Archive of SID

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۱، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۷
ص ۲۳۱-۲۴۱

DOI: 10.22059/jfwp.2018.237644.859

ویژگی‌های کامپوزیت سبز پلی‌لاکتیک‌اسید تقویت‌شده با آرد ساقهٔ توتون

سعید ناروئی[۱]، لعیا جمالی راد[۲*]، هدایت‌الله امینیان[۳]، سحاب حجازی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فراورده‌های چندسازهٔ چوبی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد
۲. استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد
۳. استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد
۴. دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴

چکیده

این تحقیق با هدف جایگزینی پلیمرهای شیمیایی با پلیمر طبیعی و تجدیدشونده و در پی آن کاهش مسائل زیست‌محیطی، خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت پلی‌لاکتیک‌اسید تقویت‌شده با آرد ساقهٔ توتون بررسی شد. بدین منظور از نسبت‌های مختلف آرد ساقهٔ توتون و پلیمر پلی‌لاکتیک‌اسید شامل ۷۰:۳۰، ۶۰:۴۰ و ۵۰:۵۰ و MAPP به‌عنوان مادهٔ جفت‌کننده در دو سطح ۴ و ۶ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار آرد توتون و کاهش سهم PLA پایداری ابعادی تخته‌های ساخته‌شده کاهش یافت، اما پایداری ابعادی تخته‌های ساخته‌شده با PLA در مقایسه با پلیمر پلی‌پروپیلن بهبود چشمگیری داشت. ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت حاصل، در موارد بسیاری افزایش یافت و حتی دوبرابر خواص مکانیکی کامپوزیت ساخته‌شده با پلی‌پروپیلن بود. یعنی پلیمر طبیعی PLA نه‌تنها سبب کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک نمی‌شود، بلکه در مواردی در مقایسه با پلیمرهای شیمیایی موجب بهبود ۵۰ درصدی خواص آن می‌شود. این پلیمر طبیعی و تجدیدشونده، سازگار با محیط زیست است و کامپوزیت ساخته‌شده را می‌توان در گروه کامپوزیت‌های سبز قرار داد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌لاکتیک‌اسید، جفت‌کننده، خواص مکانیکی، زیست‌تخریب‌پذیر، کامپوزیت چوب-پلاستیک.

مقدمه

در سال‌های اخیر، مقدار زیادی از محصولات پلاستیکی با منشأ نفتی در سراسر جهان دور انداخته می‌شوند، زیرا سوزاندن بقایای آنها سبب آلودگی محیط زیست می‌شود [۲،۱]. در نتیجه به‌دلیل محدودیت‌های زیست‌محیطی، مواد اولیه‌ای که سازگار با محیط زیست باشند، در ایجاد و توسعهٔ فراورده‌های جدید از جمله بایوکامپوزیت‌ها حائز اهمیت شدند [۲]. در این زمینه، پلیمرهای طبیعی به‌عنوان جایگزینی برای پلیمرهای برپایهٔ نفتی مطرح شدند. در سالیان اخیر کامپوزیت ساخته‌شده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر- الیاف طبیعی به‌علت تخریب کامل این مواد در خاک و انتشار نیافتن ترکیبات سمی در بسیاری از تحقیقات کانون توجه قرار گرفتند [۳-۵]. همچنین ویژگی‌های مکانیکی و گرمایی پلیمرهای زیستی به پلیمرهایی مانند پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن (PE) و پلی‌استارین (PS) بسیار نزدیک است [۶]. یکی از این پلیمرهای طبیعی، پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA)[1] است که پلیمری ترموپلاستیک به‌شمار می‌رود [۷،۱]. پلیمر

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۵۹۴۴۸۷
Email: loyajamalirad@yahoo.com

