

تولید چوب پلاستیک از پلی پروپیلن / آرد چوب صنوبر و پودر نشاسته با ویژگی‌های بهبود یافته مکانیکی و زیست تخریب پذیری

علیرضا عسگری^۱، امیر هومن حمصی^{۲*}، بهزاد بازاریار^۳، محمد طلایی پور^۴ و امیر نوربخش^۵

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

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

پست الکترونیک: h_hemmasi@srbiau.ac.ir

۳- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۴- دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۵- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

چکیده

ویژگی‌های مکانیکی (مقاومت و مدول کششی، مقاومت و مدول خمشی)، رطوبتی (جذب آب و واکنشیدگی ضخامت) و زیست تخریب پذیری چوب پلاستیک‌های تولید شده از پلی پروپیلن و آرد چوب صنوبر (آرد چوب در سه سطح صفر، بیست و بیست و پنج درصد) در حضور پودر نشاسته (در چهار سطح صفر، پنج، ده و پانزده درصد) به عنوان مقاومت دهنده بررسی شد. فرایند مخلوط سازی مواد در دو مرحله، ابتدا با استفاده از یک دستگاه اکسترودر و بعد با استفاده از یک دستگاه مخلوط کن داخلی هاکه انجام شد. عملیات تولید نهایی نمونه‌های آزمون‌های مکانیکی و رطوبتی با روش تزریق قالبی و نمونه‌های آزمون زیست تخریب پذیری با روش پرس گرم انجام شد. آزمون‌ها مطابق استانداردها و روش‌های اجرایی مدون انجام شد. نتایج آزمون‌های انجام شده نشان داد که با افزایش درصد وزنی آرد چوب در ترکیب، مقاومت‌های مکانیکی، جذب آب، واکنشیدگی ضخامت و زیست تخریب پذیری چندسازه‌ها افزایش یافت. با افزایش درصد وزنی پودر نشاسته در ترکیب، مقاومت و مدول خمشی، مدول کششی، جذب آب، واکنشیدگی ضخامت و زیست تخریب پذیری چندسازه‌ها افزایش یافت اما مقاومت به کشش کاهش یافت. مطالعات تکمیلی با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که با افزودن آرد چوب و پودر نشاسته به ترکیب، شدت تخریب زیستی در سطح نمونه‌ها افزایش یافته است. همچنین با افزودن پودر نشاسته به ترکیب، ذرات پودر نشاسته درون حفره‌های موجود در ساختار چندسازه قرار گرفته و بدین ترتیب میزان خلل و فرج در ساختار چندسازه‌ها کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: چوب پلاستیک، آرد چوب، پودر نشاسته، ویژگی‌های مکانیکی، زیست تخریب پذیری

مقدمه

(Aganguly, 2018) اخیراً نگرانی‌های محیط‌زیستی در این مورد افزایش یافته‌است و پژوهش‌هایی در مورد حل معضل آلودگی پلاستیک‌ها انجام شده است. یکی از راه‌های ممکن

تجمع پلاستیک‌ها و تولیدات پلاستیکی در محیط تأثیر فاجعه‌باری بر حیات وحش و سلامت غذایی انسان دارند.

به بررسی ویژگی فیلم‌های چندسازه‌ای ساخته شده از پلی‌کاپرولاکتون به‌عنوان ماده زمینه و نشاسته دانه تاپوکا به‌عنوان پرکننده زیستی در مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد با تکنیک قالب‌گیری حل‌کننده پرداختند. افزودن نشاسته به ماده زمینه مدول کششی را افزایش داد اما مقاومت به کشش کاهش یافت. Beg و همکاران (۲۰۱۴) مقادیر پنج، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نشاسته را به پلی‌پروپیلن با دانسیته پایین افزودند و اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌ها نشان داد که با افزودن و افزایش درصد وزنی نشاسته در ترکیب چندسازه‌ها از سویی مقاومت به کشش و مقاومت به ضربه کاهش یافته و از سوی دیگر مدول کششی، مقاومت خمشی و مدول خمشی افزایش یافتند. Wilfred و همکاران (۲۰۱۸) نشاسته را در نسبت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد با پلی‌لاکتیک اسید مخلوط کردند و میزان کاهش وزن چندسازه‌های تولید شده در اثر تخریب زیستی را در مدت ۱۴ و ۲۸ روز مدفون‌سازی در خاک و کمپوست در دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد بررسی نمودند. یافته‌ها نشان داد با افزایش مقدار نشاسته شکنندگی و شدت تخریب زیستی نمونه‌ها افزایش یافته و ثبات حرارتی آنها کاهش می‌یابد. همچنین نمونه‌های مدفون شده در کمپوست دچار تخریب زیستی بیشتری در مقایسه با نمونه‌های مدفون شده در خاک بودند. اگرچه در گذشته پژوهش‌هایی در مورد استفاده از پرکننده‌های زیستی در تولید چندسازه‌های پایه پلیمری به‌منظور افزایش مقاومت‌های مکانیکی و زیست‌تخریب‌پذیری آنها انجام شده است؛ اما همچنان لزوم پژوهش‌های بیشتر در مورد استفاده از انواع مختلف این نوع پرکننده‌ها در درصد‌های وزنی و ترکیب‌بندی‌های متفاوت و مطالعه تأثیر افزودن آنها بر ویژگی‌های نهایی چندسازه‌های تولید شده با هدف تولید چندسازه‌های زیستی دارای ویژگی‌های مکانیکی و زیستی ارتقاء یافته ضروری به نظر می‌رسد. در این کار پژوهشی اثر افزودن و افزایش درصد وزنی آرد چوب صنوبر و پودر نشاسته بر ویژگی‌های مکانیکی، رطوبتی و زیست‌تخریب‌پذیری چندسازه‌های چوب‌پلاستیک تولید شده از ماده زمینه پلی‌پروپیلنی بررسی شد.

