدم امکان ایجاد اختلاط مناسب بین پلی اتیلن و الیاف پلی استر (الیاف فرش و الیاف پولیش)، ابتدا پلی اتیلن همراه با اتیلن گلیسایدیل متاکریلیت کوبلیمر (E-GMA) توسط اکسترودر دو ماریچه ناهمسوگرد (کولین) با دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد مخلوط شده و گرانول تهیه شد. در مرحله بعد، گرانول های حاصل از مرحله اول همراه با آرد چوب خشک شده، پلی اتیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPE) که بر مبنای وزن پلی اتیلن تعیین شده است و اسید استئاریک به عنوان عامل روان کننده، با نسبت های وزنی بیان شده در جدول ۲، توسط اکسترودر دو ماردون همسوگرد مدل USEON, TDS26B با دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد مخلوط شدند. مواد مخلوط شده رشته ای شکل، پس از خروج از اکسترودر به منظور خنک شدن، از حمام آب سرد عبور داده شدند و به کمک

جدول ۲- درصد وزنی ترکیب اجزای تشکیل دهنده تیمارهای مختلف چندسازه چوب پلاستیک

تیمار	آرد چوب	الیاف پلی استر		پلی اتیلن	MAPE	E-GMA	اسید استئاریک
		الیاف فرش	الیاف پولیش				
۱	۴۰	۱۰	۰	۴۸	۲	۲	۳
۲	۴۰	۱۵	۰	۴۳	۲	۲	۳
۳	۴۰	۲۰	۰	۳۸	۲	۲	۳
۴	۴۰	۰	۱۰	۴۸	۲	۲	۳
۵	۴۰	۰	۱۵	۴۳	۲	۲	۳
۶	۴۰	۰	۲۰	۳۸	۲	۲	۳
۷	۴۰	۰	۰	۵۸	۲	۰	۳

\*: مقادیر مواد افزودنی، بجز پلی اتیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (MAPE)، اضافه بر درصد وزنی کل مواد بودند.

شناسی چندسازه‌ها با میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل S۳۶۰ ساخت شرکت Cambridge مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور سطح شکست کششی چندسازه‌ها با لایه نازکی از طلا پوشش داده شدند.

### تجزیه و تحلیل 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 شدند. از آزمون دانکن برای مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

### نتایج

#### خواص مکانیکی

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی چند-سازه چوب پلاستیک تقویت شده با الیاف پلی استر (الیاف فرش و الیاف پولیش) را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد.

گرما وزن سنجی (TGA) یکی از شاخص‌های آنالیز گرمایی مواد است که نشان دهنده پایداری حرارتی و تغییرات جرم آزمون نسبت به دما می‌باشد. در این آزمون نمونه‌هایی با وزن ۵ میلی‌گرم درون دستگاه TGA-PL مدل (TGA 1500) ساخت کشور انگلستان و در مجاورت گاز نیتروژن قرار گرفتند. نمونه‌ها از دمای ۲۵ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه گرم شدند. آزمون کالری‌سنجی دیفرانسیلی (DSC) توسط دستگاه NETZSCH ساخت کشور آلمان مدل (200F3Maia) انجام شد. نمونه‌هایی با وزن ۵ میلی‌گرم درون دستگاه در اتاقک دما تحت گرمادهی از ۲۵ تا ۲۰۰ و گرم‌گیری از دمای ۲۰۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. به منظور مطالعه رفتار ذوب ماده زمینه. داده‌های اولین سرمایش و دومین مرحله گرمادهی برای تحلیل نتایج استفاده شدند.

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر الیاف پلی استر (فرش و پولیش) بر خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک، ریخت-

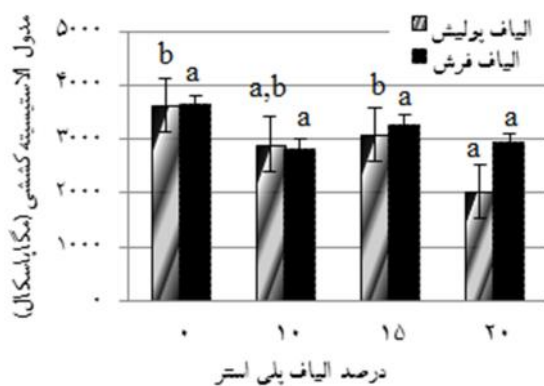
جدول ۳- تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی

منبع	مقاومت کششی	مدول الاستیسیته کششی	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته خمشی
الیاف فرش	*/۰۰۳	ns ۰/۱۷۰	*/۰۰۰	*/۰۰۰
الیاف پولیش	*/۰۱۲	*/۰۱۲	*/۰۰۰	*/۰۰۰

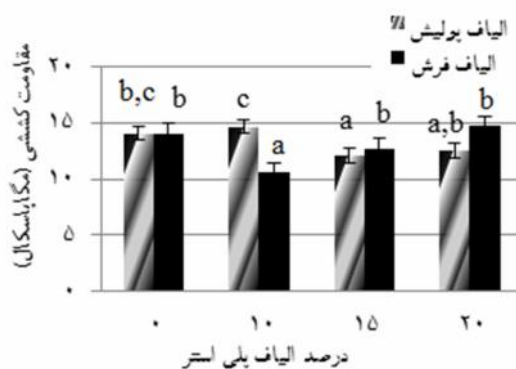
\*/: معنی‌داری در سطح ۱ درصد، \*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ns: معنی‌دار نیست.