1. Poly Lactic Acid

www.SID.ir

Archive of SID

پلی‌لاکتیک‌اسید زیست‌تخریب‌پذیر از پسماندهای کشاورزی تجدیدشونده تولید می‌شود و دارای ویژگی‌های قابل مقایسه با پلیمرهای برپایهٔ نفتی است. فواید این پلیمر طبیعی عبارت‌اند از: زیست‌تخریب‌پذیری، مصرف انرژی کمتر برای تولید، کاهش گازهای گلخانه‌ای، تجدیدشوندگی [۸] و ویژگی‌های مقاومتی مناسب [۹]. علاوه‌بر این، انعطاف‌پذیری در برابر حرارت، سازگاری با محیط زیست و سهولت تولید از دیگر ویژگی‌های این پلیمر است. شکنندگی ذاتی و سفتی آنها سبب محدودیت استفاده از آن در کاربردهای مختلف می‌شود [۱،۱۰]، ولی استفاده از الیاف طبیعی به‌عنوان عامل تقویت‌کننده می‌تواند راه حلی امیدبخش برای بهبود و جبران خواص نامناسب آن باشد؛ زیرا الیاف طبیعی با مقاومت و سفتی زیاد، قیمت کمتر، چگالی کم و انعطاف‌پذیری دارای توانایی تقویت ماتریس پلیمر برای تولید کامپوزیت‌های با ویژگی‌های مطلوب‌اند [۲، ۱۱]. از جملهٔ این مواد می‌توان به الیاف موجود در پسماندهای کشاورزی مانند الیاف کتان، ذرت، کاه گندم، باگاس، برنج و ... اشاره کرد. استفاده از پسماندهای زراعی به‌عنوان منابع تجدیدشونده از مهم‌ترین راهکارهایی است که طی سال‌های اخیر در زمینهٔ کمبود منابع چوبی جنگلی مطرح بوده است و موضوع جدیدی نیست و روی آوردن به استفاده از این پسماندها اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. استفاده از این پسماندهای کشاورزی از یک‌سو مانع تخریب بی‌رویهٔ جنگل‌ها و حفظ اکوسیستم و کاهش آلودگی زیست‌محیطی می‌شود و از سوی دیگر به‌دلیل کوتاه بودن دورهٔ رشد این گونه‌ها تا حد زیادی می‌تواند منابع فیبری صنعت چوب و کاغذ را تأمین کند. Oksman و همکاران (۲۰۰۳) از الیاف کنف برای تقویت پلیمر پلی‌پروپیلن و پلیمر پلی‌لاکتیک‌اسید در ساخت کامپوزیت به‌دلیل مقایسهٔ خواص مکانیکی آنها استفاده کردند. مقاومت‌های کامپوزیت پلی‌لاکتیک‌اسید/کنف در حدود ۵۰ درصد در مقایسه با کامپوزیت پلی‌پروپیلن/کنف بهتر بود که امروزه در صنعت استفاده می‌شود. استحکام پلی‌لاکتیک‌اسید با افزودن ۳۰ درصد وزنی الیاف کنف از ۳/۴ گیگاپاسکال به ۸/۴ گیگاپاسکال افزایش یافت. نتایج حاکی از آن بود که پلی‌لاکتیک‌اسید به‌همراه الیاف طبیعی، خواص مکانیکی مطلوب به‌عنوان جایگزین کامپوزیت گرمانرم رایج را دارند [۱۲]. Yu و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت ساخته‌شده از پلی‌لاکتیک‌اسید و الیاف رامی نشان دادند که مقاومت کششی کامپوزیت با افزایش الیاف ۱۰ تا ۳۰ درصد در مقایسه با پلیمر خالص افزایش یافت؛ درحالی که استفاده از الیاف به مقدار بیشتر از ۳۰ درصد سبب کاهش مقاومت کششی شد [۱۳]. توتون از جمله گیاهان غیرچوبی در شمال کشور به‌خصوص استان گلستان است که پس از مصرف برگ آن در صنایع دخانیات، پسماندهای ساقهٔ آن در سطح زمین بدون برداشت می‌ماند و توسط کشاورزان سوزانده می‌شود و از بین می‌رود [۱۴]. از این‌رو می‌توان از ساقهٔ آن همانند دیگر گیاهان علفی دولپه نظیر کنف، کتان روغنی (فلکس)، شاهدانه و ... در صنایع تولید کاغذ و کامپوزیت‌های چوبی استفاده کرد [۱۵، ۱۶]. تحقیقات Tank و همکاران (۱۹۸۵) در زمینهٔ میزان ترکیبات شیمیایی ساقهٔ توتون نشان داد که این ماده به‌دلیل داشتن ۶۷/۷ درصد هولوسلولز، قابلیت استفاده در صنایع سلولزی را دارد و از نظر ترکیبات شیمیایی، در تأمین مواد اولیهٔ سلولزی می‌توان به‌خوبی از آن استفاده کرد [۱۷]. بر این اساس در این تحقیق به‌دلیل کاهش مصرف پلیمرهای شیمیایی و جایگزینی آنها با پلیمرهای طبیعی و مصرف مفید ضایعاتی مانند ساقهٔ توتون، ساخت کامپوزیت زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از PLA و آرد ساقهٔ توتون مدنظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، ساقهٔ توتون از مزارع اطراف شهرستان علی‌آباد کتول استان گلستان تهیه و به آزمایشگاه صنایع چوب منتقل شد. ساقه پس از تبدیل به ذرات کوچک‌تر، توسط آسیاب مکانیکی به آرد تبدیل شد. بعد از آن ذرات

www.SID.ir

Archive of SID

عبورداده‌شده از الک ۴۰ مش و جمع‌آوری‌شده روی الک ۶۰ مش تا رطوبت ۱ درصد خشک شده و برای جلوگیری از تبادل رطوبتی بسته‌بندی شدند. همچنین از پلیمر طبیعی پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA) ساخت شرکت اتریشی CHEMIE KAS GmbH با چگالی ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و شاخص جریان مذاب ۱/۲ gr/۱۰ min و از مالئیک‌انیدرید پیوندیافته با پلی‌پروپیلن (MAPP)[1] به‌منزلهٔ مادهٔ جفت‌کننده، استفاده شد. برای ساخت کامپوزیت مورد نظر، آرد ساقهٔ توتون و پلیمر پلی‌لاکتیک‌اسید با نسبت‌های ۷۰/۳۰، ۶۰/۴۰ و ۵۰/۵۰، و مالئیک‌انیدرید پیوندیافته با پلی‌پروپیلن در دو سطح ۴ و ۶ درصد استفاده شد. مواد لازم برای هر یک از تیمارها با اکسترودر دومارپیچه واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران با هم مخلوط شده و سپس کامپوزیت‌های چوب-پلاستیک به ضخامت ۴ میلی‌متر توسط دستگاه پرس گرم ساخت شرکت TOYOSEIKI آلمان ساخته شدند. زمان پرس ۸ دقیقه و دمای پرس ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تنظیم شد. پس از پایان پرس گرم، تخته‌ها به‌مدت ۵ دقیقه داخل پرس سرد قرار داده شده تا سرد شوند (شکل ۱). پس از برش کامپوزیت‌ها و تهیهٔ نمونه‌های آزمونی، مطابق با استاندارد ASTM خواص فیزیکی و مکانیکی شامل واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (D 570)، مقاومت خمشی و کششی (D 790 و D 638)، مدول خمشی و کششی و مقاومت به ضربه (D 256) اندازه‌گیری شد. تجزیه‌وتحلیل نتایج با استفاده از روش تجزیهٔ واریانس انجام گرفت و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن مقایسه و گروه‌بندی شد.