برای حل این مشکل، افزودن افزودنی‌هایی به داخل این پلیمرهای غیر زیست‌تخریب‌پذیر است (Zuchowska *et al.*, 1998). پلاستیک‌های با پایه زیستی جزو موادی هستند که در این راستا مورد توجه‌اند. پلاستیک با پایه زیستی یکی از انواع پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر است. در این روش یک پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر با یک پلیمر مصنوعی ترکیب می‌شود. پلیمرهای طبیعی از قبیل نشاسته و سلولز بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند (Liu *et al.*, 2003). از سوی دیگر در سالیان اخیر تمرکز بر روی چندسازه‌های چوب‌پلاستیک مقاوم شده با الیاف چوبی یا دیگر مواد لیگنوسلولزی افزایش یافته است (Ashori, 2008). پرکننده‌های طبیعی مزایایی از قبیل قیمت مناسب و ویژگی تجدیدپذیری را در نقطه مقابل انواع مصنوعشان ارائه می‌دهند؛ یکی از معمول‌ترین الیاف گیاهی که در صنعت گرماژها مورد استفاده قرار می‌گیرد آرد چوب است که به‌صورت تجاری از منابع توسعه‌یافته از قبیل هرس گیاهی و خاک‌اره تولید می‌شود (Salemane & Luyt, 2006). استفاده از چندسازه‌های چوب‌پلاستیک در کاربردهای ساختمانی به کف‌پوش، نرده و فنس‌کشی محدود می‌شود، زیرا آنها فاقد مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مورد نیاز برای تحمل بار به‌عنوان مواد ساختمانی حامل بار می‌باشند (Lu *et al.*, 2000). نشاسته ماده‌ای زیست‌تخریب‌پذیر است که می‌تواند به‌عنوان یک افزودنی مقاومت‌دهنده و افزایش‌دهنده زیست‌تخریب‌پذیری در ساخت چوب‌پلاستیک مورد استفاده قرار گیرد. این ماده نوعی پلی‌ساکارید است که از آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده و ماده‌ای ارزان است که به‌عنوان پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر و قابل‌بازیافت گزینه مناسبی برای مخلوط‌سازی با پلیمرهای مصنوعی محسوب می‌شود (Matzinos *et al.*, 2001).

Fabunmi و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای تحلیلی به معرفی نشاسته به‌عنوان ماده‌ای مناسب برای تولید پلاستیک گرماژم زیست‌تخریب‌پذیر و نیز مناسب برای استفاده به‌عنوان پرکننده زیستی با هدف ارتقاء میزان زیست‌تخریب‌پذیری پلیمرهای پلی‌اولفینی پرداختند. Azmi و همکاران (۲۰۱۴)

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از آرد چوب صنوبر با اندازه ذرات ۶۰+۴۰- مش (ذرات عبور کرده از الک با مش ۴۰ و باقیمانده روی مش ۶۰) با مشخصات ۴۶/۶۳ درصد سلولز، ۲۲/۳۵ درصد لیگنین، ۲/۰۴ درصد خاکستر و ۶ درصد مواد استخراجی به‌عنوان پرکننده لیگنوسلولزی استفاده شده است. آرد چوب در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک شد. پلی پروپیلن با شاخص جریان مذاب ۷ تا ۱۰ گرم در ۱۰ دقیقه و وزن مخصوص ۰/۹۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان ماده زمینه استفاده شد. از ذرات بودر نشاسته (با قطر پنج تا بیست میکرومتر، دانسیته توده‌ای ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، انحلال‌پذیری ۵۰ گرم بر لیتر، حداکثر ۰/۴ خاکستر سولفاته، قابلیت خشک‌شوندگی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد پس از قرار گرفتن در این دما به مدت ۲ ساعت) به‌عنوان میکرو پرکننده زیستی استفاده شد. پلی پروپیلن گرافت شده با انیدرید مالئیک با شاخص جریان مذاب ۱۴۲ درجه سانتی‌گراد نیز به‌عنوان سازگار کننده شیمیایی استفاده شد. درصد‌های وزنی مواد تشکیل‌دهنده چندسازه‌های تولید شده در جدول یک نشان داده شده است. در فرایند تولید

نمونه‌های آزمونی، ابتدا ذرات بودر نشاسته و پلی پروپیلن با استفاده از یک دستگاه اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد (قطر: ۲۵ سانتی‌متر؛ نسبت طول به قطر: ۴۰) در دماهای کنترل شده ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰ و ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد (به ترتیب در ناحیه‌های دمایی ۱، ۲، ۳ و ۴) مخلوط شدند اما دمای قالب ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد بود. کیک‌های تولید شده با استفاده از دستگاه آسیاب خرد شده و به گرانول تبدیل شدند، سپس عملیات اختلاط گرانول‌های تولید شده با آرد چوب و جفت‌کننده شیمیایی با استفاده از دستگاه مخلوط‌کن داخلی هاگه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت مخلوط‌سازی ۶۰ دور در دقیقه به مدت هشت دقیقه برای هر نمونه انجام شد و کیک‌های تولید شده دوباره به‌منظور تولید گرانول به دستگاه آسیاب منتقل شدند. گرانول‌های تولید شده ابتدا به مدت دو ساعت در دمای محیط قرار گرفتند تا کاملاً خنک شوند و بعد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. عملیات تولید نهایی نمونه‌های آزمون‌های مکانیکی، با استفاده از یک دستگاه تزریق قالبی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار تزریق چهار مگاپاسکال انجام شد.

جدول ۱- درصد‌های وزنی مواد تشکیل‌دهنده چندسازه‌های تولید شده

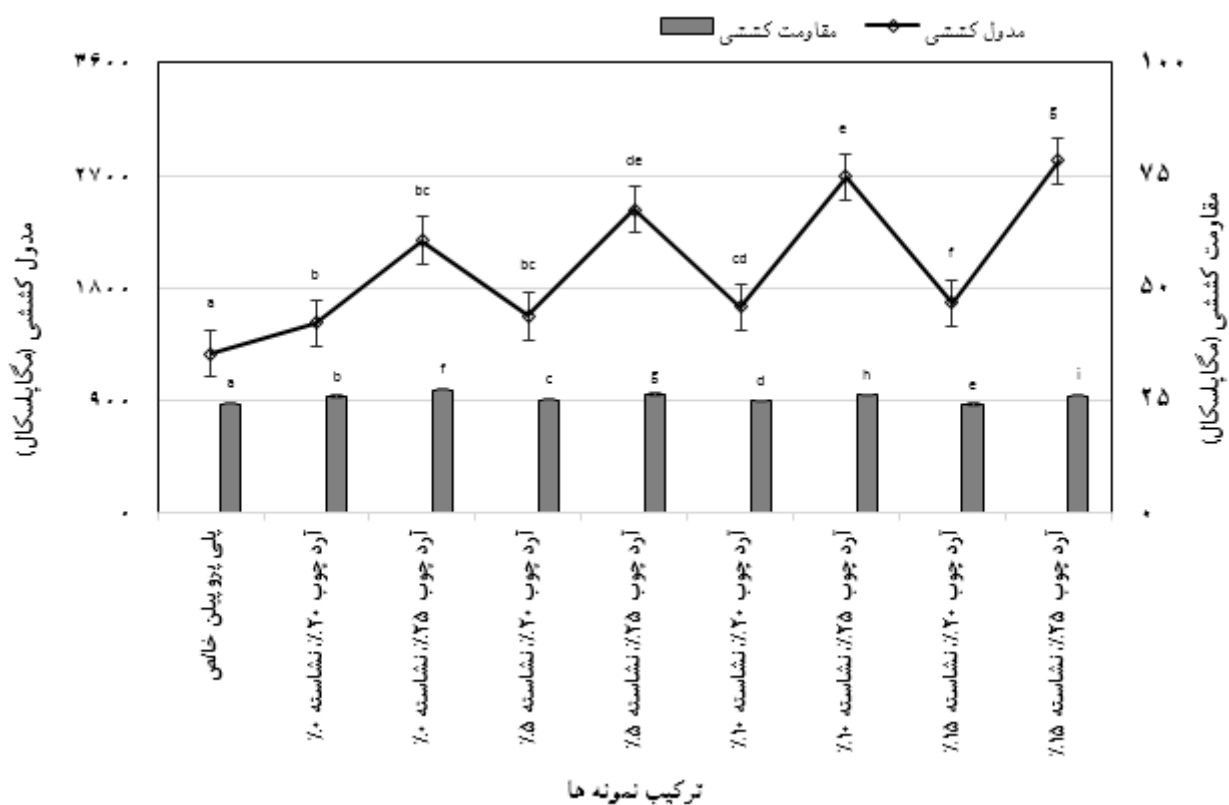
کد تیمار	پلی پروپیلن (%)	آرد چوب (%)	بودر نشاسته (%)	مالئیک انیدرید گرافت شده با پلی پروپیلن (%)
پلی پروپیلن خالص	۱۰۰	۰	۰	۰
۱	۷۷	۲۰	۰	۳
۲	۷۲	۲۵	۰	۳
۳	۷۲	۲۰	۵	۳
۴	۶۷	۲۵	۵	۳
۵	۶۷	۲۰	۱۰	۳
۶	۶۲	۲۵	۱۰	۳
۷	۶۲	۲۰	۱۵	۳
۸	۵۷	۲۵	۱۵	۳