اختلاف میان میانگین مقاومت کششی نمونه‌ها از لحاظ درصد الیاف فرش، در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است. بر طبق گروه‌بندی میانگین‌ها به روش دانکن، میانگین مقاومت کششی نمونه‌های حاوی ۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش در یک گروه مشترک قرار گرفته‌اند.

افزودن الیاف پولیش به چندسازه چوب پلاستیک، موجب کاهش مدول الاستیسیته و مقاومت کششی آن شده است. بنابراین مشاهده می‌شود که استفاده از ۱۰ درصد وزنی الیاف پولیش بیشترین میزان مقاومت کششی را در چندسازه ایجاد کرده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۳، اختلاف میان میانگین مقاومت و مدول الاستیسیته کششی نمونه‌های حاوی الیاف پولیش در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است.



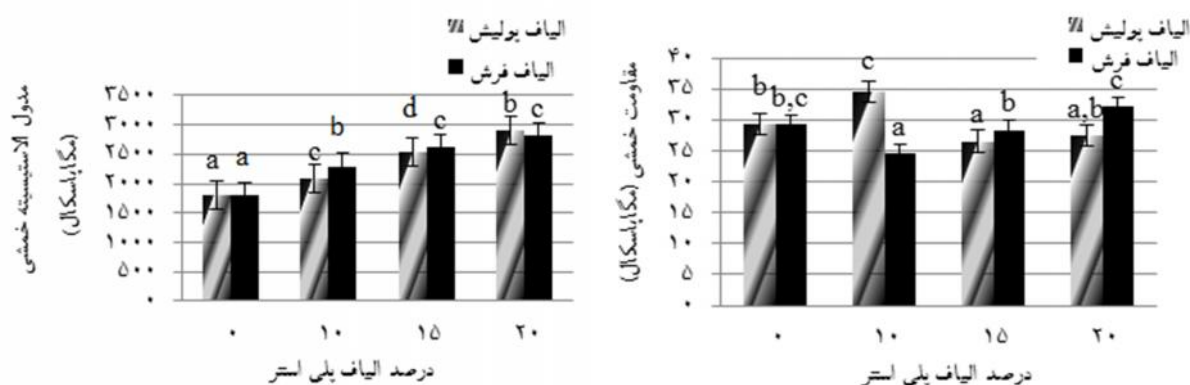
با توجه به شکل ۱ نتیجه‌گیری می‌شود که افزودن الیاف فرش، موجب کاهش اندک مدول الاستیسیته کششی و افزایش مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک می‌شود که البته با توجه به جدول ۳ کاهش مدول الاستیسیته کششی بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس معنی دار نیست و با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که بین میانگین مدول الاستیسیته کششی نمونه‌ها از لحاظ درصد الیاف فرش اختلاف معنی داری وجود ندارد. همچنین مشاهده می‌کنیم که 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. بر اساس نتایج تجزیه واریانس،



شکل ۱- اثر میزان الیاف ضایعاتی پلی‌استر (فرش و پولیش) بر مدول الاستیسیته کششی و مقاومت کششی چندسازه

الاستیسیته خمشی می‌شود. البته حداکثر مقاومت خمشی توسط نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف پولیش به دست آمده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس موجود در جدول ۳، اختلاف بین میانگین مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی نمونه‌ها از لحاظ درصد وزنی الیاف پلی‌استر (فرش و پولیش) در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است. با توجه به گروه‌بندی میانگین‌ها به روش دانکن، ملاحظه می‌شود که میانگین مدول الاستیسیته خمشی نمونه‌های حاوی ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش در یک گروه قرار گرفته‌اند.

با توجه به شکل ۲ مشخص است که با افزایش الیاف فرش از ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی چندسازه چوب پلاستیک-الیاف فرش افزایش می‌یابد. البته افزایش مقاومت خمشی در چندسازه حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش به این ویژگی در چندسازه فاقد الیاف فرش نزدیک می‌باشد. همین‌طور ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد الیاف پولیش مدول الاستیسیته خمشی چندسازه افزایش می‌یابد. افزودن ۲۰ درصد وزنی الیاف پلی‌استر (فرش و پولیش) باعث حداکثر افزایش مدول-



شکل ۲- اثر میزان الیاف ضایعاتی پلی استر (فرش و پولیش) بر مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی چندسازه

$$XC = \frac{\Delta H_{exp}}{\Delta H} \times \frac{1}{W_f} \times 100\% \quad [1]$$

خواص حرارتی

که در آن  $W_f$  درصد وزنی پلاستیک (پلی اتیلن سنگین، پلی اتیلن مالتیکه و پلی استر) است که ۶۰ درصد می باشد،  $H$  گرمای فرضی ذوب یا تشکیل کریستال با فرض صد در صد کریستال است که برای پلی اتیلن سنگین ۲۹۲ ژول بر گرم می باشد (Tajvidi & Takemora, 2009).  $H_{exp}$  (گرمای تجربی ذوب یا تشکیل کریستال) که طی آزمون DSC توسط دستگاه کالری سنجی دیفرانسیلی به دست آمده و برای تیمار ۷ (فاقد الیاف پلی استر)، تیمار ۳ (حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش) و تیمار ۴ (حاوی ۱۰ درصد الیاف پولیش) به ترتیب ۱۴۲، ۱۰۳ و ۱۰۰ ژول بر گرم بودند و درصد بلورینگی یا درجه کریستالیسیته ( $X_c$ ) طبق معادله ۱ برای نمونه های ذکر شده به ترتیب ۸۱، ۵۹ و ۵۷ درصد محاسبه شده است.