شکل ۱. کامپوزیت چوب-پلاستیک ساخته‌شده از آرد ساقهٔ توتون- پلی‌لاکتیک‌اسید

نتایج و بحث

مقادیر میانگین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تیمارهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. میانگین مقادیر مختلف ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تیمارهای مختلف

آرد ساقهٔ توتون/ پلی‌لاکتیک‌اسید	جفت‌کننده (براساس وزن خشک پلیمر) (٪)	مقاومت خمشی (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	مقاومت کششی (Mpa)	مدول کششی (Mpa)	مقاومت به ضربه (j/m)	واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت (٪)	واکشیدگی ضخامت بعد از۲۴ ساعت (٪)
۶۶/۳۰	۴	۶۹/۴۴	۵۲۶۹/۳	۳۳/۰۳	۵۳۶۰/۳۳	۰/۷۴	۰	۰/۲۵
۶۴/۳۰	۶	۷۷/۱۶	۶۰۳۶/۳	۳۹/۵۶	۶۶۳۰/۳۳	۰/۷۷	۰	۰/۱۳
۵۶/۴۰	۴	۹۱/۱۷	۹۹۳۷/۷	۳۱/۸۴	۷۰۷۶/۳۳	۰/۶۶	۰/۴۶	۱/۱۱
۵۴/۴۰	۶	۹۳/۲۵	۱۰۱۳۹	۳۴/۲۸	۷۵۶۶	۰/۸۱	۰/۳۲	۰/۹۴
۴۶/۵۰	۴	۱۰۷/۷۹	۱۲۶۷۲	۲۸/۹۱	۶۵۰۷	۰/۶۳	۰/۵۲	۱/۳۶
۴۴/۵۰	۶	۱۰۷/۸۹	۱۲۹۲۳/۳۳	۳۳/۸۴	۸۱۵۹/۶۶	۰/۷	۰/۴۱	۱/۳۰

1. Maleic Anhydride Grafted Polypropylene

www.SID.ir

Archive of SID

واکشیدگی ضخامت

همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، اثر مستقل مقدار مصرف آرد ساقهٔ توتون و اثر متقابل عوامل متغیر بر میزان واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول‌های ۲ و ۳). با افزایش آرد ساقهٔ توتون از ۳۰ به ۵۰ درصد و کاهش سهم PLA، واکشیدگی ضخامت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ اما با افزایش مقدار مصرف جفت‌کننده به‌دلیل سازگاری بیشتر الیاف و پلیمر، واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، در تیمار ۳۰ درصد آرد ساقهٔ توتون و ۷۰ درصد PLA به همراه ۴ و ۶ درصد جفت‌کننده، مقدار واکشیدگی ضخامت صفر است که در مقایسه با شرایط مساوی نسبت اختلاط در تحقیقات محققان دیگر با استفاده از پلیمر پلی‌پروپیلن [۱۴ و ۱۸] کاهش چشمگیری داشت. یعنی با مصرف ۳۰ درصد آرد توتون و ۷۰ درصد PLA، کمترین واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب حاصل شد که در این تیمار مقدار واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت در مقایسه با تحقیقات سایر محققان در شرایط مساوی و استفاده از سایر پلیمرهای شیمیایی بهتر و در حد صفر بود. یعنی با آنکه بیش از ۹۰ درصد کامپوزیت را ترکیبات طبیعی تشکیل می‌دهند، تختهٔ حاصل پایداری ابعادی مطلوبی داشت. اما با افزایش آرد توتون و کاهش سهم PLA، پایداری ابعادی تخته‌ها کاهش یافت؛ زیرا سهم مواد لیگنوسلولزی آب‌دوست افزایش یافت. همچنین با افزایش مصرف مادهٔ جفت‌کننده، به‌دلیل سازگاری بیشتر بین الیاف و پلیمر، گروه‌های هیدروکسیل بیشتری از الیاف طبیعی با گروه‌های کربونیل مالئیک‌انیدرید، پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند [۱۹] و در نتیجه میزان گروه‌های هیدروکسیل آزاد موجود در ساختار کامپوزیت کاهش و در پی آن پایداری ابعادی تخته‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۲. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر میزان واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۰/۷۴۹۴۳۳۳۳	۰/۳۷۴۷۱۶۶۷	۵۵/۰۲	۰/۰۰**
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۰/۰۲۹۶۰۵۵۶	۰/۰۲۹۶۰۵۵۶	۴/۳۵	۰/۰۵*
A×C	۲	۰/۷۹۴۵۱۶۶۷	۰/۱۵۸۹۰۳۳۳	۲۳/۳۳	۰/۰۰**
خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۸۱۷۳۳۳۳	۰/۰۰۶۸۱۱۱۱		
کل	۱۷	۰/۸۷۶۲۵۰۰۰			