نمونه‌های آزمونی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد. هر آزمون برای هر یک از نمونه‌ها دارای پنج تکرار بود. کلیه آزمون‌ها در شرایط کنترل شده محیطی انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS (Ver. 24) انجام شد. برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

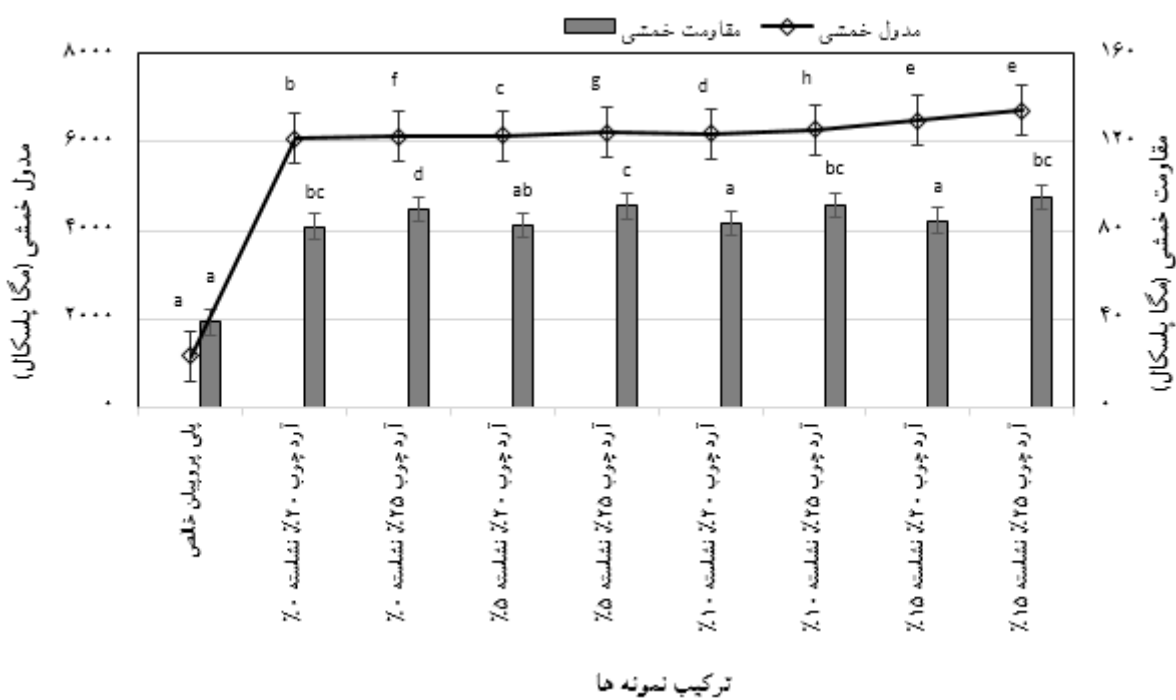
نتایج

یافته‌های مربوط به آزمون‌های مکانیکی (مقاومت و مدول کششی؛ مقاومت و مدول خمشی) و همچنین آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت به ترتیب در شکل یک، دو و سه قابل مشاهده است. گروه مربوط به میانگین مقادیر به دست آمده از آزمون‌های انجام شده هر یک از نمونه‌های مورد آزمون (در گروه‌بندی دانکن) در شکل ۱ تا ۳ در بالای نمودار مربوط به آن نمونه قرار داده شده و با حروف انگلیسی مشخص گردیده است. همان‌طور که در شکل یک نشان داده شده با افزودن ۲۰ درصد آرد چوب به پلی پروپیلن، مقاومت و مدول کششی چندسازه‌ها به ترتیب برابر $۶/۱۰۶$ و $۱۷/۸۷۷$ درصد افزایش یافته است. همچنین با افزودن ۲۵ درصد آرد چوب به پلی پروپیلن، مقاومت و مدول کششی چندسازه‌ها به ترتیب برابر $۱۱/۴۷۶$ و $۴۲/۷۶۸$ درصد در مقایسه با پلی پروپیلن خالص افزایش یافته است. افزودن پودر نشاسته به ترکیب چندسازه‌ها و همچنین افزایش درصد وزنی پودر نشاسته در ترکیب چندسازه‌ها نیز موجب افزایش مدول کششی آنها شده است و بیشترین مقدار مدول کششی برابر $۲۸۱۷/۴۰$ مگاپاسکال در نمونه شماره هشت مشاهده شد که حاوی بیشترین مقدار آرد چوب (۲۵ درصد) و پودر نشاسته (۱۵ درصد) در ترکیب خود است. از سوی دیگر با افزودن پودر نشاسته به ترکیب چندسازه‌ها و نیز افزایش درصد وزنی پودر نشاسته در ترکیب چندسازه‌ها مقاومت کششی آنها کاهش یافته است و کمترین مقاومت به کشش اندازه‌گیری شده برابر $۲۴/۲۷$ مگاپاسکال مربوط به نمونه شماره ۷ است که حاوی کمترین مقدار آرد چوب (۲۰ درصد) و بیشترین مقدار پودر نشاسته (۱۵ درصد) در ترکیب خود است.