با توجه به شکل ۳ که مربوط به مرحله کریستالی شدن می باشد و طی واکنش گرماگیر (کاهش دما از ۲۵۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد) انجام می شود، مشاهده می شود که دمای کریستالی شدن یا تشکیل بلور کریستالی ( $T_c$ ) برای نمونه فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت) ۱۱۴ و برای نمونه های حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار سه) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار) به ترتیب ۱۱۲/۵ و ۱۱۳ درجه سانتی گراد می باشند و این نشان می دهد که تشکیل کریستال

در این تحقیق با توجه به تأثیرات الیاف پلی استر (فرش و پولیش) بر خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک-پلی استر، برای بررسی تأثیر الیاف پلی-استر بر رفتار حرارتی این چندسازه ها، نمونه هایی که حاوی میزان بهینه مصرف الیاف پلی استر ضایعاتی برای تقویت خصوصیات مکانیکی چندسازه بوده اند مدنظر قرار گرفتند و با نمونه های فاقد الیاف پلی استر (تیمار ۷) مقایسه شدند. با توجه به نتایج خواص مکانیکی، نمونه های حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار ۳) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار ۴) بیشترین مقاومت های خمشی و کششی را در چندسازه چوب پلاستیک ایجاد کردند.

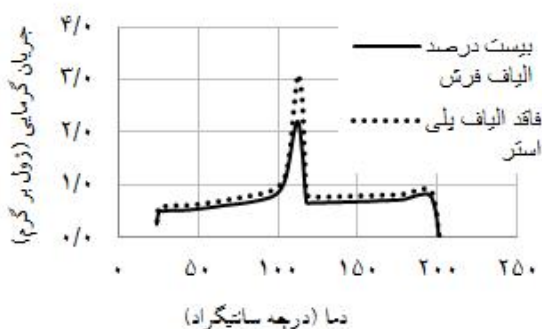
کالری سنجی دیفرانسیلی (DSC)

نتایج حاصل از دستگاه کالری سنجی دیفرانسیلی (DSC)، برای نمونه های فاقد الیاف پلی استر (تیمار ۷)، حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار ۳) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار ۴) شامل: دمای کریستالی شدن ( $T_c$ )، آنتالپی کریستالی شدن ( $-H_{exp}$ )، دمای ذوب ( $T_m$ ) و آنتالپی ذوب ( $H_m$ ) می باشند. لازم به یادآوری است که درصد کریستالی (درصد بلورینگی  $X_c$ ) توسط معادله ۱ محاسبه شد (Tajvidi & Takemura, 2009).

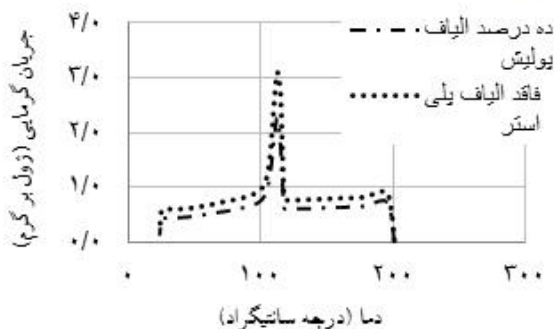
الیاف فرش (تیمار سه) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار) به ترتیب ۵۹ و ۵۷ درصد می باشد که نشان دهنده کاهش میزان درصد بلورینگی چندسازه حاوی الیاف پلی-استر ضایعاتی (فرش و پولیش) نسبت به چندسازه های فاقد این الیاف می باشد.

در نمونه های حاوی الیاف پلی استر (فرش و پولیش) در دمای پایین تری نسبت به نمونه فاقد الیاف پلی استر انجام می شود. درصد بلورینگی یا درجه کریستالیسیته ( $X_c$ ) محاسبه شده طبق معادله ۱ برای نمونه فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت) ۸۱ درصد و برای نمونه های حاوی ۲۰ درصد

(ب)



(الف)

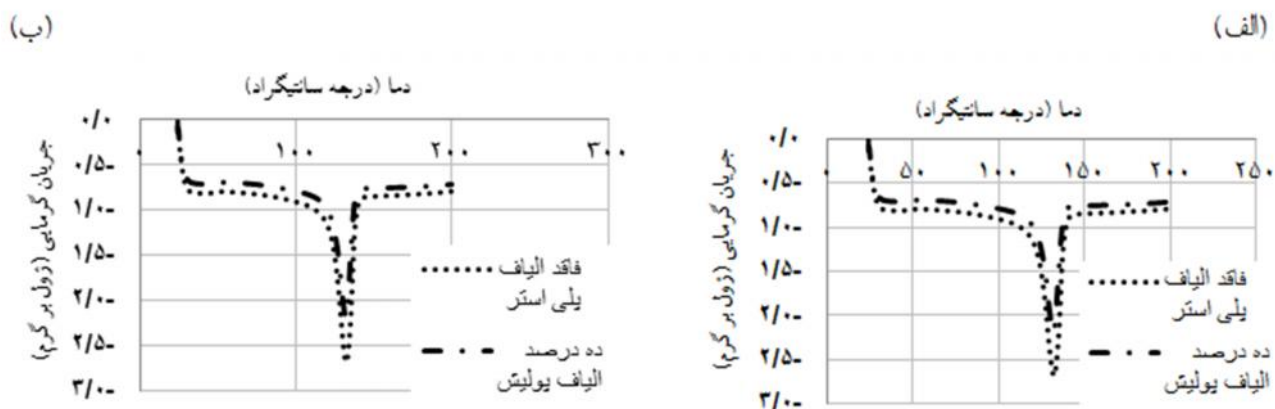


شکل ۳- مرحله کریستالی کالری سنجی دیفرانسیلی (DSC) چندسازه چوب پلاستیک- الیاف پلی استر؛ شکل الف: فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت)، حاوی ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار) و شکل ب: فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت)، حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار سه)

