

بررسی ویژگی‌های چندسازه ساخته شده از آرد چوب و پلی‌کربنات بازیافتی (لوح‌های فشرده مستعمل)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های چندسازه چوب-پلاستیک حاصل از آرد چوب/پلی‌کربنات بازیافتی (لوح‌های فشرده مستعمل) انجام شد. بدین منظور آرد چوب صنوبر با نسبت‌های وزنی ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با پلی‌کربنات بازیافتی مخلوط گردید. از عامل سازگارکننده N-(۲-آمینو اتیل)-۳-آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان به مقدار ثابت ۲ درصد وزن خشک پلیمر استفاده شد. فرایند اختلاط مواد توسط اکسترودر دو مارادون همسوگرد انجام شده و گرانول حاصله با استفاده از پرس در دمای ۱۹۰°C، فشار ۱۳ بار و زمان ۱۲ دقیقه به تخته‌هایی با ضخامت ۳-۷ mm و دانسیته ۱ gr/cm³ تبدیل شدند. آزمون‌های مکانیکی شامل خمش استاتیک، کشش و آزمون‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت طی دوره‌های زمانی ۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در آب سرد مطابق با استانداردهای ASTM بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. جهت بررسی توزیع و چگونگی برهمکنش ذرات چوب با بستر پلیمری، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست نمونه‌ها تهیه شد. از آنالیز گرماوزن‌سنجی به منظور مقایسه میزان پایداری حرارتی چندسازه‌ها استفاده شد. نتایج نشان دادند که با افزایش مقدار آرد چوب از ۱۰ تا ۳۰ درصد در مقایسه با نمونه شاهد، خواص مکانیکی تخته‌ها افزایش یافت. مقدار جذب آب چندسازه چوب-پلاستیک ساخته شده با افزایش مقدار آرد چوب افزایش یافته، ولی واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌ها، حتی بعد از ۷۲ ساعت غوطه‌وری در آب، در حد صفر اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز حاکی از بهبود در فصل مشترک بین آرد چوب و ماده زمینه پلیمری در حضور سازگار کننده بود. مقاومت حرارتی نمونه شاهد نسبت به سایر چندسازه‌های تهیه شده بالاتر بود و با افزایش مقدار آرد چوب، مقاومت حرارتی چندسازه‌های ساخته شده کاهش یافت. بیشترین مقدار پایداری حرارتی برای نمونه حاوی پلی‌کربنات خالص به دست آمد.

واژگان کلیدی: چندسازه چوب پلاستیک، پلی‌کربنات بازیافتی، آرد چوب، خواص فیزیکی و مکانیکی، میکروسکوپ الکترونی، آنالیز گرماوزن‌سنجی.

علی عبدالخانی^{۱*}

راضیه شمسی^۲

مهدی فائزی پور^۳

پیام مرادپور^۴

سهیلا ایزدی‌پار^۵

^۱ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد، علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۴ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۵ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

abdolkhani@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۷

مقدمه

در حال حاضر در ساخت چندسازه عمدتاً از آرد چوب و دیگر مواد لیگنوسلولزی به‌عنوان پرکننده استفاده می‌شود. در مقایسه با پرکننده‌های معدنی، آرد چوب وزن کمتری به چندسازه حاصل می‌دهد و باعث می‌شود که رفتار ماتریس از حالت چکش‌خوار به شکننده سوق یابد و در نتیجه موجب کاهش مقاومت به ضربه خواهد شد. الیاف چوب شامل ترکیبات سلولز و همی‌سلولز است که آب‌دوست می‌باشند بنابراین، افزایش حجم آن‌ها موجب افزایش جذب آب چندسازه خواهد شد،

همچنین با افزایش حجم فیبر، انرژی لازم برای شکست، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در نقطه شکست کاهش می‌یابند. گونه‌های چوبی مورد استفاده بسته به فراوانی و قابلیت دسترسی به آن‌ها متفاوت است. علاوه بر گونه‌های چوبی جنگلی و دست کاشت مورد استفاده، ضایعات لیگنوسلولزی شامل ضایعات گیاهان کشاورزی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. همچنین صنایع چوب و فراورده‌های چوبی کشور به دلیل کمبود منابع جنگلی و همچنین طرح صیانت از جنگل‌ها با مشکلات جدی در تأمین مواد اولیه مورد نیاز خود مواجه شده‌اند که برای رفع این موانع، بایستی نگاه صاحبان صنایع چوب کشور را به سمت تولید فراورده‌های جدید که توانایی بالایی در استفاده از ضایعات و پسماندها به‌عنوان ماده اولیه دارند سوق دهیم. علیرغم توسعه تولید و کاربرد چندسازه چوب-پلاستیک در دهه‌های اخیر و در سطح جهان، در ایران از حدود ۱۴ سال گذشته این فراورده مورد شناسایی و توجه بخش صنعت قرار گرفته است. چندسازه چوب-پلاستیک با توجه به ویژگی‌های اشاره‌شده، از پتانسیل بالایی در استفاده از پسماند گیاهان کشاورزی و همچنین پلاستیک‌های بازیافتی برخوردار است که می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش هزینه تمام‌شده و قیمت نهایی محصول داشته باشد. البته استفاده از این پسماندها و ضایعات بدون مشکل و محدودیت نیست که می‌توان آن‌ها را با دسترسی به فناوری‌های جدید مرتفع نمود. طبق آمارهای منتشرشده، افزایش مصرف انواع پلیمرها به‌طور مستمر به تولید ضایعات و پسماندهای پلاستیکی در سطح جهانی افزوده است. به‌طوری‌که با افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی

چندسازه‌های چوب-پلاستیک که به‌اختصار WPC^۱ نامیده می‌شوند، گروه جدیدی از مواد هستند که در بسیاری از کشورهای پیشرفته، در حال تولید و گسترش هستند. این فرآورده که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است، مخلوطی از ذرات چوب یا مواد لیگنوسلولزی دیگر و مواد پلیمری است که ظاهری شبیه به چوب داشته ولی به‌وسیله فرآیندهای تولید مواد پلاستیکی شکل می‌گیرد [۱].