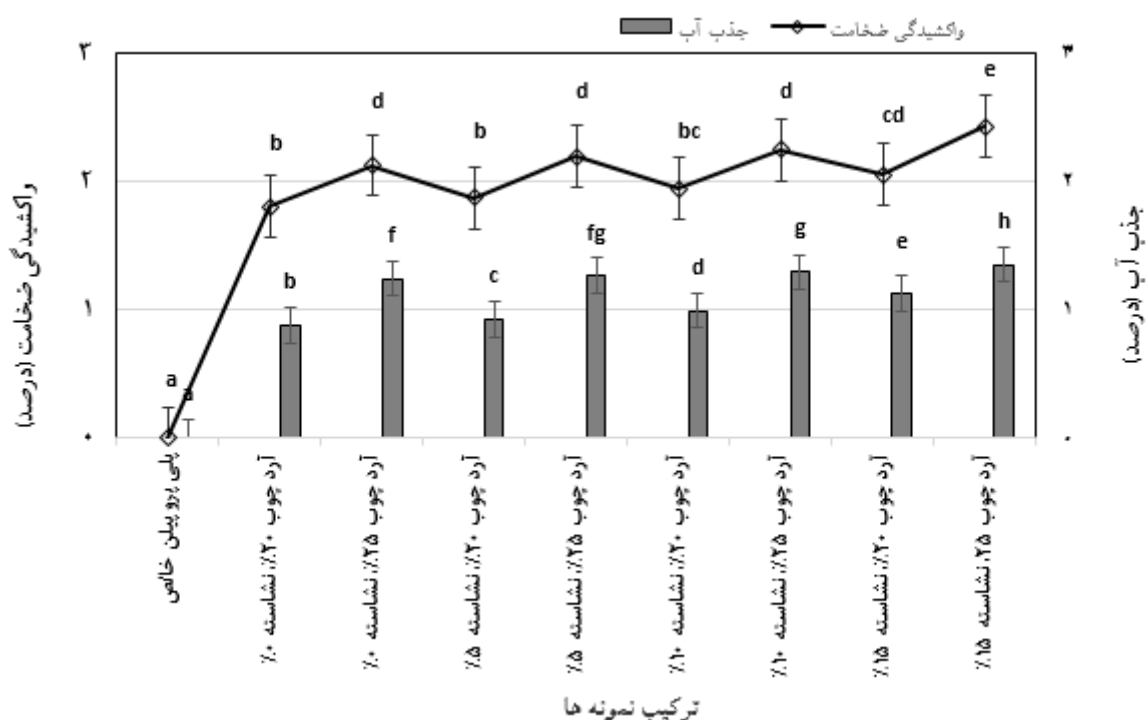
تولید صفحات آزمون‌های زیست تخریب پذیری با استفاده از یک دستگاه پرس گرم انجام شد. بدین منظور گرانول‌ها به‌طور یکنواخت درون قالب صفحه‌ای به اندازه ۱۰۰ سانتی متر مربع ریخته شدند و بعد در داخل دستگاه قالب‌گیری فشاری گذاشته شدند، ابتدا به مدت پنج دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد پیش‌گرم شدند و بعد در فشار پنج مگاپاسکال به مدت یک دقیقه تحت پرس گرم قرار گرفتند. ویژگی‌های کششی مطابق استاندارد ASTM D 638، ویژگی‌های خمشی مطابق استاندارد ASTM D 790، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کوتاه مدت (پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مقطر) مطابق استاندارد ASTM D 570 و مدفون‌سازی زیرخاک مطابق روش اجرایی ارائه شده توسط Behjat و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. خاک مورد نیاز برای انجام آزمون مدفون‌سازی در زیرخاک، از مرکز دفن زباله حلقه دره کرج (ایران، استان البرز، کرج، مهرشهر) برداشته شد. ساختار خاک مذکور شامل سه درصد گراول، ۲۹ درصد ماسه، ۴۳ درصد سیلت و ۲۵ درصد رس است. میزان جورشدگی دانه‌های خاک باهم بسیار خوب است و بیشترین اندازه دانه‌های تشکیل دهنده خاک تا چهار میلی‌متر می‌باشد که این امر نمایانگر ریزدانه بودن خاک است. خاک مذکور به آزمایشگاه منتقل شد و صفحات مربعی شکل در ابعاد $۱۰ \times ۱۰ \times ۱$ سانتی‌متر، در عمق ۱۰ سانتی‌متری دفن شدند و به مدت ۱۲۰ روز در دمای ثابت ۲۷ درجه سانتی‌گراد و درصد رطوبت ۴۵ تا ۶۰ درصد نگهداری شدند. سطح خاک با فیلم پلاستیکی پوشیده شد تا از تبخیر آب از سطح خاک جلوگیری شود. نمونه‌ها هر ۲۰ روز یکبار از زیرخاک خارج و با آب شسته شدند تا خرده‌ریزه موجود در سطح آنها زدوده شود و بعد به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای 105 ± 5 درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با استفاده از یک ترازوی الکترونیکی با دقت $0/1$ میلی‌گرم وزن شدند تا میزان کاهش وزن نمونه‌ها باهم مقایسه شود. وزن نمونه‌های آزمونی در اندازه‌گیری اولیه بر روی ۱۰ گرم نرمالیزه شده بود. میزان تخریب زیستی نمونه‌های آزمونی با اندازه‌گیری میزان کاهش وزنشان پس از مدفون شدن در خاک، با توجه به گذر زمان اندازه‌گیری شد. مطالعات تکمیلی بر روی



شکل ۱- مقاومت و مدول کششی نمونه‌های آزمونی



شکل ۲- مقاومت و مدول خمشی نمونه‌های آزمونی



شکل ۳- مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌های آزمونی

افزایش نشان می‌دهد. تغییرات ایجاد شده در مقاومت و مدول خمشی چندسازه‌ها در اثر افزایش درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. یافته‌های آزمون‌های جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه‌ها در شکل سه قابل مشاهده است و این ویژگی‌ها با افزودن و افزایش درصد وزنی آرد چوب در ساختار چندسازه‌ها افزایش یافته است. میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت پلی پروپیلن خالص (پس از ۴۸ ساعت غوطه‌وری در آب) برابر صفر بود که پس از افزودن ۲۰ درصد آرد چوب به ترتیب به ۰/۸۷ و ۱/۸ درصد رسید و با افزودن ۲۵ درصد آرد چوب به ترکیب این مقادیر به ترتیب به ۱/۲۴ و ۲/۱۲ درصد افزایش یافت. همچنین با افزودن و افزایش درصد وزنی پودر نشاسته در ساختار چندسازه‌ها نیز جذب آب و واکشیدگی ضخامت آنها افزایش یافت و بیشترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت به ترتیب برابر ۱/۳۵ و ۲/۴۲ درصد در نمونه شماره هشت مشاهده شد که دارای بیشترین درصد وزنی آرد چوب (۲۵ درصد) و پودر نشاسته (۱۵ درصد) در ترکیب خود بود. تغییرات