می باشد و در دمای ۱۳۲ به اوج خود رسیده که ذوب کامل اتفاق افتاده است. لازم به یادآوری است که مخلوط محصول ترکیب مواد به گونه ای است که عناصر به ترکیبات شیمیایی دیگری تبدیل نشوند و خواص اولیه خود را حفظ کنند ولی با وجود تغییر نکردن خاصیت شیمیایی، این ساختار ممکن است از لحاظ فیزیکی تغییر کند، از جمله این تغییرات می تواند تغییر خاصیت نقطه ذوب مواد باشد. همین طور باید اشاره کرد که ناخالصی (وجود عناصر دیگر در چندسازه حاصل، علاوه بر الیاف پلی-استر) باعث پایین آمدن نقطه ذوب شده است (Videen. et al., 2015)

با توجه به شکل ۴ مشاهده می شود که با وجود بالا بودن نقطه ذوب الیاف پلی استر خالص ۲۵۰ درجه سانتی گراد، دمای ذوب برای نمونه فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت) ۱۳۲ و برای نمونه های حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار سه) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار) به ترتیب ۱۳۲/۱ و ۱۳۱/۸ می باشد و این بیان کننده این واقعیت است که الیاف پلی استر (فرش و پولیش) تأثیری روی دمای ذوب چندسازه حاصل نداشته است؛ همین طور شیب نمودار برای نمونه فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت) و برای نمونه های حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار سه) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار) از دمای ۱۱۰ شروع به افزایش کرده است که این نشان دهنده افزایش سرعت ذوب نمونه ها از این دما به بعد





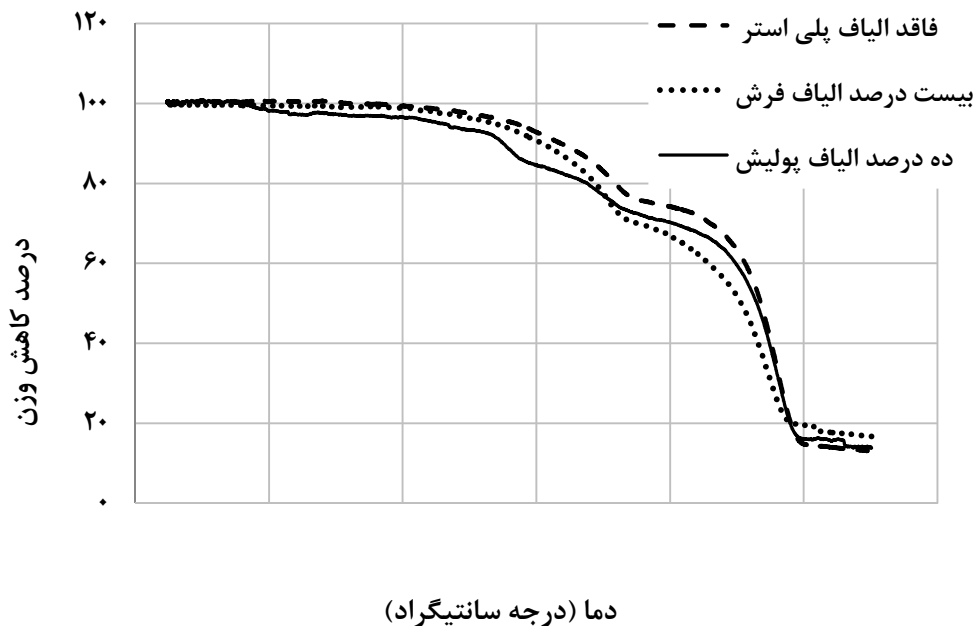
شکل ۴- مرحله ذوب کالری سنجی دیفرانسیلی (DSC) چندسازه چوب پلاستیک- الیاف پلی استر: شکل الف: فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت)، حاوی ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار) و شکل ب: فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت)، حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار سه)

الیاف پلی استر، ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار چهار) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار سه) می باشد. پیک ها نشان دهنده افت وزن نمونه ها طی افزایش دما می باشد. البته هرچه نمونه خالص تر باشد تعداد پیک ها کمتر است. مثلاً برای تیمار هفت که فاقد الیاف پلی استر است و اجزای اصلی تشکیل دهنده آن چوب و پلی اتیلن می باشد دو پیک افت وزن و برای تیمارهای سه و چهار که علاوه بر چوب و پلی اتیلن حاوی الیاف پلی استر هستند سه پیک مشاهده می شود.