در دهه‌های اخیر، شاخص‌های اقتصادی کشورهای در حال توسعه از روند رو به رشدی برخوردار بوده و حتی در بعضی از کشورها بسیار چشمگیر بوده است. وقوع چنین تحولاتی باعث گردیده است که این کشورها از صادرات مواد اولیه کاسته و حتی در مواردی به واردکننده مواد اولیه تبدیل گردند. این تغییر ساختار در سال‌های اخیر، سبب گردید تلاش‌ها به‌سوی تولید محصولات معطوف گردد که از توانایی بالایی در استفاده از مواد اولیه ارزان‌قیمت و در دسترس و همچنین از قابلیت بازیافت مناسبی برخوردار باشند. لذا جایگزینی محصولاتی مانند تخته خرده چوب، انواع تخته فیبر و چندسازه‌های چوب-پلاستیک با چوب ماسیو، حاصل تلاش‌های انجام‌شده در این زمینه بوده است [۲].

چندسازه‌های مواد لیگنوسلولزی-پلاستیک فرآورده‌های نسبتاً جدیدی به‌شمار می‌آیند که در مقایسه با پلاستیک خالص معایبی مانند جذب آب بیشتر ناشی از خاصیت آب‌دوستی الیاف سلولزی و همچنین محدودیت در دمای فرآوری به دلیل تخریب حرارتی مواد چوبی در دماهای بالاتر دارند. از سوی دیگر، این چندسازه‌ها دارای مزایای بسیار زیادی از جمله قابلیت تخریب بیولوژیکی، کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست به دلیل استفاده از ضایعات پلاستیکی، دوام طبیعی بالاتر در مقابل قارچ‌ها و حشرات، قیمت و دانسیته پایین‌تر در مقایسه با پلاستیک-ها می‌باشند. این ویژگی‌ها سبب شده است که در سال‌های اخیر تولید و مصرف این فرآورده از رشد و توسعه زیادی برخوردار گردد [۳].

¹ - Wood plastic composite

دانسیتته $1/766 \text{ gr/cm}^3$ استفاده شد.

در این تحقیق، محلول اتیل الکل و آب با نسبت وزنی ۵:۹۵ تهیه و مقدار ۲ درصد سیلان (N) - (۲- آمینو اتیل) - ۳- آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان) بر اساس وزن خشک پلیمر به عنوان سازگارکننده به محلول اضافه شد. محلول با همزن مکانیکی به مدت ۱۵ دقیقه جهت انجام واکنش هیدرولیز مخلوط شد [۵]. آرد چوب مورد نیاز از خاکاره چوب صنوبر تهیه شده و آرد چوبی که از الک ۴۰ مش عبور کرده و بر روی الک ۶۰ مش قرار گرفت، به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای 2 ± 103 درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک گردید، سپس سیلان آماده شده بر روی آرد چوب اسپری و به مدت ۴۵ دقیقه به منظور کندانسه شدن و برقراری اتصال شیمیایی بین سیلان و پرکننده به هم زده شد و سرانجام قبل از تهیه تخته‌ها، ماده پرکننده سیلانه شده در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت کاملاً خشک شد و در کیسه‌های نایلونی استاندارد بسته‌بندی و نگهداری شد [۵].

پس از آماده‌سازی ماده چوبی و پلی‌کربنات، مخلوط آرد چوب صنوبر با نسبت‌های وزنی ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با پلی‌کربنات بازیافتی با استفاده از یک اکسترودر دو مارادون همسوگرد مدل USEON TDS26 بر اساس شیب دمایی نشان داده شده در شکل ۱ انجام شده و گرانول حاصله با استفاده از پرس گرم در دمای 190°C ، فشار ۱۳ بار و زمان ۱۲ دقیقه به تخته تبدیل شدند [۵]. تخته‌ها پس از کناره بری جهت تهیه نمونه‌های آزمونی آماده شدند.

