

## بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکی - مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده از پلیمر گیاهی پلی لاکتیک اسید

میلاد اسدی شهابی<sup>۱</sup>، سعیدرضا فرخ پیام<sup>۲\*</sup>، بابک نصرتی ششکل<sup>۲</sup>، رحیم محبی گرگری<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳. مربی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۴

### چکیده

هدف این تحقیق، ساخت چندسازه چوب پلاستیک سازگار با طبیعت با ماده زمینه‌ای پلاستیک گیاهی زیست تخریب پذیر پلی لاکتیک اسید و تقویت کننده آرد چوب و الیاف خمیر کاغذ است. برای ارزیابی علمی نتایج این پژوهش، خصوصیات نمونه‌های ساخته شده با پلاستیک گیاهی پلی لاکتیک با نمونه‌های ساخته شده با یکی از متداول ترین پلاستیک‌های سنتزی (پلی اتیلن سبک) مقایسه شد. همچنین برای رسیدن به بهترین خصوصیات فرآورده مرکب جدید، از فاکتورهای مهم و مؤثر همانند درصد اختلاط ماده زمینه‌ای - پرکننده در چهار سطح و نیز شکل ماده چوبی در دو سطح آرد چوب و الیاف خمیر کاغذ به عنوان متغیر استفاده شد. نمونه‌های ساخته شده با پلی لاکتیک اسید از طریق پرس تخت و نمونه‌های ساخته شده با پلی اتیلن سبک از طریق پرس تزریقی براساس استاندارد ASTM ساخته شد. در این تحقیق افزون بر آزمون خواص فیزیکی و مکانیکی، خواص مورفولوژیکی فرآورده جدید نیز به کمک پویش الکترونی بررسی شد. برپایه نتایج به دست آمده، خواص مکانیکی همه نمونه‌های ساخته شده با پلیمرهای پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید با افزایش درصد الیاف کاغذ و آرد چوب افزایش یافته و بیشترین مقدار مقاومت‌های مکانیکی مربوط به نمونه‌های حاوی پلیمر پلی اتیلن سبک است. یافته‌های خواص فیزیکی نیز حاکی از آن است که در همه نمونه‌ها با کاهش درصد آرد چوب و الیاف کاغذ، جذب آب و واکنش پذیری ضخامتی نمونه‌ها بهبود یافت. ضمن اینکه نمونه‌های ساخته شده از پلیمر پلی اتیلن سبک نسبت به نمونه‌های حاوی پلیمر پلی لاکتیک اسید خواص فیزیکی بهتری از خود نشان دادند. در نهایت با بررسی کلی نتایج این پژوهش و مقایسه تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها می‌توان بیان داشت که بهترین مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی مربوط به نمونه‌های ساخته شده با پلی اتیلن سبک و آرد چوب است.

واژه‌های کلیدی: پلیمر گیاهی، پلی لاکتیک اسید، چوب-پلاستیک، خواص فیزیکی - مکانیکی.

### مقدمه

حاکم بر این ساختار نیز دگرگون شده است، به طوری که امروزه نیز توجه جدی محققان به استفاده از الیاف طبیعی و همچنین مازاد صنایع چوب بری در ساخت قطعات کامپوزیتی پیشرفته، نشان دهنده اهمیت این موضوع است. الیاف طبیعی در مقایسه با دیگر تقویت کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی، دارای مزیت‌هایی همچون

سرعت تحولات بشری و پیشرفت‌های صنعتی به خصوص در صنایع چوب، به گونه‌ای بوده است که همگام با پیشرفت فناوری و ساختارهای سخت افزاری، دیدگاه‌ها و تفکرات

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۹۷۲۹۷۷۸۷

Email: farrokhpayam@uoz.ac.ir

ذرت و چغندر قند و در پی تخمیر نشاسته و تراکم لاکتیک اسید به دست می‌آید؛ به طوری که استفاده از آن در صنایع مختلفی از جمله ساخت وسایل پزشکی (ایمپلنت و نخ بخیه) نیز امکان‌پذیر است [۷]. محققانی چون هودا و همکاران (۲۰۰۶)، گین و همکاران (۲۰۱۱) و تیسرات و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی‌های خود ضمن اشاره به اثرهای مثبت کاربرد پلیمرهای گیاهی زیست‌تخریب‌پذیر چون پلی‌لاکتیک اسید در ترکیب چندسازه‌های چوب پلاستیک، به قابل مقایسه بودن مقاومت‌های این نوع چندسازه‌ها نسبت به چندسازه‌های متداول ترموپلاستیک نیز تأکید دارند [۸-۱۰]. از این گذشته، بدون شک افزودنی‌ها جزء جدایی‌ناپذیر فرمولاسیون چندسازه چوب پلاستیک هستند که اهمیت زیادی در فرایندپذیری، پایداری حرارتی حین فرایند، صافی سطح قطعه و همچنین خواص مکانیکی و دوام قطعه در حین مصرف دارند. انتخاب افزودنی‌ها باید براساس نوع پلیمر، خواص لازم و قیمت تمام‌شده آن صورت گیرد. عبدالخانی و همکاران (۱۳۹۳)، الماسی و همکاران (۱۳۹۲) و داداشی و همکاران (۱۳۹۱) در نتایج پژوهش‌های خود اظهار داشتند که استفاده از مواد افزودنی نانو در ساختار چندسازه‌های چوب پلاستیک حاصل از پلاستیک پلی‌لاکتیک اسید سبب بهبود خواص می‌شود [۱۱-۱۳].