گرما وزن سنجی (TGA) با توجه به جدول ۴ و شکل ۵ مشاهده می کنیم که شروع تخریب اولیه در نمونه فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت) در دمای بالاتری نسبت به نمونه های حاوی الیاف پلی استر، ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار چهار) و ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار سه) اتفاق می افتد. از طرفی با توجه به میزان خاکستر باقی مانده مشاهده می شود که تجزیه حرارتی نمونه فاقد الیاف پلی استر (تیمار هفت) بیشتر از نمونه های حاوی

جدول ۴- نتایج گرما وزن سنجی چندسازه های چوب پلاستیک و چوب پلاستیک-الیاف پلی استر

درصد خاکستر باقی مانده	دمای پیک (°C)			دمای شروع تخریب اولیه (°C)	تیمار
	پیک ۱	پیک ۲	پیک ۳		
۱۳/۳	-	۴۹۲	۳۶۰	۲۱۲	۷ (فاقد الیاف پلی استر)
۱۷	۵۲۰	۷۸۱	۳۵۶	۲۰۲	۳ (حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش)
۱۴/۱	۵۲۹	۴۸۸	۳۵۲	۹۹	۴ (حاوی ۱۰ درصد الیاف پولیش)

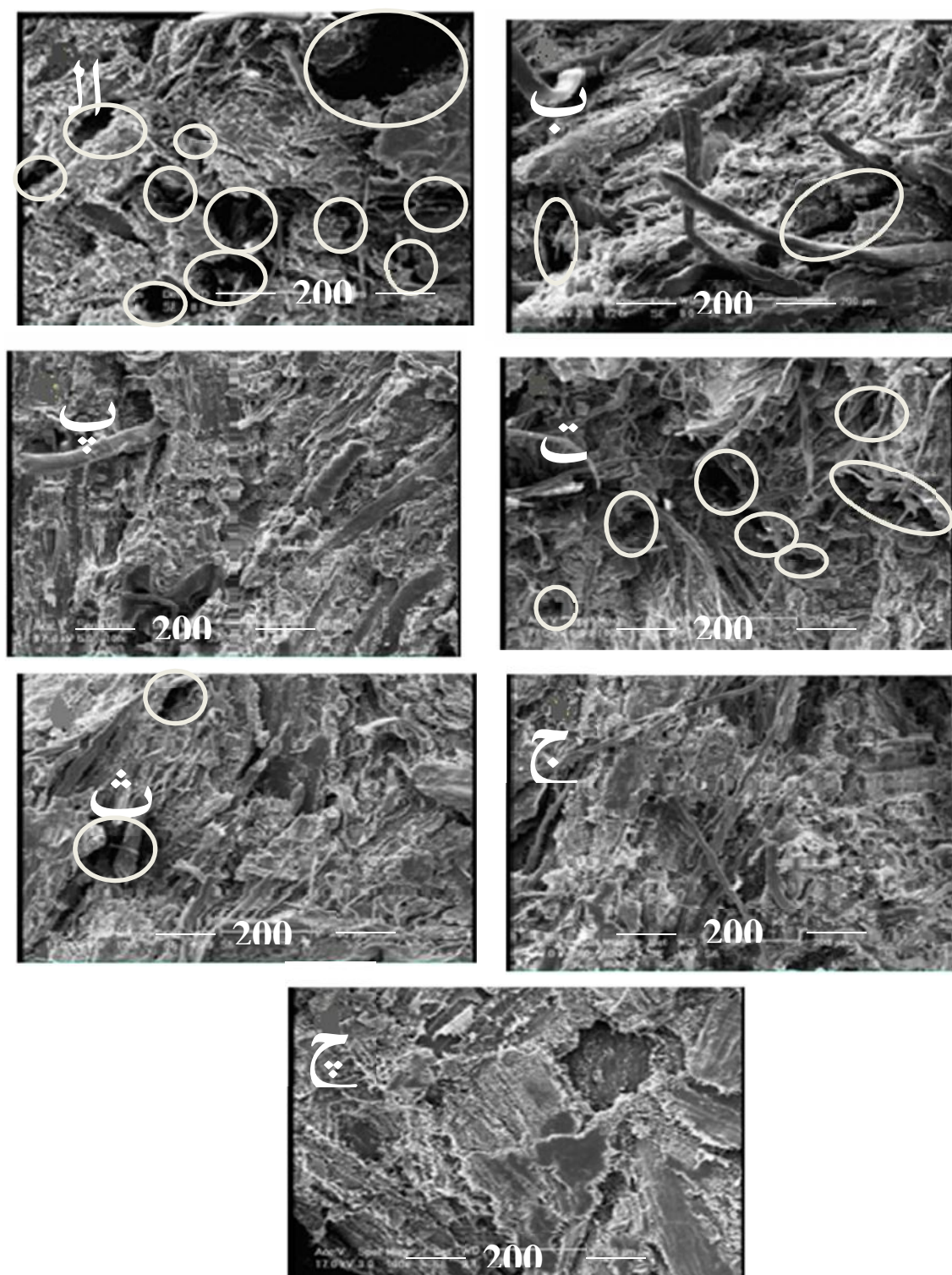


شکل ۵- گرما وزن سنجی (TGA) چندسازه‌های چوب پلاستیک-الیاف پلی‌استر: فاقد الیاف پلی‌استر (تیمار هفت)، حاوی ۱۰ درصد الیاف پولیش (تیمار چهار)، حاوی ۲۰ درصد الیاف فرش (تیمار سه)

#### بررسی ریخت‌شناسی

با توجه به شکل ۶ قابل مشاهده است که با افزایش درصد الیاف پلی‌استر (فرش و پولیش) یکنواختی و همگنی مواد در ساختار چندسازه‌ها افزایش یافته و به دنبال آن حفرات (توسط حلقه در شکل نشان داده شده‌اند) که

نشان‌دهنده پیوستگی نامطلوب مواد است کاهش یافته است. قابل مشاهده است که سطح شکست کششی نمونه فاقد الیاف پلی‌استر شکل (چ) نسبت به سایر سطوح هموارتر و یکنواخت‌تر می‌باشد.