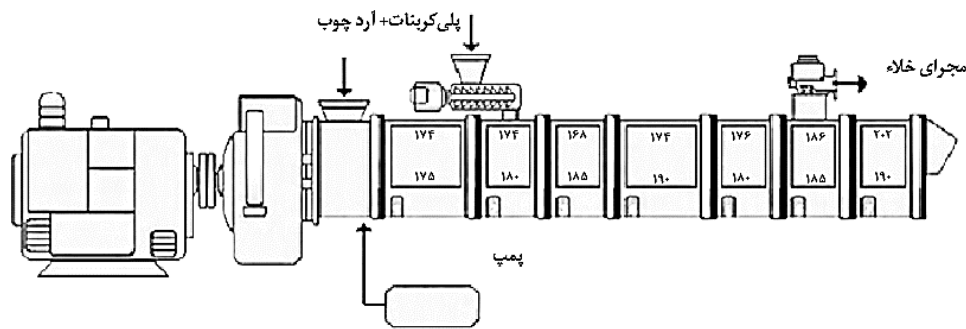
ناشی از مصرف این پلیمرها، بسیاری از کشورها در جستجوی وضع قوانینی برای محدود کردن مصرف پلاستیک‌ها هستند [۵]. پلیمر پلی‌کربنات بازیافتی، یک پلاستیک گرمانرم آمورف است که از ویژگی‌های آن می‌توان به شفافیت، استحکام بالا، مقاومت گرمایی و ضربه‌پذیری بالا به دلیل حضور گروه‌های جانبی متیل در ساختار آن، گرانروی زیاد و ثبات ابعاد و حداقل جذب رطوبت و زیست‌تخریب‌پذیری اشاره کرد. پلی‌کربنات عایق الکتریکی خوبی بوده و خود اطفاء در برابر حریق است. پلی‌کربنات دارای دانسیته $1/220 \text{ gr/cm}^3$ ، دمای ذوب $307-245^\circ\text{C}$ ، دمای انتقال شیشه‌ای 150°C ، جذب آب $0/5-0/7$ درصد است [۶]. از آنجایی که ۹۹ درصد ساختمان لوح‌های فشرده را پلی‌کربنات تشکیل می‌دهد و با توجه به ویژگی‌های فوق‌الذکر در ارتباط با این پلیمر، بازیافت آن‌ها بعد از مستعمل شدن می‌تواند مفید و حائز اهمیت باشد [۵].

لذا با توجه به ضرورت استفاده مجدد از پلاستیک‌های بازیافتی، هدف از اجرای این بررسی امکان استفاده از پلیمر پلی‌کربنات بازیافتی در تولید چندسازه چوب-پلاستیک بوده است که همگام با کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از انباشت مواد پلیمری، تولید فرآورده‌ای با ارزش افزوده بالا را به دنبال خواهد داشت. استفاده از آرد چوب حاصل از ضایعات صنوبر که از درختان سریع‌الرشد غیرجنگلی به شمار می‌رود در تولید فرآورده چوب-پلاستیک از دیگر اهداف این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌عنوان ماده زمینه پلیمری از پلی‌کربنات بازیافتی (لوح‌های فشرده مستعمل) تهیه شده از شرکت فورتکس با شاخص جریان مذاب (MFI^1) $57/635 \text{ gr/10min}$ و

¹ - Melt Flow Index



شکل ۱- طرح شماتیک تنظیمات دمایی در نواحی مختلف اکسترودر

Sputter coater, SCDOOS, BAL-TEC CO.) (Switzerland) به مدت ۵ دقیقه با طلا پوشش داده شدند.

آنالیز گرماوزن سنجی (TGA^۲)

به منظور مقایسه میزان پایداری حرارتی چندسازه‌های تولیدشده، آنالیز حرارتی آن‌ها با استفاده از دستگاه TGA Q50 V Build 189 تحت شرایط حرارت‌دهی خطی انجام شد. این آنالیز در محیط نیتروژن، در دامنه حرارتی ۳۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و میزان افزایش حرارت به میزان ۲۰ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه انجام شد.

با در نظر گرفتن ۴ تکرار برای هر تیمار، در مجموع ۱۶ نمونه ساخته شد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از جدول تجزیه واریانس و توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. سپس مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. جدول ۱ سطوح عوامل متغیر تعریف شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

نمونه‌های آزمون برای اندازه‌گیری خمش استاتیک مطابق با استاندارد ASTM D-790، آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM D-638 و نمونه‌های جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت طی دوره‌های زمانی ۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) بر اساس استاندارد ASTM D-7031 تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

بررسی ریزساختار با استفاده از میکروسکوپ

الکترونی پویشی (SEM)^۱:

به منظور بررسی دقیق‌تر چندسازه‌های تولیدشده از نظر توزیع و چگونگی برهمکنش آن‌ها با بستر پلیمری، تصاویر میکروسکوپی با استفاده از دستگاه SEM مدل Philips-XL30, Rotterdam, Netherlands با ولتاژ ۳۰- کیلوولت و بزرگنمایی تا ۷۰۰۰۰ از سطح شکست نمونه‌ها تهیه شدند. پایه‌ها در دستگاه پوشش‌دهنده