*: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

**: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

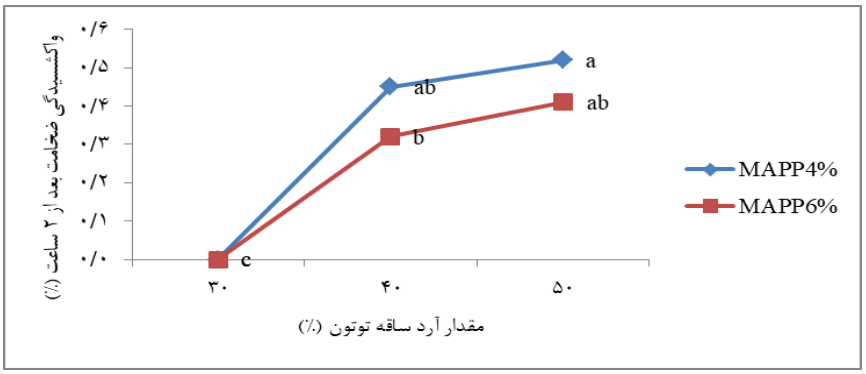
جدول ۳. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر میزان واکشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۴/۱۲۹۵۴۴۴۴	۲/۰۶۴۷۷۲۲۲	۱۹/۶۴	۰/۰۰**
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۰/۰۶۲۴۲۲۲۲	۰/۰۶۲۴۲۲۲۲	۰/۵۹	۰/۴۵^{ns}
A×C	۲	۴/۲۰۲۲۴۴۴۴	۰/۸۴۰۴۴۸۸۹	۷/۹۹	۰/۰۰**
خطای آزمایش	۱۲	۱/۲۶۱۴۶۶۶۷	۰/۱۰۵۱۲۲۲۲		
کل	۱۷	۵/۴۶۳۷۱۱۱۱			

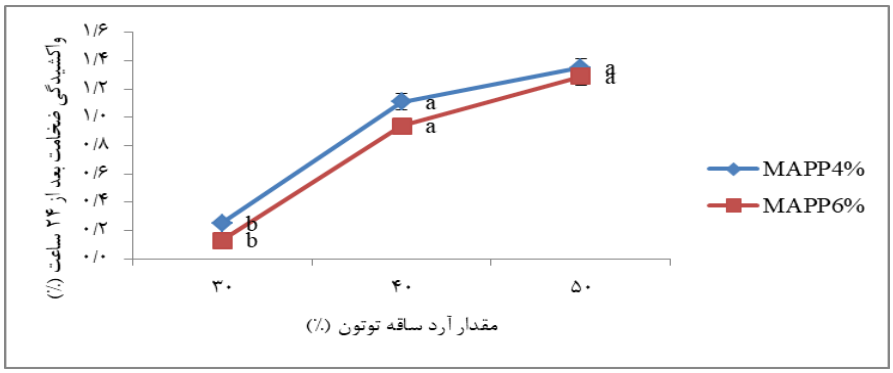
**: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد ns: معنی‌دار نبودن

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. اثر متقابل عوامل متغیر بر میزان واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب (حروف متفاوت روی شکل نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)



شکل ۳. اثر متقابل عوامل متغیر بر میزان واکشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (حروف متفاوت روی شکل نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

مقاومت خمشی و کششی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی کامپوزیت حاصل معنی‌دار است، اما بر مقاومت کششی معنی‌دار نیست (جدول‌های ۴ و ۵). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین مقاومت خمشی کامپوزیت مورد نظر در هنگام استفاده از نسبت ۵۰:۵۰ آرد ساقهٔ توتون و PLA به‌همراه ۶ درصد جفت‌کننده حاصل شد، زیرا در درصد وزنی مشخص، حجم آرد چوب نسبت به پلیمر بیشتر شده و در نتیجه سبب فشردگی و درهم‌رفتگی آرد می‌شود که در بهبود مقاومت خمشی تأثیر مناسبی دارد. آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقادیر مقاومت خمشی نمونه‌های مربوط به تیمارهای مختلف را در گروه‌های مختلف (a، b و c) قرار داد. همچنین در تیمار استفاده از نسبت ۵۰:۵۰ آرد ساقهٔ توتون و PLA به‌همراه ۶ درصد جفت‌کننده، مقاومت خمشی کامپوزیت حاصل (در حدود ۱۰۸ مگاپاسکال) بیشتر و گاهی دوبرابر کامپوزیت‌های ساخته‌شده با پلیمر پلی‌پروپیلن در تحقیقات قلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) (در حدود ۹۰ مگاپاسکال) [۱۴] و بی‌اذیت و همکاران (۲۰۱۶) (در حدود ۵۳ مگاپاسکال) [۱۸] بود. از سوی دیگر، بیشترین مقاومت کششی در تیمار ۳۰ درصد آرد چوب و ۷۰ درصد PLA حاصل شد، اما آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقادیر مقاومت کششی تیمارهای مختلف را در یک گروه مشترک (a) قرار داد (شکل ۵). در همهٔ سطوح مختلف آرد با کاهش جفت‌کننده، کاهش مقاومت کششی گزارش شده است. در نتیجه می‌توان گفت که افزایش مصرف جفت‌کننده و کاهش آرد لیگنوسلولزی، مقاومت کششی کامپوزیت‌ها را افزایش داد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی