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ میکرومتر از سطوح شکست کششی چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۱۰ درصد الیاف فرش (الف)، ۱۵ درصد الیاف فرش (ب)، ۲۰ درصد الیاف فرش (پ)، ۱۰ درصد الیاف پولیش (ت)، ۱۵ درصد الیاف پولیش (ث)، ۲۰ درصد الیاف پولیش (ج) و بدون الیاف پلی‌استر (فرش و پولیش) (چ)

## بحث

نتایج حاصل از بررسی خواص مکانیکی چندسازه تقویت شده با الیاف مصنوعی ضایعاتی پلی استر (الیاف فرش و الیاف پولیش) نشان می دهند که با استفاده از الیاف پلی-استر (الیاف فرش و الیاف پولیش) مدول الاستیسیته کششی چندسازه چوب پلاستیک کاهش و مدول الاستیسیته کششی آن افزایش می یابد که دلیل این امر کمتر بودن مدول-الاستیسیته کششی پلی استر و همچنین بیشتر بودن مدول-الاستیسیته خمشی آن نسبت به پلی اتیلن است (Voit, 2000). با افزایش الیاف فرش از ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی، مقاومت های کششی و خمشی چندسازه چوب پلاستیک - الیاف فرش به طور نسبی نوسانهایی نشان می دهند که تفاوت بین آنها و ویژگی های مکانیکی مشابه در چندسازه های فاقد الیاف فرش معنی دار نیست. ولی از طرفی مشاهده می شود که مقاومت های کششی و خمشی نمونه های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی الیاف فرش نسبت به نمونه بدون الیاف فرش کمتر است. این امر به این صورت قابل توجیه است که مقاومت کششی به خصوصیات ماده زمینه از جمله تمرکز تنش در ماتریس بستگی دارد، بنابراین چون الیاف فرش دارای طول بلند، ۵ میلی متر می باشد اضافه کردن ۱۰ درصد از آنها موجب برهم خوردن همگنی ترکیب مواد در چندسازه و عدم یکسان بودن تمرکز و پراکنش مواد در شبکه و در نتیجه ایجاد تمرکز تنش در ماده زمینه می شود، ولی با افزایش درصد الیاف فرش به ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی به علت افزایش تراکم این الیاف، همگنی ترکیب مواد در چندسازه افزایش می یابد و اثر منفی تمرکز تنش حذف می شود. بنابراین نتیجه گیری می شود که باید درصد حجمی استفاده از الیاف کوتاه در چندسازه چوب پلاستیک کنترل گردد. این استنباط قابل اسناد به تحقیقات انجام شده توسط Razavi Nouri و همکاران (۲۰۰۶) و Zhao و همکاران (۲۰۰۶) می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، در چندسازه الیاف پولیش - آرد چوب - پلی اتیلن، حداکثر مقاومت های خمشی و کششی مربوط به تیمار حاوی ۱۰ درصد وزنی الیاف پولیش می باشد و با افزایش الیاف پولیش به ۱۵ و ۲۰

درصد وزنی، مقاومت های خمشی و کششی چندسازه چوب پلاستیک کاهش می یابد. البته مشاهده می شود که این نتایج عکس نتایج حاصل از تأثیر الیاف فرش بر مقاومت های خمشی و کششی چندسازه می باشد. برای توجیه این امر باید بیان کرد که طول الیاف پولیش و الیاف فرش به ترتیب ۰/۵ و ۵ میلی متر می باشند، بنابراین چون طول الیاف پولیش ۱ دهم الیاف فرش است، استفاده ۱۰ درصد وزنی الیاف پولیش به علت کوچک بودن طول این الیاف، موجب برهم خوردن همگنی ترکیب مواد چندسازه و تمرکز تنش نمی شود، علاوه بر این، کوچک تر بودن اندازه الیاف پولیش نسبت به الیاف فرش موجب کافی نبودن میزان اتیلن گلیسایدل کولیمر (E-GMA) به عنوان عامل جفت کننده میان الیاف پولیش و پلی اتیلن، در نمونه های حاوی ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی الیاف پولیش می شود، به این دلیل که اتیلن گلیسایدل کولیمر (E-GMA) در این تحقیق به میزان ثابت، ۲ درصد وزنی در نظر گرفته شده است، و به طور کافی در اختیار تراکم بالای الیاف پولیش قرار نمی گیرد، در نتیجه اتصال مطلوبی بین الیاف پولیش و پلی اتیلن ایجاد نمی شود که این امر موجب کاهش مقاومت های کششی و خمشی این نمونه ها می شود. به طوری که تحقیقات Lei و همکاران (۲۰۰۹) و Wu و Lei (۲۰۱۰) این نتایج را مورد تأیید قرار می دهند.

نتایج بررسی ریخت شناسی سطح شکست کششی چندسازه ها تأیید کننده نتایج حاصل از بررسی خواص مکانیکی آنها می باشند. با توجه به تصاویر SEM مشاهده می شود که با افزایش درصد الیاف پلی استر، سطوح مشترک اتصال بین الیاف پلی استر، آرد چوب و پلی اتیلن بیشتر شده، در نتیجه پیوستگی بین مواد تشکیل دهنده چندسازه افزایش یافته و سطوح شکست هموارتر می باشند. این امر موجب تقویت خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک - الیاف پلی استر شده است.