تغییرات ایجاد شده در مقاومت و مدول کششی چندسازه‌ها در اثر افزایش درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. یافته‌های آزمون‌های خمشی در شکل دو قابل مشاهده است. مقاومت و مدول خمشی چندسازه‌ها با افزودن و افزایش درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته در ترکیب آنها افزایش یافته است. کمترین مقدار مقاومت و مدول خمشی اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر ۳۸/۴ و ۱۱۵۰ مگاپاسکال مربوط به پلی پروپیلن خالص است. این مقادیر پس از افزودن ۲۰ درصد آرد چوب به ترکیب چندسازه‌ها به ترتیب برابر ۵۳/۰۸۵ و ۸۱/۰۹۸ درصد افزایش یافته است. همچنین با افزودن ۲۵ درصد آرد چوب به پلی پروپیلن مقاومت و مدول خمشی چندسازه‌ها به ترتیب برابر ۵۷/۱۹۱ و ۸۱/۲۳۴ درصد افزایش یافته است. بیشترین مقاومت و مدول خمشی در نمونه شماره هشت مشاهده شد که حاوی بیشترین درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته در ترکیب خود است که در مقایسه با پلی پروپیلن خالص به ترتیب برابر ۵۹/۵۴۱ و ۸۲/۸۹۸ درصد

گروه مربوط به میانگین مقادیر به دست آمده از آزمون های انجام شده هر یک از نمونه های مورد آزمون (در گروه بندی دانکن) در جدول دو در کنار کد مربوط به آن نمونه قرار داده شده و با حروف انگلیسی مشخص شده است. میزان کاهش وزن پلی پروپیلن خالص پس از ۱۲۰ روز مدفون بودن در زیر خاک برابر با صفر بود.

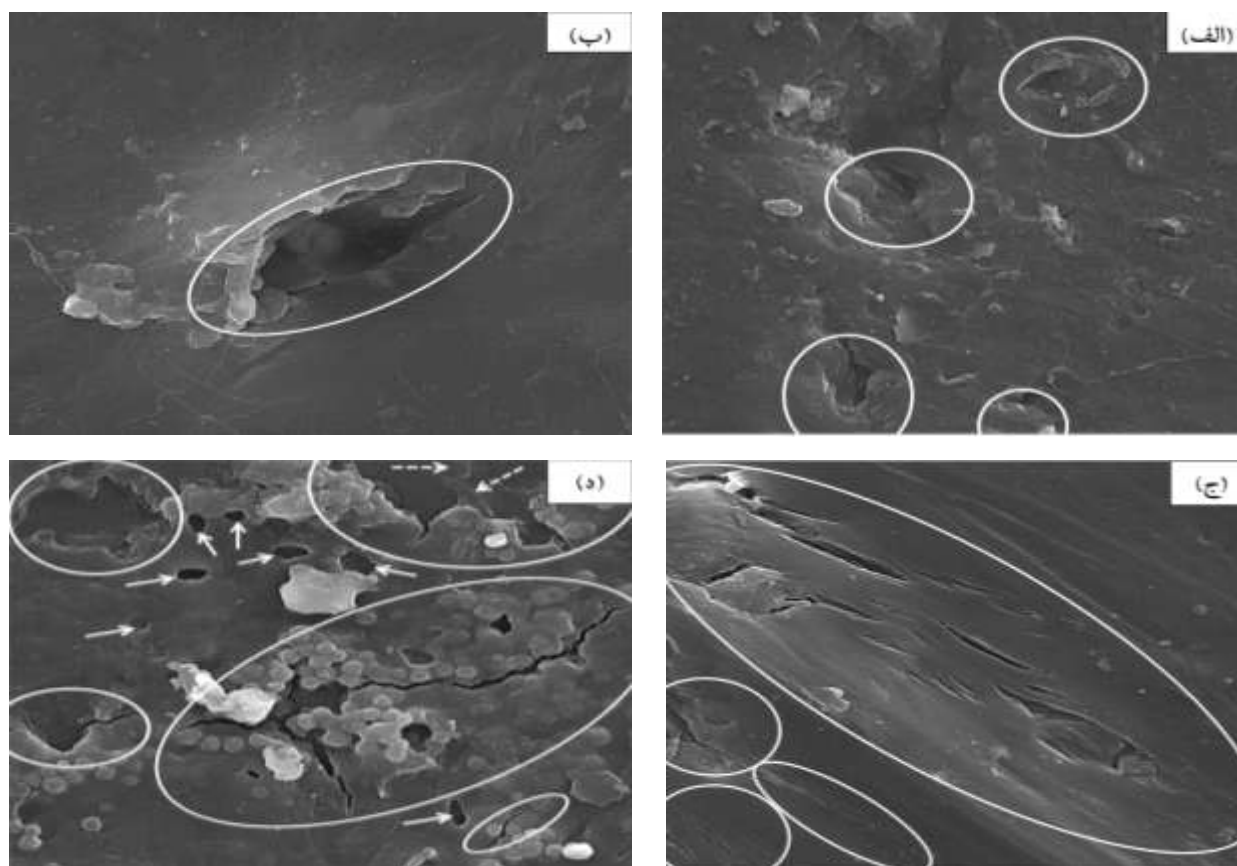
ایجاد شده در جذب آب و واکنش پذیری ضخامت چندسازه ها در اثر افزایش درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. یافته های مربوط به کاهش وزن نمونه ها در آزمون مدفون سازی زیر خاک در جدول دو قابل مشاهده است. همچنین

جدول ۲- میزان کاهش وزن نمونه های آزمونی در آزمون مدفون سازی زیر خاک

		۱۲۰		۱۰۰		۸۰		۶۰		۴۰		۲۰		زمان (روز) ← کد نمونه ↓
میزان کاهش وزن نمونه ها ↓														
درصد	گرم	درصد	گرم	درصد	گرم	درصد	گرم	درصد	گرم	درصد	گرم	درصد	گرم	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	پلی پروپیلن خالص (a)
۶/۰۷	۰/۶۰۷	۲/۳۷۰	۰/۲۳۷۰	۱/۱۰۰	۰/۱۱۰۰	۰/۰۹۸	۰/۰۰۹۸	.	.	.	.	.	.	۱ (b)
۶/۶	۰/۶۶۰	۲/۳۷۹	۰/۲۳۷۹	۱/۳۴۰	۰/۱۳۴۰	۰/۲۱۰	۰/۰۲۱۰	.	.	.	.	.	.	۲ (c)
۷/۰۱	۰/۷۰۱	۲/۴۲۰	۰/۲۴۲۰	۱/۵۳۰	۰/۱۵۳۰	۰/۳۷۰	۰/۰۳۷۰	.	.	.	.	.	.	۳ (c)
۷/۴۱	۰/۷۴۴	۲/۶۲۰	۰/۲۶۲۰	۱/۷۲۰	۰/۱۷۲۰	۰/۴۵۰	۰/۰۴۵۰	.	.	.	.	.	.	۴ (d)
۷/۸۵	۰/۷۸۵	۲/۸۱۰	۰/۲۸۱۰	۱/۸۴۰	۰/۱۸۴۰	۰/۵۵۰	۰/۰۵۵۰	.	.	.	.	.	.	۵ (e)
۸/۲۹	۰/۸۲۹	۳/۰۹۰	۰/۳۰۹۰	۲/۰۱۰	۰/۲۰۱۰	۰/۶۵۰	۰/۰۶۵۰	.	.	.	.	.	.	۶ (e)
۱۱/۰۷	۱/۱۰۷	۰/۴۳۰	۰/۳۴۳۰	۲/۱۸۰	۰/۲۱۸۰	۰/۸۰۰	۰/۰۸۰۰	.	.	.	.	.	.	۷ (f)
۱۲/۶	۱/۲۶۰	۴/۲۰۰	۰/۴۲۰۰	۲/۲۸۷	۰/۲۲۸۷	۰/۹۸۰	۰/۰۹۸۰	.	.	.	.	.	.	۸ (g)