جدول ۱- طرح آزمایش‌ها

شماره تیمار	پلیمر پلی کربنات (%)	آرد چوب (%)
۱	۱۰۰	۰
۲	۹۰	۱۰
۳	۸۰	۲۰
۴	۷۰	۳۰

2- Thermal Gravimetric Analysis

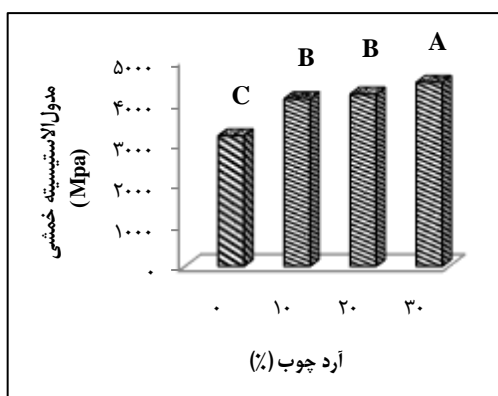
1- Scanning Electron Microscope

نتایج و بحث

آزمون‌های مکانیکی

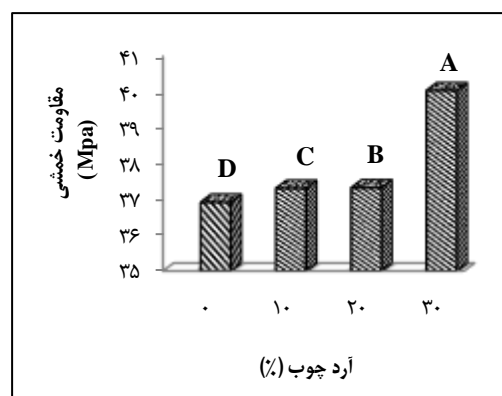
نتایج مربوط به تأثیر مقدار آرد چوب بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی چندسازه تهیه شده در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهند که افزایش آرد چوب باعث بهبود مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی شده است. بالاترین مقادیر مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی، در چندسازه حاوی ۳۰ درصد آرد چوب مشاهده شد. شکل ۲ نشان می‌دهد با افزودن آرد چوب به چندسازه تهیه شده، مقاومت خمشی تا ۲۰٪ (از صفر تا ۳۰ درصد آرد چوب) افزایش می‌یابد که می‌تواند ناشی از افزایش برهمکنش در سطح مشترک ماده زمینه پلیمری و پرکننده بستگی دارد. عامل جفت کننده N- (۲-آمینو اتیل)-۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان در چندسازه چوب پلاستیک، سبب ایجاد ناحیه بین سطحی مؤثر بین پرکننده قطبی و پلیمر غیرقطبی شده و تنش را از ماتریس پلیمری به مواد لیگنوسلولزی، تحت بار خمشی به‌طور مؤثرتری انتقال می‌دهد و سبب افزایش مقاومت خمشی چندسازه با افزایش مقدار مواد لیگنوسلولزی می‌شود [۷]. در پژوهش دیگری توسط Gorjani و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی خواص مکانیکی چندسازه‌های

ساخته شده از پلی اتیلن بازیافتی و کاه گندم در سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد دریافتند که افزایش کاه گندم تا حد ۳۰ درصد باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی شده و پس از آن مقاومت‌ها کاهش می‌یابند [۸]. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که چندسازه‌های ساخته شده با شرایط فوق، مقاومت خمشی در حد پلیمر پلی کربنات بازیافتی ارائه می‌دهند، ضمن اینکه چندسازه حاوی آرد چوب سبک‌تر و قطعاً نسبت به پلیمر بازیافتی خالص، ارزان‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر خواهند بود. MFI مطابق با استاندارد ASTM D-1238، برای پلیمر ضایعاتی مصرفی در شرایط ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و بارگذاری ۱/۲ کیلوگرم، پلیمر MFR درحالی‌که ۵۷/۶۳۵ gr/10min است. هر چه شاخص پلی کربنات تزریقی بکر ۱۰ gr/10min است. هر چه شاخص جریان مذاب پلیمر بیشتر باشد، پلیمر در زمان پرس روان‌تر است. به همین دلیل سطح بیشتری را پوشش می‌دهد و اتصال بهتری را ایجاد می‌کند. در نتیجه مدول الاستیسیته خمشی چندسازه تهیه شده نیز افزایش می‌یابد. Shakeri و همکاران (۲۰۰۵) نیز در چندسازه تهیه شده از کاه گندم و برنج و ماده زمینه پلیمر پلی اتیلن، حداکثر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی را در استفاده از مقدار ۳۰ درصد کاه گندم گزارش کردند [۷].



شکل ۳- تأثیر مقدار آرد چوب بر مدول الاستیسیته خمشی چندسازه

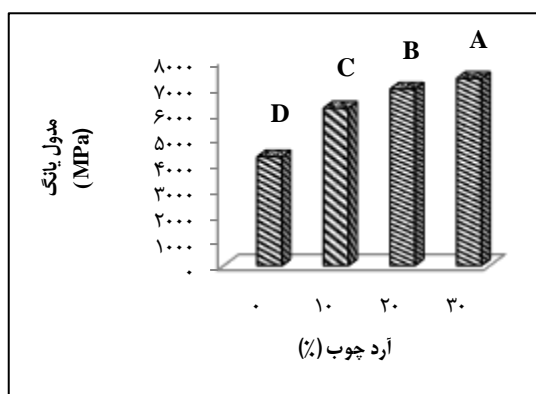
[۹،۱۰]. با افزایش مقدار آرد چوب، به دلیل مدول الاستیسیته بالای چوب در مقایسه با پلیمر پلی کربنات، مقاومت در برابر تغییر شکل چندسازه، افزایش می‌یابد؛ بنابراین افزایش آرد چوب تا این سطح نقش مفیدی در افزایش مدول خمشی چندسازه داشته و نمونه‌ها



شکل ۲- تأثیر مقدار آرد چوب بر مقاومت خمشی چندسازه

از شکل ۳ استنباط می‌شود که با افزایش مقدار آرد چوب مصرفی از ۱۰ درصد به ۳۰ درصد در چندسازه چوب پلاستیک، مدول الاستیسیته خمشی آن افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر مدول الاستیسیته مواد مرکب تأثیر دارد، مدول الاستیسیته اجزای آن است

نمونه شاهد (پلیمر پلی‌کربنات بازیافتی خالص) دارای افزایش ۱۵ درصدی است. این افزایش می‌تواند به دلیل بهبود سطح مشترک بین ماده چوبی و ماده زمینه پلیمری باشد. نتایج تحقیقات Shakeri و همکاران (۲۰۰۵) مؤید این مطلب است [۷]. Kit و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که استفاده از الیاف سلولزی سبب افزایش مقاومت کششی چندسازه چوب پلاستیک در مقایسه با پلیمر خالص می‌شود [۱۲].