طبق نتایج حاصل از آزمون کالری سنجی دیفرانسیلی (DSC)، با افزایش الیاف پلی استر (فرش و پولیش) به چندسازه چوب پلاستیک، دمای تشکیل کریستال و در نتیجه درصد بلورینگی این چندسازه نیز کاهش یافته است. در این

موجب می‌شود تا پلی‌استر نسبت به پلی‌اتیلن انعطاف‌پذیری کمتری داشته باشد و سرعت کریستالیزاسیون پلی‌استر آهسته‌تر از پلی‌اتیلن باشد (Voit, 2000). بنابراین هنگامی که پلی‌استر مذاب سرد می‌شود، مقدار قابل توجهی از کریستالیزاسیون اتفاق نمی‌افتد. با توجه به مطلب بیان‌شده، نتیجه‌گیری می‌شود که چون درصد بلورینگی پلی‌استر کمتر از پلی‌اتیلن است، این پدیده موجب کاهش پایداری حرارتی چندسازه‌های چوب پلاستیک - پلی‌استر نسبت به نمونه فاقد الیاف پلی‌استر شده است.

بنابراین با توجه به عدم تجزیه سریع الیاف مصنوعی و افزایش آلودگی محیط‌زیست، این تحقیق با هدف پیدا کردن میزان بهینه مصرف الیاف مصنوعی ضایعاتی از نوع پلی‌استر شامل: الیاف فرش و الیاف پولیش در چندسازه آرد چوب - پلی‌اتیلن سنگین پلی‌استر، به منظور تقویت خواص مکانیکی و بررسی حرارتی این چندسازه به انجام شده است. طبق نتایج به دست آمده، استفاده از الیاف فرش و الیاف پولیش به ترتیب به میزان ۲۰ و ۱۰ درصد وزنی، بیشترین مقاومت خمشی و کششی را در چندسازه چوب پلاستیک ایجاد می‌کند، بنابراین ۲۰ درصد وزنی الیاف فرش در ساخت چندسازه آرد چوب - پلی‌اتیلن - الیاف فرش و ۱۰ درصد وزنی الیاف پولیش برای چندسازه آرد چوب - پلی‌اتیلن - الیاف پولیش، میزان بهینه مصرف الیاف پلی‌استر ضایعاتی (الیاف فرش و الیاف پولیش) برای تقویت خصوصیات مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک می‌باشد. با توجه به این نتیجه‌گیری برای بررسی اثر الیاف پلی‌استر روی خصوصیات حرارتی چندسازه چوب پلاستیک از نمونه‌هایی که حاوی میزان بهینه الیاف پلی‌استر برای تقویت خصوصیات مکانیکی چندسازه بود، استفاده شد و نتایج تحقیقات حرارتی روی این نمونه‌ها حکایت از این داشت که با استفاده از الیاف پلی‌استر (فرش و پولیش) درصد بلورینگی و میزان تجزیه حرارتی چندسازه چوب پلاستیک - الیاف پلی‌استر کاهش یافت.

تحقیق الیاف پلی‌استر در ترکیب چندسازه موجب کاهش قابلیت ایجاد هسته‌های بلوری شده است، که این امر موجب کاهش دمای بلورینگی و درصد بلورینگی در چندسازه چوب پلاستیک - الیاف پلی‌استر شده است. لازم به یادآوریست که این نتیجه‌گیری قابل استناد به نتایج تحقیقات Luyit (۲۰۰۹) می‌باشد. بعلاوه هنگامی که E-GMA به ترکیب چندسازه اضافه می‌شود، به دلیل افزایش ویسکوزیته ماده زمینه، از حرکت زنجیره‌های پلیمری جلوگیری کرده، در نتیجه موجب کاهش درصد بلورینگی در چندسازه حاصل شده است (Lei & Wu, 2010).

طبق نتایج آزمون گرما وزن‌سنجی، با افزودن الیاف پلی‌استر (فرش و پولیش) به چندسازه چوب پلاستیک، دمای شروع تخریب نمونه‌ها کاهش یافت. با توجه به اینکه میزان خاکستر باقی‌مانده در نمونه فاقد الیاف پلی‌استر، نسبت به چندسازه چوب پلاستیک - الیاف پلی‌استر کمتر است، بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که ترکیب الیاف پلی‌استر در چندسازه چوب پلاستیک اثر مثبت بر کاهش تجزیه حرارتی چندسازه داشته است. تخریب حرارتی با تشکیل رادیکال‌های آزاد شروع می‌شود که این رادیکال‌های آزاد باعث تحریک هرچه بیشتر فرایندهای تخریب زنجیره پلیمر می‌گردد. از این رو میزان تخریب زنجیره‌های پلیمر به حرکت رادیکال‌های آزاد از یک زنجیره به زنجیره دیگر و حرکت‌های جزء به جزء در زنجیره‌های پلیمری بستگی دارد (Luyit, 2009)، که به دلیل حضور پلی‌استر، این اثرات به مقدار زیادی افزایش پیدا می‌کنند، در نتیجه تا اندازه‌ای موجب تشکیل الیگومرهای فرار شده و در نهایت باعث می‌شود که کل فرایند تخریب در دمای پایین‌تر اتفاق بیفتد. به طوری که الیاف پلی‌استر مورد استفاده دارای طول بلندتری نسبت به آرد چوب مصرفی هستند، بنابراین این الیاف دارای سطح ویژه کمتری نسبت به آرد چوب می‌باشند که این ویژگی موجب کاهش پایداری حرارتی چندسازه‌های چوب پلاستیک - الیاف پلی‌استر نسبت به نمونه فاقد الیاف پلی‌استر شده است (Lei & Wu, 2010). ساختار پلی‌استر فضای بیشتری نسبت به پلی‌اتیلن اشغال می‌کند، این مسئله