تخریب شده نمونه ها پس از ۱۲۰ روز مدفون بودن در زیر خاک توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (شکل چهار) مشخص شد که با افزایش درصد وزنی پرکننده های زیستی در چندسازه ها و به موازات افزایش درصد کاهش وزن آنها در اثر تخریب زیستی، شدت تخریب زیستی در سطوح نمونه ها نیز افزایش یافته است. در شکل چهار، قسمت هایی که دچار تخریب زیستی شده اند با خط کشی و فلش های سفید و در شکل ۴- د میکروارگانیزم هایی که در داخل یکی از قسمت های تخریب شده در حال فعالیت هستند با فلش خط چین سفید نشان داده شده است.

با افزودن ۲۰ و ۲۵ درصد آرد چوب به پلی پروپیلن، این مقدار (پس از ۱۲۰ روز مدفون سازی در زیر خاک) به ترتیب به ۰/۶۰۷ و ۰/۶۶۰ گرم رسید. همچنین افزودن پودر نشاسته در ترکیب چندسازه ها نیز موجب افزایش کاهش وزن در آزمون مدفون سازی زیر خاک شد. بیشترین کاهش وزن برابر ۱/۲۶ گرم در نمونه هایی که حاوی بیشترین درصد وزنی آرد چوب (۲۵ درصد) و پودر نشاسته (۱۵ درصد) در ترکیب خود بودند (نمونه شماره هشت) مشاهده شد. تغییرات ایجاد شده در کاهش وزن چندسازه ها در آزمون مدفون سازی زیر خاک در اثر افزایش درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. در مطالعه سطوح



شکل ۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ از سطح تخریب‌شده نمونه‌های آزمون زیست‌تخریب‌پذیری پس از چهار ماه مدفون‌سازی زیرخاک؛ الف- ۲۰٪ آرد چوب و فاقد پودر نشاسته، ب- ۲۵٪ آرد چوب و فاقد پودر نشاسته، ج- ۲۰٪ آرد چوب، ۱۰٪ پودر نشاسته و د- ۲۵٪ آرد چوب و ۱۵٪ پودر نشاسته در ترکیب

بحث

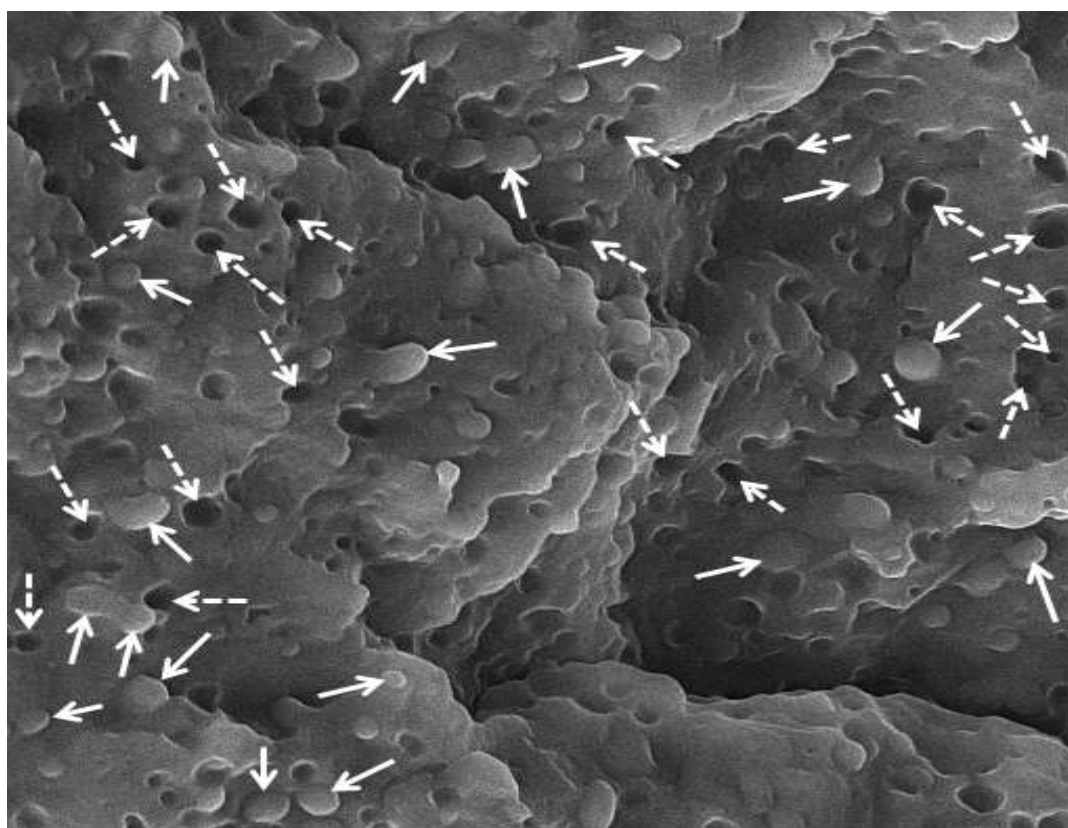
مقاومت به کشش در مقایسه با نمونه یک (شاهد) کاهش یافت و از سوی دیگر مدول کششی روندی افزایشی از خود نشان داد. البته کاهش مقاومت به کشش می‌تواند ناشی از تعدیل مقاومت کششی چندسازه در حضور نشاسته باشد، زیرا مقاومت کششی نشاسته خالص کمتر از مقاومت کششی پلی‌پروپیلن خالص است. از سوی دیگر مدول کششی افزایش یافته، زیرا نشاسته خالص بسیار انعطاف‌پذیر است (Oduola & Akpeji, 2015) و می‌تواند با ورود به ترکیب چندسازه موجب افزایش انعطاف‌پذیری و در نتیجه افزایش مدول کششی آن شود.

افزودن و افزایش درصد وزنی آرد چوب و پودر نشاسته موجب بهبود ویژگی‌های خمشی چندسازه‌ها شد.