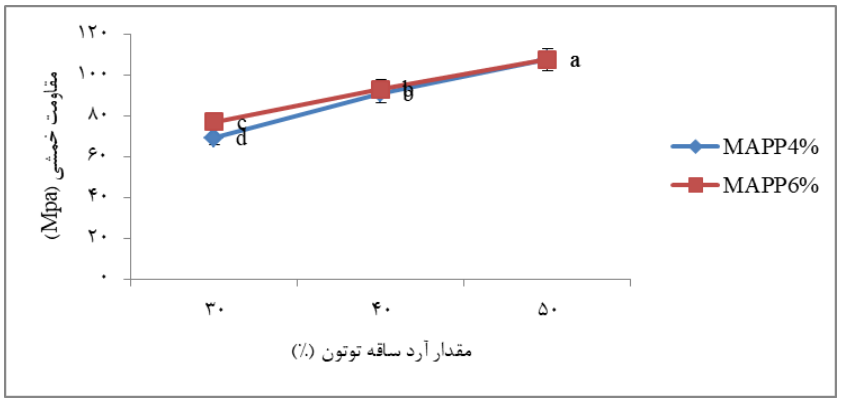
منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۳۵۸۹/۳۹۳۲۱۱	۱۷۹۴/۶۹۶۶۰۶	۳۶۲/۱۷	۰/۰۰**
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۴۷/۰۷۷۳۳۹	۴۷/۰۷۷۳۳۹	۹/۵۰	۰/۰۰**
A×C	۲	۴۸/۹۰۲۰۷۸	۲۴/۴۵۱۰۳۹	۴/۹۳	۰/۰۲*
خطای آزمایش	۱۲	۵۹/۴۶۴۸۶۷	۴/۹۵۵۴۰۶		
کل	۱۷	۳۷۴۴/۸۳۷۴۹۴			

*: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد **: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

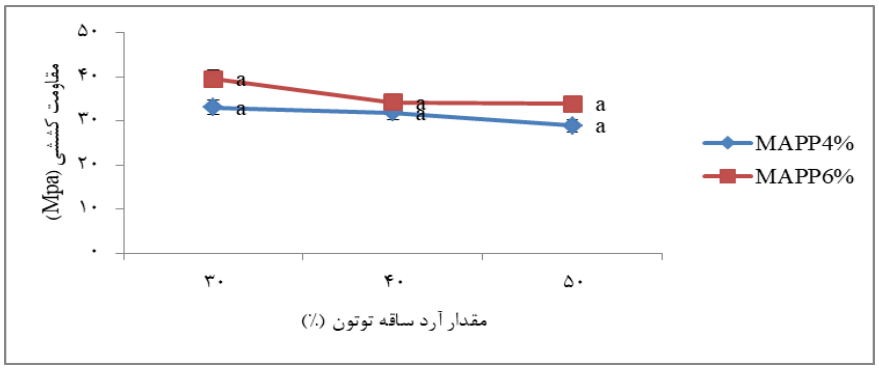
جدول ۵. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت کششی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۵/۹۱۶۶۳۳۳۳	۲/۹۵۸۳۱۶۶۷	۰/۱۱	۰/۸۹ ns
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۹۶/۶۹۷۶۸۸۸۹	۹۶/۶۹۷۶۸۸۸۹	۳/۵۰	۰/۰۸ ns
A×C	۲	۸۱/۸۱۹۸۷۷۷۸	۴۰/۹۰۹۹۳۸۸۹	۱/۴۸	۰/۲۶ ns
خطای آزمایش	۱۲	۳۳۱/۵۷۱۴۰۰۰	۲۷/۶۳۰۹۵۰۰		
کل	۱۷	۵۱۶/۰۰۵۶۰۰۰			

ns:معنی‌دار نبودن



شکل ۴. اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خمشی (حروف متفاوت روی شکل نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)



شکل ۵. اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت کششی (حروف یکسان روی شکل نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری بین تیمارهاست)

www.SID.ir

Archive of SID

مدول خمشی و کششی

با توجه به نتایج، اثر مستقل مقدار آرد ساقهٔ توتون و اثر متقابل عوامل متغیر، اختلاف معنی‌داری را بر مدول خمشی نشان می‌دهد؛ اما بر مدول کششی اختلاف معنی‌دار نیست (جدول‌های ۶ و ۷). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود بیشترین میانگین مدول خمشی مربوط به استفاده از نسبت ۵۰:۵۰ آرد ساقهٔ توتون و PLA است. تحقیقات قلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) و بی‌اذیت و همکاران (۲۰۱۶) به‌ترتیب در استفاده از مادهٔ تقویت‌کننده آرد ساقهٔ توتون و آرد نخل خرما به‌همراه پلیمر پلی‌پروپیلن نشان داد که در تیمار ۵۰ درصد آرد چوب به‌همراه ۵۰ درصد پلی‌پروپیلن، مدول خمشی به‌ترتیب ۵۸۳۸ مگاپاسکال و ۵۴۹۴/۳۳ مگاپاسکال حاصل شد [۱۴ ، ۱۸]؛ اما همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود همین تیمار مربوط به ۵۰ درصد PLA دارای مدول خمشی در حدود ۱۲۷۹۷ است. این بدان معناست که افزایش دوبرابری مدول خمشی در سطح ۵۰ درصد پلیمر طبیعی پلی‌لاکتیک‌اسید در این تحقیق در مقایسه با تحقیقات آنها که از پلیمر پلی‌پروپیلن استفاده کرده بودند، حاصل شد. یعنی احتمالاً پلیمر طبیعی و زیست‌تخریب‌پذیر PLA در مقایسه با پلی‌پروپیلن که ترکیبی شیمیایی است و سبب آلودگی زیست‌محیطی می‌شود، به‌دلیل برهم‌کنش بهتر با دیگر اجزای کامپوزیت حاصل و افزایش مقاومت خمشی، تأثیر بهتری بر مدول خمشی تخته‌ها نیز داشته است. همچنین مدول کششی تخته‌های حاوی پلیمر PLA (تقریباً ۷۳۳۳ مگاپاسکال) نیز در مقایسه با تحقیقات دیگر محققان با پلیمر پلی‌پروپیلن (۶۹۷۴ مگاپاسکال و ۶۶۲۶ مگاپاسکال) نیز افزایش داشته است [۱۴، ۱۸]. بدیهی است که بین مدول الاستیسیتهٔ کامپوزیت و مدول اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن رابطهٔ مستقیمی وجود دارد [۲۰]. در نتیجه با در نظر گرفتن مدول الاستیسیتهٔ بالاتر مواد لیگنوسلولزی استفاده‌شده، افزایش مدول الاستیسیتهٔ کامپوزیت همراه با افزایش سهم آرد توتون را شاهدیم (شکل ۷).