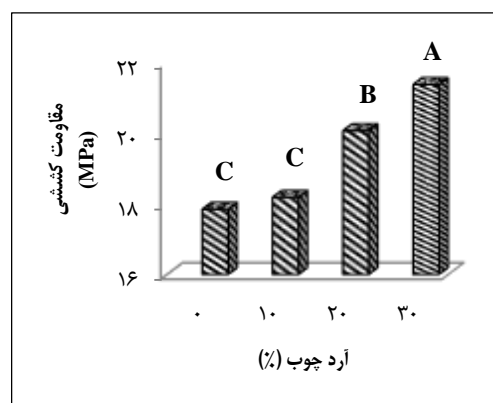


شکل ۵ - تأثیر مقدار آرد چوب بر مدول یانگ (کششی) چندسازه

۷۲ ساعت روند افزایشی داشته است. مقدار جذب آب بعد از ۷۲ ساعت غوطه‌وری کمتر از ۰/۱ درصد به دست آمد. لازم به ذکر است مقدار جذب آب در کلیه نمونه‌ها بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری برابر صفر درصد بود. افزایش درصد جذب آب چندسازه با افزایش مقدار ماده چوبی را می‌توان به خاصیت آب‌دوستی زیاد آرد چوب در مقایسه با پلی‌کربنات خالص دانست. مقدار واکنش‌دهی ضخامت چندسازه‌های تولیدشده در تمامی دوره‌های زمانی موردبررسی (۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) برابر با صفر درصد بود و هیچ‌گونه تغییر ضخامت در نمونه‌ها مشاهده نشد.

با وارد کردن تنش، کم‌تر تغییر شکل می‌دهند. محققان دیگر نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند [۱۱].

شکل‌های ۴ و ۵ تأثیر مقدار آرد چوب بر مقاومت کششی و مدول یانگ چندسازه‌های تولیدشده را نشان می‌دهند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که با افزایش مقدار آرد چوب از ۰ تا ۳۰ درصد در چندسازه، مقاومت کششی و مدول یانگ افزایش می‌یابند. به‌طورکلی مقاومت کششی چندسازه با ۳۰ درصد آرد چوب در مقایسه با

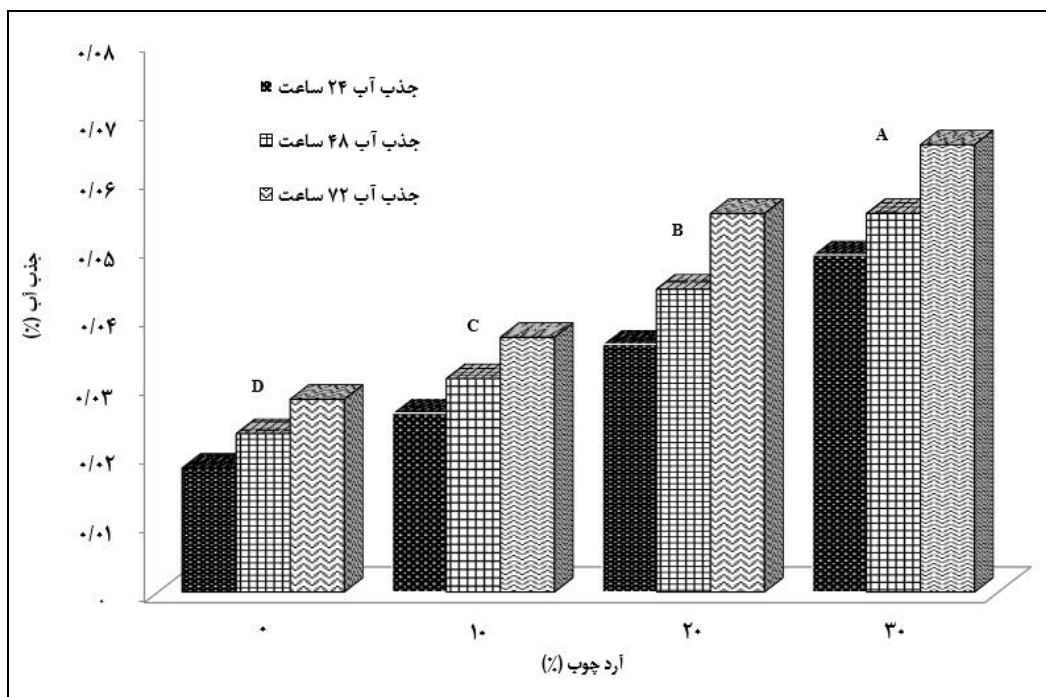


شکل ۴ - تأثیر مقدار آرد چوب بر مقاومت کششی چندسازه

با توجه به شکل ۵، نتایج حکایت از آن دارند که افزایش مقدار آرد چوب سبب افزایش مدول یانگ چندسازه شده است. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر مدول یانگ چندسازه اثر می‌گذارد، مدول کششی اجزای تشکیل‌دهنده آن است [۱۳]. از آنجایی که مدول کششی چوب از پلیمر پلی‌کربنات بیشتر است، بنابراین با افزایش مقدار آرد چوب از ۱۰ تا ۳۰ درصد مدول کششی چندسازه افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در چندسازه حاوی ۳۰ درصد آرد چوب در مقایسه با نمونه شاهد مدول یانگ ۴۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد.