یافته‌های آزمون‌های کششی نشان داد که با افزودن آرد چوب به ماده زمینه میزان مقاومت به کشش و مدول کششی در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص افزایش یافته، این رخداد قابل پیش‌بینی بود، زیرا به‌طور معمول ویژگی‌های کششی پلی‌پروپیلن با افزودن پرکننده چوبی به آن در صورت ایجاد اتصال مناسب بین ماده زمینه و پرکننده چوبی افزایش می‌یابد. بنابراین حضور پرکننده چوبی در پلی‌پروپیلن موجب انتقال و توزیع بهتر تنش واردشده به چندسازه در ماده زمینه می‌شود (Farsi, 2010). Kokta و همکاران (۱۹۸۹)؛ Mijiyawa و همکاران (۲۰۱۴) نیز به یافته‌های مشابهی دست یافتند. اما با ورود و افزایش درصد وزنی پودر نشاسته در ترکیب از یکسو

پلیمری می‌تواند موجب ارتقاء ویژگی‌های خمشی آن شود. Tabarsa و همکاران (۲۰۱۱) نیز با افزایش درصد وزنی آرد چوب از ۳۰ به ۳۵ در چندسازه‌های تولید شده از ماده زمینه پلی پروپیلنی، افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته چندسازه‌ها را مشاهده نمودند. همچنین Wilczynski و Gozdecki (۲۰۱۵) نیز افزایش مدول الاستیسیته در اثر افزایش آرد چوب را در چندسازه‌های تولید شده با ماده زمینه از جنس پلی وینیل کلراید گزارش نمودند.

به‌طورمعمول با افزودن الیاف چوب به ماده زمینه پلیمری ویژگی‌های خمشی چندسازه‌های تولید شده در مقایسه با پلیمر خالص بهبود می‌یابد، زیرا ویژگی‌های چندسازه‌ها بیشتر ترکیبی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد تک‌تک اجزاء سازنده آنهاست و چوب بسیار مستحکم‌تر و سفت‌تر از پلیمرهای معمول مورد استفاده در ترکیب چوب پلاستیک مانند پلی پروپیلن است و مقاومت خمشی آن به‌طور چشم‌گیری در مقایسه با این نوع پلیمرها بیشتر است (Klyosov, 2007) و بدین ترتیب با ورود به ماده زمینه



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح مقطع شکسته نمونه شماره ۷ حاوی ۲۰٪ آرد چوب و ۱۵٪ پودر نشاسته در ترکیب (فلش‌های سفید: ذرات پودر نشاسته، فلش‌های خط چین سفید: خلل و فرج موجود در ماده زمینه)

(Oduola & Akpeji, 2015). همچنین همان‌طور که در شکل پنج که از مقطع شکسته نمونه شماره هفت (حاوی ۲۰ درصد آرد چوب و ۱۵ درصد پودر نشاسته در ترکیب) توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تهیه شده قابل

نشاسته خالص دارای مقاومت خمشی زیادی است و بسیار انعطاف‌پذیر است و زمانی که وارد ماده زمینه پلی پروپیلنی می‌شود مانند یک عامل مقاومت‌دهنده عمل می‌کند و موجب افزایش مقاومت خمشی آن می‌شود

میکروارگانیسیم‌ها نمی‌توانند به سطح آن حمله کرده و از آن تغذیه کنند (Arutchelvi *et al.*, 2008) اما مواد لیگنوسولوزی طبیعتاً زیست‌تخریب‌پذیرند و زمانی که در ترکیب چندسازه به‌عنوان پرکننده استفاده می‌شوند بر توانایی زیست‌تخریب‌پذیری آن تأثیر می‌گذارند (Muniyasamy *et al.*, 2013). نشاسته هم ماده‌ای با توانایی تخریب زیستی زیاد است که به‌راحتی توسط میکروارگانیسیم‌ها مصرف می‌شود (Michael Gould *et al.*, 1990).

منابع مورد استفاده

- Aganguly, S., 2018. Plastic pollution and its adverse impact on environment and ecosystem. in: International Conference Recent Trends in Arts, Science, Engineering and Technology, Perambular, India, 30 December 2018: 15-16.
- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkat, A., Doble, M., Bhaduri, P. and Uppara, P. V., 2008. Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology*, 7(1): 9-22.
- Ashori, A., 2008. Wood- plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresource Technology*, 99(11): 4661-4667.
- Azmi, N., Abu Bakar, A., Amril Samsudin, S. and Abdul Aziz, N., 2014. Preparation and characterization of tapoca starch filled Polycaprolactone composite films. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18 (3): 612-617.
- Beg, M. D. H., Kormin, S., Bijarimi, M. and Zaman, H. U., 2014. Preparation and characterization of low-density polyethylene/thermoplastic starch composites. *Advances in Polymer Technology*, 35(1): 01-09.
- Behjat, T., Russly, A. R., Lugman, C. A., Yus, A.Y. and Nor Azowa, I., 2009. Effect of PEG on the biodegradability studies of kenaf cellulose-polyethylene composites. *International Food Research Journal*, 16 (2): 243-247.
- Bhaskar, J., Haq, S., Pandey, A.K. and Srivastava, N., 2012. Evaluation of properties of propylene- pine wood-plastic composite. *Journal of Materials and Environmental Science*, 3(3): 605-612.
- Fabunmi, O. O., Lope, G. T., Panigrahi, S. and Chang, P. R., 2007. Developing Biodegradable Plastics from Starch. ASABE, CSBE North Central International Conference, Fargo, North Dakota, USA, 12- 13 October 2007: 1- 12.
- مشاهده است، ذرات پودر نشاسته (فلش‌های سفیدرنگ) داخل میکرو حفره‌هایی (فلش‌های خط‌چین سفیدرنگ) که در اثر اختلاط آرد چوب با ماده زمینه در ماده زمینه به وجود آمده است قرار گرفته‌اند؛ بدین ترتیب موجب ایجاد ساختاری با پیوستگی بیشتر و خلل و فرج کمتر شده‌اند و از سوی دیگر با قرارگیری در ماده زمینه شبکه‌های میکرومتری انتقال و توزیع تنش را ایجاد نموده‌اند. بدین ترتیب توانایی چندسازه در انتقال تنش‌های وارد شده به آن به ماده زمینه و نیز توزیع این تنش‌ها در کل ساختار افزایش یافته و در نهایت منجر به ارتقاء ویژگی‌های مکانیکی چندسازه شده است.
- اندازه‌گیری‌ها نشان داد که با افزودن آرد چوب و پودر نشاسته به ماده زمینه میزان جذب آب، واکنشیدگی ضخامت و تخریب زیستی چندسازه‌ها افزایش می‌یابد. به‌طورمعمول چوب پلاستیک جذب آب بیشتری در مقایسه با پلی‌مر خالص دارد (Klyosov, 2007) زیرا چوب به دلیل حضور گروه‌های هیدروکسیل قابل دسترس در ساختار خود دارای طبیعتی آب‌دوست است (Wang *et al.*, 2013) و با افزایش مقدار آرد چوب در ترکیب چندسازه، جایگاه‌های جذب آب آن افزایش می‌یابد و بدین ترتیب توانایی جذب آب چندسازه نیز افزایش می‌یابد (Bhaskar *et al.*, 2012). مواد نشاسته‌ای نیز آب‌دوست‌اند و دارای گروه‌های هیدروکسیل قابل دسترسی در ترکیب خود هستند (Myilsamy *et al.*, 2018) که تمایل به جذب آب دارند، زیرا گروه‌های هیدروکسیل موجود در نشاسته می‌توانند با آب پیوند هیدروژنی تشکیل دهند (Kormin *et al.*, 2017) و این مواد می‌توانند پس از ورود به ترکیب چندسازه با جذب آب و واکنشیده شدن موجب افزایش توانایی جذب آب و در نهایت واکنشیدگی ضخامتی بیشتر چندسازه‌های تولیدی شوند.
- میزان کاهش وزن پلی‌پروپیلن خالص پس از چهار ماه مدفون بودن در خاک برابر با صفر بود. میزان توانایی جذب مولکول‌های آب توسط پلیمرها ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و همین‌طور استعداد آنها برای زیست‌تخریب‌پذیری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Khoramnejadian 2013). پلی‌پروپیلن به شدت آب‌گریز است، بنابراین