جدول ۶. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مدول خمشی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۱۵۵۷۹۰۳۴۸/۱	۷۷۸۹۵۱۷۴/۱	۷۲۹/۷۲	۰/۰۰**
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۲۵۷۰۴۴/۵	۲۵۷۰۴۴/۵	۲/۴۱	۰/۱۴^{ns}
A×C	۲	۷۸۰۹۴۴/۳	۳۹۰۴۷۲/۲	۳/۶۶	۰/۰۵*
خطای آزمایش	۱۲	۱۲۸۰۹۵۸/۷	۱۰۶۷۴۶/۶		
کل	۱۷	۱۵۸۱۰۹۲۹۵/۶			

*: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد **: درصد معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد ns: معنی‌دار نبودن

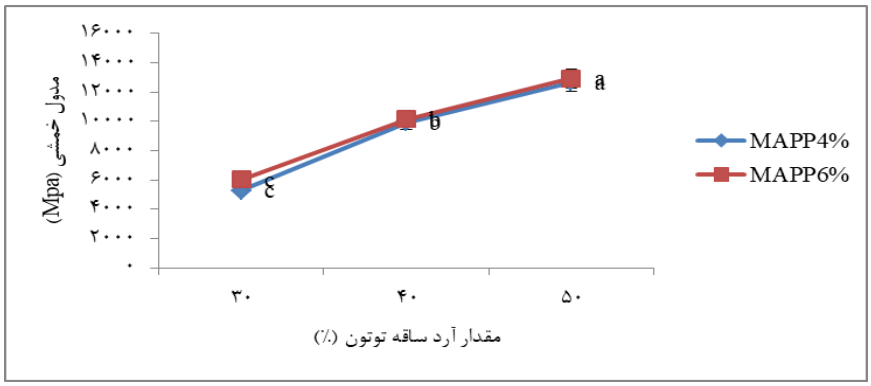
جدول ۷. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مدول کششی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۷۰۹۶۴۵۲/۱۱۱	۳۵۴۸۲۲۶/۰۵۶	۱/۵۷	۰/۲۴^{ns}
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۳۸۰۴۸۲/۷۲۲	۳۸۰۴۸۲/۷۲۲	۰/۱۷	۰/۶۸^{ns}
A×C	۲	۶۴۹۵۴۸۸/۱۱۱	۳۲۴۷۷۴۴/۰۵۶	۱/۴۳	۰/۲۷^{ns}
خطای آزمایش	۱۲	۲۷۱۹۹۳۹۴/۶۷	۲۲۶۶۶۱۶/۲۲		
کل	۱۷	۴۱۱۷۱۸۱۷/۶۱			

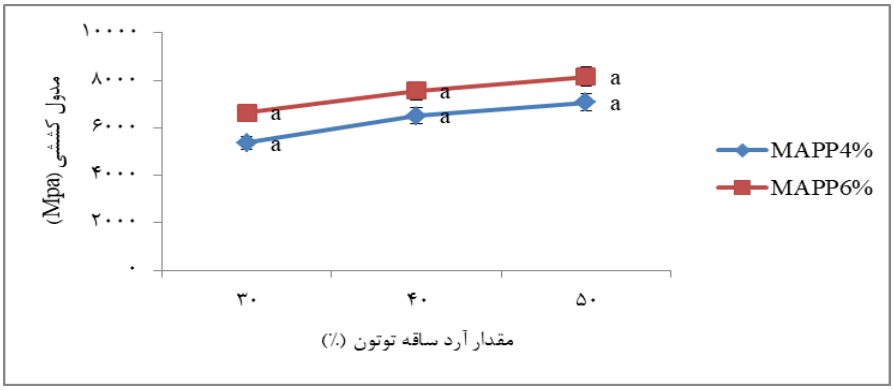
ns: عدم معنی‌داری

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. اثر متقابل عوامل متغیر بر مدول خمشی (حروف متفاوت روی شکل نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارهاست)



شکل ۷. اثر متقابل عوامل متغیر بر مدول کششی (حروف یکسان روی شکل نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری بین تیمارهاست)