آزمون‌های فیزیکی

با توجه به اطلاعات شکل ۶ مشخص می‌گردد که با افزایش مقدار آرد چوب تا ۳۰ درصد، جذب آب ۲۴، ۴۸ و

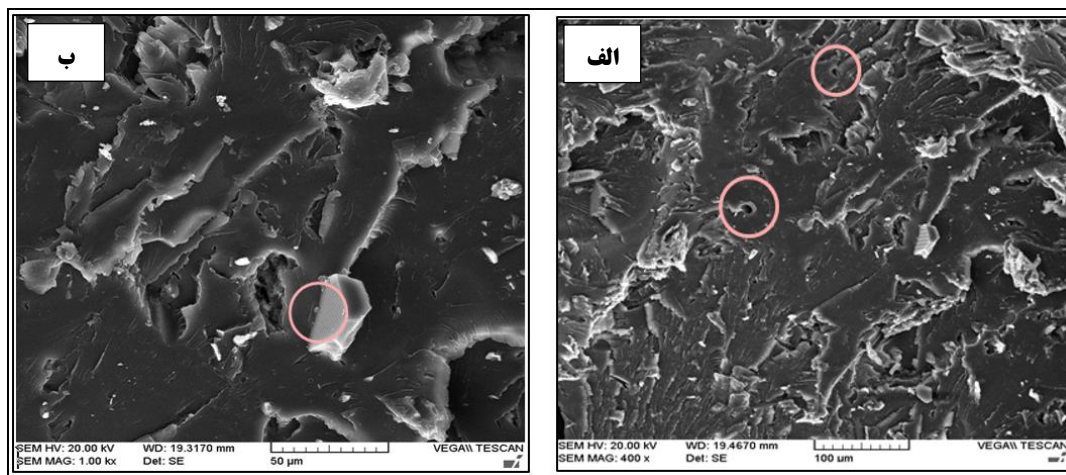


شکل ۶- تأثیر مقدار آرد چوب بر جذب آب ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت چندسازه

یکنواخت‌تر و هموارتر بوده و شکست پرزدار نشان‌دهنده گسیختگی در هر دو جزء آرد چوب و پلیمر تشکیل‌دهنده چندسازه است. همچنین در برخی از نمونه‌ها، بررسی سطح شکست نشان می‌دهد که ذرات آرد چوب سالم از جای خود در پلیمر خارج شده که می‌تواند ناشی از عدم اختلاط مناسب آرد چوب و پلیمر در برخی از نقاط چندسازه باشد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM)

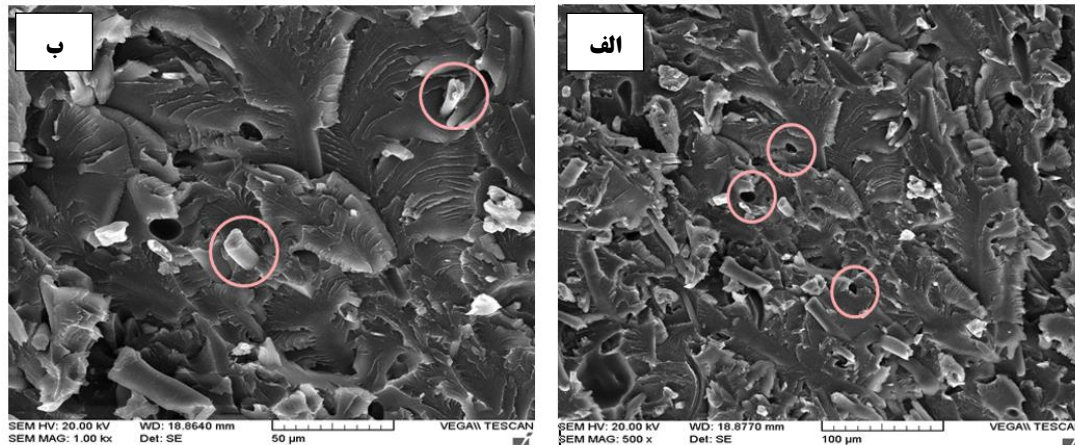
تصویر میکروسکوپ الکترونی مقاطع شکست نمونه‌های آزمون مقاومت کششی چندسازه ساخته‌شده در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. به نظر می‌رسد در تصویر SEM چوب پلاستیک‌های ساخته‌شده با ۱۰ و ۳۰ درصد آرد چوب، سطح شکست نمونه‌ها با افزایش آرد چوب در ماده زمینه پلیمری در حضور عامل جفت‌کننده N-۲- آمینو اتیل-۳- آمینو پروپیل‌تری متوکسی‌سیلان



شکل ۷- تصویر اسکن میکروسکوپ الکترونی چندسازه با ۱۰ درصد آرد چوب (الف) با بزرگنمایی ۴۰۰، (ب) با بزرگنمایی ۱۰۰۰

گرفته است و در اثر شکست چندسازه چوب پلاستیک، ییاف نیز شکسته شده‌اند که می‌تواند بیانگر تأثیر حضور عامل جفت‌کننده سیلانی باشد.

در بخشی از سطح شکست چندسازه در ناحیه سطح مشترک، فاصله و عدم اتصال کمتر دیده می‌شود و عمل در بر گرفتن ییاف و یا آرد چوب به وسیله پلیمر بهتر صورت