2014. Formulation and tensile characterization of wood-plastic composites: Polypropylene reinforced by birch and aspen fibers for gear applications. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28 (12): 1-18.
- Muniyasamy, S., Anstey, A., Reddy, M., Misra, M. and Mohanty, A., 2013. Biodegradability and compostability of lignocellulosic based composite materials. *Journal of Renewable Materials*, 1(4): 253-272.
- Myilsamy, D., Gowtham, S., Saravanakumar, J. and Rajendran, D., 2018. Studies on blending properties of poly lactic acid and starch with methylene diphenyl diisocyanate. *International Advanced Research Journal in Science Engineering and Technology*, 5 (9): 107-110.
- Oduola, M. K. and Akpeji, P. O., 2015. Effects of starch on the Mechanical and Rheological properties of polypropylene. *American Journal of Chemical Engineering*, 3 (2-1): 1-8.
- Salemane, M. G. and Luyt, A. S., 2006. Thermal and mechanical properties of polypropylene-wood powder composites. *Applied Polymer Science*, 100 (5): 4173-4180.
- Tabarsa, T., Khanjanzadeh, H. and Pirayesh, H., 2011. Manufacturing of wood- plastic composite from completely recycled materials. *Key Engineering Materials*, 471-472(2011): 62-66.
- Wang, X., Chai, Y. and Liu, J., 2013. Formation of highly hydrophobic wood surfaces using silica nanoparticles modified with long- chain alkylsilane. *Holzforschung*, 67(6): 667-672.
- Wilfred, O., Tai, H., Marriott, R., Liu, Q., Teverezovskiy, V., Curling, S., Tai, H., Fan, Zh. and Wang, W., 2018. Biodegradation of polylactic acid and starch composites in compost and soil. *International Journal of Nano Research*, 1(2): 01-11.
- Zuchowska, D., Steller, R. and Meissner, W., 1998. Structure and properties of degradable polyolefin-starch blends. *Polymer Degradation and Stability*, 60(2-3): 471-480.
- Farsi, M., 2010. Wood-plastic composites: Influence of wood flour chemical modification on the mechanical performance. *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, 29(24): 3587-3592.
- Gozdecki, C. and Wilczynski, A., 2015. Effect of wood flour type on flexural properties of wood -plastic composites. *Forestry and Wood Technology*, 89 (2015): 50-54.
- Khoramnejadian, S., 2013. Microbial degradation of starch based polypropylene. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 7(4): 2857-2860.
- Klyosov, A. A., 2007. *Wood-Plastic Composites*. Wiley, Hoboken, NJ, USA, 726p.
- Kokta, B.V., Raj, R.G. and Daneault, C., 1989. Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene: Studies on Mechanical Properties. *Polymer-Plastic Technology and Engineering*, 28(3): 247-259.
- Kormin, Sh., Kormin, F., Dalour Hossen Beg, M. and Bijarimi Mat Piah, M., 2017. Physical and mechanical properties of LDPE incorporated with different starch sources. *International Research and Innovation Summit (IRIS 2017)*, IOP Conf, Series: Materials Science and Engineering, Kunming, China, October 2017: 1-9.
- Liu, W., Wang, Y. and Sun, Z., 2003. Effects of polyethylene-grafted maleic anhydride (PE-g-MA) on thermal properties, morphology and tensile properties of low density polyethylene (LDPE) and corn starch blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(13): 2904-2911.
- Lu, J. Z., Wu, Q. and McNabb, H. S., 2000. Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: A review of coupling agents and treatments. *Wood Fiber Science*, 32(1): 88-104.
- Matzinos, P., Bikiaris, D. and Panayiotou, C., 2001. Processing and characterization of LDPE/starch products. *Journal of Applied Polymer Science*, 79 (14): 2548-2557.
- Michael Gould, J., Gordon, S. H., Dexter, L. B. and Swanson, C.L., 1990. Biodegradation of Starch-Containing Plastic. *Agricultural and Synthetic Polymers*, 1990 (433): 65-75
- Mijiyawa, F., Koffi, D., Kokta, B.V. and Erchiqui, F.,

Production of polypropylene/ poplar wood flour and starch powder composite with improved mechanical and biodegradability properties

A.R. Asgari¹, A.H. Hemmasi^{2*}, B. Bazyar³, M. Talaeipour⁴ and A. Nourbakhsh⁵

- 1- Ph.D. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2*-Corresponding author, Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, P.O. Box 14515/775, Iran, Email: h_hemmasi@srbiau.ac.ir
3-Assistant professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4-Associate professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5-Associate professor, Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: Jan., 2021

Accepted: June, 2021

Abstract

The mechanical (tensile strength and modulus, bending strength and modulus), humidity (water absorption and thickness swelling) and biodegradability properties of wood-plastics produced from polypropylene and poplar wood-flour (wood flour in three levels of 0, 20 and 25 percentage) and the starch powder (at four levels of 0, 5, 10 and 15 percentage) are assessed as a strength agent. The material mixing process was run in two stages using an extruder machine and applying an internal mixer haake machine. The mechanical and humidity tests specimens are produced by mold injection method and the biodegradability test specimens are formed by hot press method. The tests are run according to standards procedures. The results indicate that an increase in weight percentage of wood-flour in the composition, increased the mechanical strength, water absorption, thickness swelling and biodegradability of composites. An increase in weight percentage of starch powder in the composition, increased the bending strength and modulus, tensile modulus, water absorption, thickness swelling and biodegradability of composites, while decreasing the tensile strength. Additional studies using the scanning electron microscopy indicate that by adding wood-flour and starch powder to the composition, the intensity of biodegradation increased at the surface of the specimens. By adding starch powder to the composition, the starch powder particles fill the cavities in the composite structure, thus a reduced in the volume of the pores in the composite structure.

Keywords: Wood plastic, wood flour, starch powder, mechanical properties, biodegradability.