مقاومت به ضربه

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه معنی‌دار نیست (جدول ۸). همهٔ تیمارها که از ترکیب عوامل متغیر حاصل شدند، در یک گروه مشترک (a) قرار دارند. همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد، تیمارهای ۳۰ و ۴۰ درصد آرد چوب (۶۰ و ۷۰ درصد PLA) بیشترین مقاومت به ضربه را دارند و با افزایش مصرف جفت‌کننده در همهٔ سطوح مختلف، مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. کاهش مقاومت به ضربه ممکن است به این دلیل باشد که ذرات پرکننده، سفت و محکم‌اند و موجب تردی و شکنندگی کامپوزیت می‌شوند [۲۱]. زیرا الیاف لیگنوسلولزی سبب خواهد شد که نیروی اعمالی در حین آزمون ضربه به‌جای اینکه از داخل محیطی همگن عبور کند، با مجموعه‌ای از نقاط روبه‌رو شود که تمرکز تنش در آن اتفاق می‌افتد. این نقاط مستعد ترک هستند و سبب افت مقاومت به ضربه خواهند شد. الیاف سلولزی موجب یکنواخت نبودن جذب انرژی توسط مادهٔ زمینه می‌شود و ترک را توسعه می‌دهد و مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد؛ اما همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد، با توجه به معنی‌دار نبودن اثر متقابل عوامل متغیر به لحاظ آماری همهٔ سطوح در یک گروه مشترک قرار دارند. اما نکتهٔ شایان توجه آن است که در مقایسه با مقاومت به ضربه تحقیقات انجام‌گرفته با پلی‌پروپیلن مشخص شد که در کامپوزیت‌های حاوی PLA، مقاومت به ضربه بیشتر و گاه دوبرابر پلیمرهای شیمیایی دیگر است.

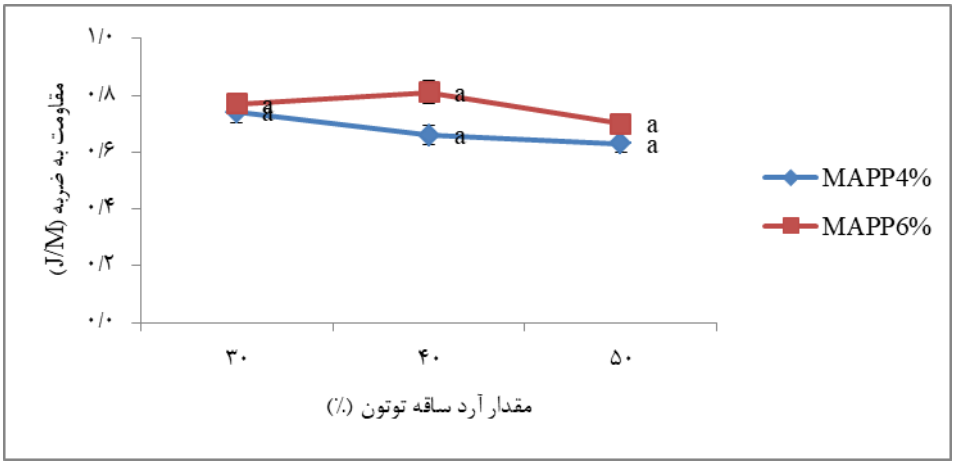
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸. آنالیز واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (SS/DF)	مقدار F	سطح معنی‌داری
A (مقدار آرد توتون)	۲	۰/۰۲۸۶۱۱۱۱	۰/۰۱۴۳۰۵۵۶	۱/۲۳	۰/۳۲^{ns}
C (مقدار جفت‌کننده)	۱	۰/۰۳۳۸۰۰۰۰	۰/۰۳۳۸۰۰۰۰	۲/۹۰	۰/۱۱^{ns}
A×C	۲	۰/۰۱۰۰۳۳۳۳	۰/۰۰۵۰۱۶۶۷	۰/۴۳	۰/۶۵^{ns}
خطای آزمایش	۱۲	۰/۱۳۹۶۶۶۶۷	۰/۰۱۱۶۳۸۸۹		
کل	۱۷	۰/۲۱۲۱۱۱۱۱			

ns: عدم معنی‌داری



شکل ۸. اثر متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه (حروف یکسان روی شکل نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارهاست)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با مصرف ۳۰ درصد آرد توتون و ۷۰ درصد PLA، کمترین واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب حاصل شد. همچنین تیمار ۳۰ درصد آرد توتون و ۷۰ درصد PLAبه‌همراه ۶ درصد جفت‌کننده دارای بیشترین مقاومت کششی و همچنین مقاومت به ضربه بود. بیشترین مقاومت خمشی و همچنین بیشترین مقدار مدول خمشی و کششی کامپوزیت حاصل از کاربرد ۵۰ درصد ساقهٔ توتون و ۵۰ درصد PLA بود. از سوی دیگر بیشترین مقاومت به ضربه در تیمار ۳۰ درصد آرد توتون و ۷۰ درصد PLA به‌همراه ۶ درصد جفت‌کننده حاصل شد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان پلیمر طبیعی و تجدیدشوندهٔ PLA را جایگزین پلیمرهای شیمیایی کرد، زیرا نه‌تنها موجب آسیب خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب-پلاستیک نمی‌شود، بلکه در مواردی در مقایسه با پلیمرهای شیمیایی سبب بهبود دو برابری آنها نیز می‌شود. از سوی دیگر استفاده از این پلیمر به‌دلیل طبیعی بودن و تجدیدشوندگی از نظر زیست‌محیطی محدودیتی ندارد.

References

[1]. Jandas, P.J., Mohanty, S., and Nayak, S.K. (2012). Renewable resource-based biocomposites of various surface treated banana fiber and poly lactic acid: Characterization and biodegradability. Journal of polymers and environment, 20(2): 583-595.