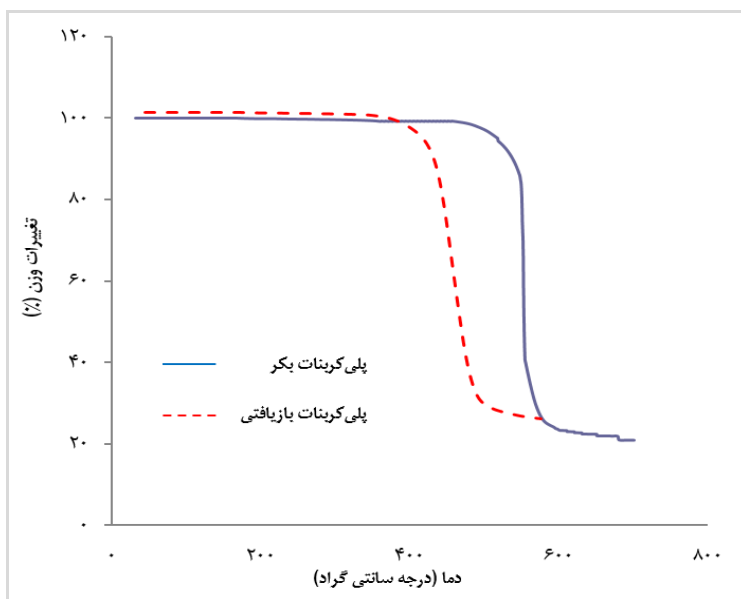


شکل ۸- تصویر اسکن میکروسکوپ الکترونی چندسازه با ۳۰ درصد الف) با بزرگنمایی ۵۰۰، ب) با بزرگنمایی ۱۰۰۰

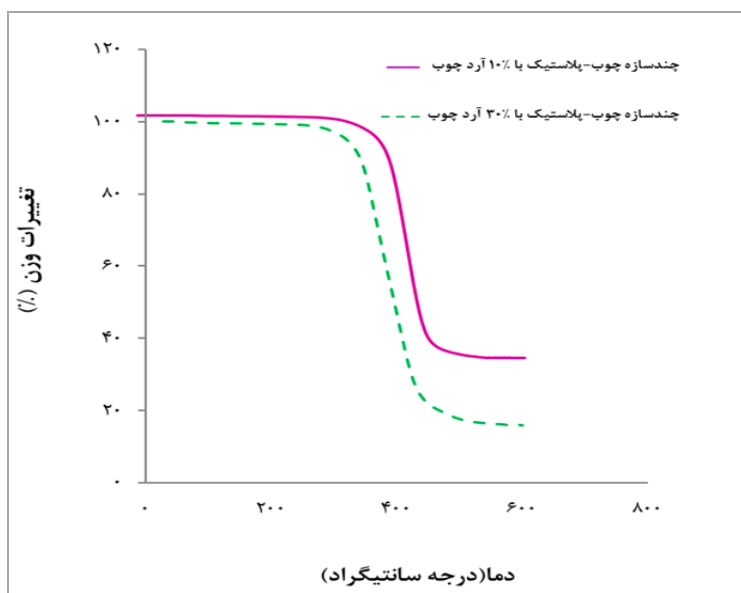
دمای ذوب پلیمر کاهش و در نتیجه دمای شروع تخریب آن نیز کاهش می‌یابد [۱۴]. از مقایسه نمودار TGA چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۱۰ و ۳۰ درصد آرد چوب (شکل ۱۰) با نمودار پلیمر پلی‌کربنات بازیافتی (شکل ۹) مشخص می‌شود که به‌طور کلی با افزودن آرد چوب به ماتریس پلی‌کربنات بازیافتی مقاومت حرارتی چوب-پلاستیک ساخته‌شده کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که دمای شروع تخریب چندسازه با مقدار ۱۰ و ۳۰ درصد آرد چوب به ترتیب ۲۵۹ و ۲۴۴ درجه سانتی‌گراد است، در واقع بیانگر این مطلب است که چوب-پلاستیک با ۳۰ درصد آرد چوب نسبت چندسازه با ۱۰ درصد آرد چوب دارای مقاومت حرارتی پایین‌تری است.

آزمون وزن‌سنجی حرارتی (TGA)

نتایج آزمون TGA در اشکال ۹ و ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود دمای شروع تخریب پلیمر پلی‌کربنات بازیافتی (۳۵۴ درجه سانتی‌گراد) نسبت به پلیمر بکر (۴۳۷ درجه سانتی‌گراد) پایین‌تر است که علت آن می‌تواند وجود ناخالصی‌هایی چون لاک‌الکل، آکریلیک، فلز نقره یا آلومینیوم و برچسب باشد، همچنین علت مقبول‌تر آن می‌تواند این باشد که فرآیند ساخت لوح‌های فشرده و سپس تخریب حرارتی اعمال‌شده بر روی پلیمر بازیافتی، باعث افزایش شاخص جریان مذاب آن می‌شود، افزایش شاخص جریان مذاب بیانگر شکست در زنجیره‌های پلیمری در طی چرخه گرما و تنش در فرآیند اکستروژن است که منجر به کاهش وزن مولکول زنجیره‌های پلیمری پلی‌کربنات می‌شود و در نتیجه



شکل ۹- نمودار TGA پلیمر پللی کربنات بکر و بازیافتی



شکل ۱۰- نمودار TGA چندسازه‌های چوب-پلاستیک با ۱۰٪ و ۳۰٪ آرد چوب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش خواص مکانیکی، فیزیکی، پایداری حرارتی و ریزساختار چندسازه‌ی حاصل از چوب و پلی کربنات بازیافتی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل نشان دادند کلیه خواص مکانیکی شامل مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته خمشی، مقاومت کششی و مدول یانگ چندسازه‌های تولید شده کاهش می‌باید. افزایش مقدار آرد چوب باعث افزایش درصد جذب آب چندسازه شد که با توجه به ویژگی آب‌دوستی آرد چوب امری طبیعی است.