## منابع مورد استفاده

- 6 blends. *Journal of Bioresource Technology*, 100: 6088-6097.
- Miraftab, M. and Lickfold, A., 2008. Utilization of carpet waste in reinforcement of substandard soils. *Journal of Industrial textiles*, 38: 167-174.
- Oromiehee, A. and Jafarzadeh, F., 2008. Plastic-Wood Composite. *The Publication of Iranian Polymer Forum*, Tehran, 97p.
- 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 Journal*, 15: 757-766.
- Semeralul, H.O. and Rizvi, G.M., 2009. Characterization of properties of wood plastic composites (WPC) with glass fiber reinforcements. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2: 22-25.
- Tajvidi, M. and Takemura, A., 2009. Effect of fiber content and type, compatibilizer, and heating rate on thermogravimetric properties of natural fiber high density polyethylene composites. *Journal of Polymer Composites*, 30: 1226-1233.
- Valente, M., Sarasini, F., Marra, F., Tirillo, J. and Pulci, G., 2011. Hybrid recycled glass fiber/wood flour thermoplastic composites: Manufacturing and mechanical characterization. *Journal of Composites: Part A*, 42: 649-657.
- Videen, G., Zubko, E., Sun, W., Shkuratov, Y. and Yuffa, A., 2015. Mixing rules and morphology dependence of the scatterer. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 1: 68-75.
- Voit, B., 2000. New development in hyperbranched polymers. *Journal of Polymer Chemistry Science Part A*, 38: 2505-2525.
- 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. *Journal of Polymer Degradation and Stability*, 91: 2874-2883.
- 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. *Journal of Materials and Design*, 42: 289-294.
- Anurag, K., Xiao, F. and Amirkhanian, S., 2009. Laboratory investigation of indirect tensile strength using roofing polyester waste fiber in hot mix asphalt. *Journal of Construction and Building Materials*, 23: 2035-2040.
- Chang, W.P., Kim, K.J. and Gupta, R.K., 2009. Ultrasound assisted surface modification of wood particulates for improved wood plastic composites. *Journal of Composite Interfaces*, 16: 687-709.
- Cui, Y.H. and Tao, j., 2009. Fabrication and mechanical properties of glass fiber- reinforced wood plastic hybrid composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 112: 1250-1257.
- 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. *Journal of Materials Science Forum*, 19: 591-593.
- Jiang, H., Kamdem, D.D., Bezubic, B. and Ruede, P., 2003. Mechanical properties of poly (vinyl chloride) wood flour glass fiber hybrid composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 9: 138-145.
- Lei, Y. and Wu, Q., 2010. Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly (ethylene terephthalate). *Journal of Bioresource Technology*, 101: 3665-3671.
- Lei, Y., Wu, Q. and Zhang, Q., 2009. Morphology and properties of microfibrillar composites based on recycled poly (ethylene terephthalate) and high density polyethylene. *Journal of Composites: Part A*, 40: 904-912.
- Liu, H., Wu, Q. and Zhangm Q., 2009. Preparation and properties of banana fiber-reinforced composites based on high density polyethylene (HDPE) / Nylon-

## Effects of waste polyester fibers on the mechanical and thermal properties of WPC products

S. Z. Hosseini<sup>1\*</sup> and A.A. Enayati<sup>2</sup>

1\* -Corresponding author, M.Sc., Department of wood and paper sciences and technology, Faculty of Natural Resources of Tehran University, Tehran, Iran, E-mail: seyedehzahrahoseini@yahoo.com

2-Professor., Department of wood and paper sciences and technology, Faculty of Natural Resources of Tehran University, Tehran, Iran

Received: Feb., 2015

Accepted: Oct., 2015

### Abstract

This study has been undertaken to investigate the effects of the utilization of polyester fibers residues in improving the mechanical properties of wood plastic composites. Two types of polyester fibers (carpet fibers and polish fibers), high density polyethylene and 40wt% poplar wood flour, 2wt% maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE) and ethylene- glycidyl methacrylate copolymer (E-GMA) as coupling agent were used. After two-stage mixing, the resulted granules were hot pressed at 160°C, under 10 MPa pressures to produce test boards measuring 20×20×0.7 cm in dimensions. Results from measurement of mechanical properties have shown that with increasing the amount of polyester fibers (carpet fibers and polish fibers), tensile modulus of elasticity of wood plastic composites decreased and the flexural modulus of elasticity increased. Also increasing the amount carpet fibers, tensile, and flexural strengths of wood plastic composites-carpet fibers increased and the maximum of flexural strength is in a sample that contained 20 wt% carpet fibers. But using 10 wt% polish polyester fibers is efficient for increasing the flexural and tensile strengths of wood plastic composites-polish fibers. Then the composites containing the optimal polyester (polish fiber 10% and carpet fibers 20%) having optimum mechanical strength were used for TGA and DSC testes to determine the thermal behavior of the composites. Thermal analyses results have shown that with addition of polyester in the wood plastic composite, the percentage of crystallization, temperature of crystallization and the temperature of stability was reduced and the degradation temperature of the composite was also lowered. Morphologic study by Scanning Electron Microscopy indicated that with the increasing the percentage of polyester fibers, denser and smoother of the fracture surface of the composite appeared.

**Keywords:** Polyester fibers, composite, polish, carpet.