[2]. Goriparthi, B.K., Suman, K.N.S., and Rao, N.M. (2012). Effect of fiber surface treatments on mechanical and abrasive wear performance of polylactide/jute composites. Composites: Part A, 43(10): 1800-1808.

www.SID.ir

Archive of SID

[3]. Shibata, M., Oyamada, S., Kobayashi, S.I., and Yaginuma, D. (2004). Mechanical properties and biodegradability of green composites based on biodegradable polyesters and lyocell fabric. Journal of Applied Polymer Science, 92(6): 3857-3863.

[4]. Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R., and Takeishi, H. (2003). Biocomposites made from short Abaca fiber and biodegradable polyesters. Macromolecular Materials and Engineering, 288(1): 35-43.

[5]. Zini, E., Baiardo, M., Armelao, L., and Scandola, M. (2004). Biodegradable polyesters reinforced with surface-modified vegetable fibers. Macromolecular bioscience, 4(3): 286-295.

[6]. Vink, E.T., Rabago, K.R., Glassner, D.A., and Gruber, P.R. (2003). Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. Polymer Degradation and stability, 80(3): 403-419.

[7]. Yu, T., Ren, J., Li, S. Yuan, H., and Li, Y. (2010). Effect of fiber surface-treatments on the properties of poly lactic acid/ramie composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41(4): 499-505.

[8]. Shukor, F., Hassan, A., Islam, M.S., Mokhtar, M., and Hasan, M. (2014). Effect of ammonium polyphosphate on flame retardancy, thermal stability and mechanical properties of alkali treated kenaf fibre filled PLA biocomposites. Materials and design, 54: 425-429.

[9]. Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P., and Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. Progress in Polymer Science, 37(11): 1552-1596.

[10]. Pettersson, L., Kvien, I., and Oksman, K. (2007). Structure and thermal properties of poly lactic acid/cellulose whiskers nanocomposites materials. Composites science and technology, 67(11-12): 2535-2544.

[11]. Islam, M.S., Pickering, K.L. and Foreman, N.J. (2010). Influence of alkali treatment on the interfacial and physico-mechanical properties of industrial hemp fibre reinforced polylactic acid composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41(5): 596-603.

[12]. Oksman, K., Skrifvars, M., and Selin, J.F. (2003). Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. Composites Science and Technology, 63(9): 1317-1324.

[13]. Yu, T., Ren, J., Li, S. Yuan, H., and Li, Y. (2010). Effect of fiber surface-treatments on the properties of poly (lactic acid)/ramie composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41(4): 499-505.

[14]. Gholizadeh, M., Jamalirad, L., Aminian, H. and Hedjazi, S. (2015). Investigation on mechanical properties of polypropylene composite reinforced with tobacco stalk. Journal of Forest and Wood Products, 68(2): 261-272.

[15]. Olotuah, O.F. (2006). Suitability of some local bast fibre plants in pulp and paper making. Journal of Biological Sciences, 6(3): 635-637.

[16]. Agrupis, S., Maekawa, E., and Suzuki, K. (2000). Industrial utilization of tobacco stalks II: Preparation and characterization of tobacco pulp by steam explosion pulping. Wood Science, (46)3: 222-229.

[17]. Tank, T., Bostanci, S. and Enercan, S. (1985). Tutun saplarinin kagit yapiminda Degerlendirilmesi. Doga Bilim Dergisi, 9(3): 399-407.

[18]. Biazyat, A., Jamalirad, L., Aminian, H., and Hedjazi, S. (2016). The effect of using palm wood flour in the manufacture of polypropylene-based wood-plastic composite. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 31(1): 30-39.

[19]. Shubhra, Q., Alam, A. and Quaiyyum, M.A. (2011). Mechanical properties of polypropylene composites: A review. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 26(3): 362-391.

[20]. Stark, N.M., and Rowlands, R.E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood and Fiber Science, 35(2):167-174.

[21]. Nourbakhsh, A., Baghlani, F.F., and Ashori, A. (2011). Nano-SiO2 filled rice husk/polypropylene composites: Physico-mechanical properties. Industrial Crops and Products, 33(1): 183-187.

www.SID.ir

Archive of SID

The properties of poly lactic acid green composites reinforced by tobacco stalk flour

S. Narouie; M.Sc. Student, Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

L. Jamalirad*; Assist. Prof., Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

H. Aminian; Assist. Prof., Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

S. Hedjazi; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 16 September 2017, Accepted: 13 February 2018)

ABSTRACT

The main objective of this study was to replace the chemical polymers with natural and renewable polymer and subsequently reducing environmental concerns. In addition, the physical and mechanical properties of composites reinforced with tobacco stalk flour, were studied. For this purpose, the tobacco stalks flour and poly lactic acid contains30:70; 40:60, 50:50 and maleic anhydride grafted polypropylene as a coupling agent, in two levels of 4 wt% and 6 wt% were used as variable factors. The results showed that by increasing the amount of the tobacco stalk flour and reducing the content of PLA, the dimensional stability of the boards was decreased but the dimensional stability of boards made with PLA improved significantly compared to the polypropylene composites. In many cases, the mechanical properties of the composite were increased and even doubled than mechanical properties of the composite made with polypropylene. That's mean; the PLA's natural polymer did not damage the physical and mechanical properties of the wood-plastic composites, but also in some cases improves its properties up to 50% compared with chemical polymers. This natural and renewable polymer is environmentally friendly and the composite can be placed in a group of green composites.

Keywords: Biodegradable, Coupling agent, Mechanical properties, Poly lactic acid, Wood-plastic composite.

* Corresponding Author, Email: loyajamalirad@yahoo.com, Tel: +989122594487

www.SID.ir