لازم به ذکر است که مقدار واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته شد برابر با صفر درصد بود. نتایج ریزساختار نشان داد که سطح شکست نمونه‌ها با افزایش آرد چوب در ماده زمینه پلیمری، در حضور عامل جفت کننده N-(۲-آمینو اتیل)-۳-آمینو پروپیل‌تری متوکسی سیلان یکنواخت‌تر و هموارتر بوده و سطح پرزدار کمتر حاکی از شکست هم‌زمان در چوب و پلیمر است. با بررسی نتایج حاصل از آزمون وزن‌سنجی حرارتی (TGA) چندسازه‌های تهیه شده مشخص شد که افزایش مقدار آرد

حرارتی به پلیمر پلی‌کربنات بازیافتی و پایین‌ترین مقاومت حرارتی به چندسازه حاوی ۳۰ درصد آرد چوب تعلق دارد.

چوب با مقاومت حرارتی چندسازه رابطه معکوس داشته است و با افزایش مقدار پرکننده، مقاومت حرارتی چندسازه ساخته‌شده کاهش می‌یابد. بالاترین مقاومت

منابع

- [1] Roger, M., Rowell, MR., Sanadi, A.R., Caulfield, D. F. and Jacobson, RE., 2000. Utilization of natural fibers in plastic composites: problems and opportunities. *Lignocellulosic-plastic composites*, 5-23.
- [2] Kargarfard, A., 2007. The Effect of Wood Particles Type and Coupling Agent Content on From Recycled Properties of Composites Polypropylene and Eucalyptus Wood. *Journal of Forest and Wood Products*, 64(1): 64 – 55.
- [3] Oksaman, K., 1994. Improved interaction between wood and synthetic polymers in wood/plastic composites. *Wood Science and Technology Journal*, 30(23): 197-203.
- [4] Kalagar, M., Marzban Moridani, E., Asadi, M., Kolabi, B., 2017. The Study of mechanical and morphological properties of recycled polyethylene/saw dust from cutting of MDF composites. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 8(2):185-195. (In Persian).
- [5] Faezipour, M., Shamsi, R., Ashori, A., Abdulkhani, A., Kargarfard, A., 2016. Hybrid composite using recycled polycarbonate/waste silk fibers and wood flour. *Polymer Composites*, 37: 1667-1673.
- [6] Rodriguez, F., Cohen, C., Ober, C. and Archer, L., 2003. *Principles of Polymer Systems*, Taylor & Francis, New York, London, 810p.
- [7] Shakeri, A., Omidvar, A., 2005. Investigation on the Effect of Type, Quantity and Size of Straw Particles on the Mechanical Properties of Crops Straw-High Density Polyethylene Composites. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 19(4):301-308. (In Persian).
- [8] Gorjani, F. and Omidvar, A., 2005. Investigation on manufacturing process and mechanical properties wheat straw / recycled polyethylene composite. *Pajouhesh & Sazandegi*, 72: 84-88. (In Persian).
- [9] Lei, W., Ding, X.Y. and Xu, C., 2010. Effect of compatibilizing agent on Mechanical and thermal Properties of Wood- plastic composites. *Journal of Advanced Material Research*, 150: 406-409.
- [10] Chaharmahali, M., Kazemi, Najafi, S. and Tajvidi, M., 2007. Effect of Blending Method on the Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 20(4):361-367. (In Persian).
- [11] Nourbakhsh, A. and Kargarfard, A., 2007. The effect of aspen wood particles size and compatibilizer on mechanical properties of wood flour/polypropylene composites. *Pajouhesh and Sazandegi*, 20(2):2-7. (In Persian).
- [12] Kit, L., Binoy, K., Gogot, K. and Selke, S.E., 1990. Composites from Compounding Wood Fiber with Recycled High Density Polyethylene. *Polymer Engineering & Science*, 30(11): 115-123.
- [13] Shakeri, A. and Hashemi, S. A., 2002. Mechanical properties and morphology of composite products made from paper fiber - high density polyethylene. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9(3):171-183.
- [14] Canevarolo, S.V., 2000. Chain scission distribution function for polypropylene degradation during multiple extrusions. *Polymer Degradation and Stability*, 70(9):71-76.

Study on properties of wood-composite prepared from wood flour and recycled polycarbonate (used CDs)

Abstract

This study was aimed to investigate the properties of wood-plastic composites made from recycled polycarbonate polymer (used CDs) and wood flour at levels of 0, 10, 20 and 30%. Boards with 3-7 mm thickness were manufactured with a density of 1 g/cm³. Hot press time and temperature were adjusted as 12 min and 190 ° C with a pressure of 130 bar. Fixed amount of 2 % N-(2-amino-ethyl) -3- amino propyl trimethoxy silane was used as a coupling agent. Physical and mechanical properties, including strength and flexural modulus, tensile strength, impact strength, water absorption and thickness swelling of the boards were studied. The results showed that, compared with control samples (neat recycled polycarbonate polymer), the mechanical properties of prepared composites were increased by increasing the wood flour ratio from 10 to 30%. Also, the amount of 72 hours water uptake of the composites was measured as 0%. The thermal stability of the neat polymer was found to be better than the manufactured composites. The overall thermal degradation of the composites was increased by increasing the wood portion.

Keywords: wood plastic composite, recycled polycarbonate, wood flour, silan, thermal degradation.

A. Abdolkhani^{1*}
R. Shamsi²
M. Faezipour³
P. Moradpour⁴
S. Izadiar⁵

¹ Associate Prof., Department of wood and paper, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² M.Sc., Department of wood and paper, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Professor, Department of wood and paper, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴ Assistant Prof., Department of wood and paper, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁵ Assistant Prof., Department of wood and paper, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
abdolkhani@ut.ac.ir

Received: 2015/05/29

Accepted: 2017/02/05