امروزه افزایش روزافزون بهای فرآورده‌های نفتی به خصوص پلیمرها و نگرانی‌ها در خصوص حفاظت و پیشگیری از آلودگی زیست‌محیطی، صنعتگران را بر آن داشته تا جایگزینی مناسب برای محصولات نفتی (پلیمرها) بیابند. محصولاتی با منشأ طبیعی نظیر پلیمر پلی‌لاکتیک اسید به دلیل خصوصیات نزدیک به محصولات مشابه نفتی خود بیشترین توجه صنعتگران را به خود جلب کرده است. از این رو تحقیق درباره پلیمر گیاهی زیست‌تخریب‌پذیر پلی‌لاکتیک اسید به دلیل مهیا کردن شرایط استفاده از این پلیمرها در صنعت چوب ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، هدف این پژوهش از یک طرف ساخت چندسازه با

چگالی کمتر، مقاومت و مدول ویژه بیشتر، ساینده‌گی نسبی کم و سهولت اصلاح سطح الیاف هستند و در ضمن به طور گسترده‌ای در دسترس‌اند. همچنین این الیاف ارزان‌تر از الیاف مصنوعی هستند و در بسیاری از کاربردهایی که در آنها صرفه‌جویی در هزینه بر خواص مقاومتی محصول ارجح است، می‌توانند جانشین الیاف مصنوعی شوند [۱]. استفاده از الیاف طبیعی چوبی و ترکیب آن با رزین‌های پلیمری، به ساخت محصولاتی با ارزش افزوده نسبتاً خوب منجر می‌شود. در ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک، این رزین‌های پلیمری، نقش اصلی فاز زمینه‌ای و نگهدارنده الیاف لیگنوسولوزی و همچنین انتقال تنش را بر عهده دارند [۲]. کراسچی و لویز (۲۰۰۲) در مطالعاتی درباره تأثیر شکل و اندازه ذرات پرکننده چندسازه چوب پلاستیک عنوان کردند که استفاده از الیاف چوب اثرهای محسوس در خواص چندسازه‌ها دارد [۳]. در طی سالیان اخیر به دلیل افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی و چالش‌های مربوط به گرم شدن زمین، توجه و علاقه به استفاده از زیست‌پلیمرها و جایگزینی زیست‌پلیمرها با پلیمرهای سنتزی افزایش یافته است [۴]. پلیمرهای تخریب‌پذیر و زیست‌سازگار با ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی و گرمایی مناسب توجه ویژه‌ای را برای جایگزینی پلیمرهای نفتی جلب کرده‌اند. پلی‌لاکتیک اسید نیز یکی از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر، با سفتی و مقاومت زیاد و مشتق از منابع تجدیدپذیر است که در ترکیب با الیاف لیگنوسولوزی، چندسازه‌های سبز را تولید می‌کند [۵]. همچنین زیست‌پلیمر پلی‌لاکتیک اسید به دلیل ماهیت گرم‌انرمی، زیست‌تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری، مقاومت مکانیکی و مدول کشسانی زیاد و فراوری آسان، از پتانسیل زیادی برای جایگزینی با پلیمرهای مبتنی بر ترکیبات نفتی برخوردار است [۶]. این پلیمر رایج‌ترین پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر برای مصارف بسته‌بندی نیز به‌شمار می‌رود که افزون‌بر زیست‌تخریب‌پذیری و زیست‌سازگاری، دارای قیمت مناسب و شفافیت خوب است و از منابع صددرصد تجدیدپذیر مانند

گرم بر مول، چگالی 3-g.cm-۲۵/۱، شاخص جریان مذاب 3 g.cm-۱۵-۳۰، پلی اتیلن سبک با چگالی ۱۰۷ تا ۱۲۵ درجه سانتی گراد و شاخص جریان مذاب ۱۰۰-۲۰۰ g /۱۰min /۰/۹۱۲ تا ۰/۹۳۰ و دمای ذوب ۱۰۷ تا ۱۲۵ درجه به عنوان فاز زمینه‌ای استفاده شد.

#### ماده افزودنی

در این پژوهش از پلی اتیلن گلایکول به عنوان ماده افزودنی به مقدار ۱۰ درصد وزن پلیمر پلی لاکتیک اسید در هر تیمار استفاده شد. پلی اتیلن گلایکول به کاررفته در این تحقیق به صورت جامد و با وزن مولکولی PEG 2000 بود که دمای ذوب آن حدود ۶۷ درجه سانتی گراد است.

#### فرایند اختلاط و ساخت چندسازه

آرد چوب و الیاف خمیر کاغذ با رطوبت کمتر از ۳ درصد با پلی لاکتیک اسید و پلی اتیلن با نسبت درصد وزنی مورد نظر مطابق جدول ۱ برای ساخت مواد مرکب چوب-پلاستیک مخلوط شدند.

استفاده از پلیمر گیاهی پلی لاکتیک اسید به عنوان ماتریس و الیاف کاغذ و آرد چوب گونه نراد به عنوان پرکننده و از طرف دیگر تعیین مناسبترین سطح اختلاط الیاف کاغذ و آرد چوب با پلی لاکتیک اسید برای دستیابی به بهترین شرایط خواص فیزیکی و مکانیکی است.

#### مواد و روشها

##### پرکننده

در این پژوهش از آرد چوب با اندازه ۴۰ تا ۶۰ مش و الیاف خمیر کاغذ NSSC مخلوط چوب درختان پهن برگ جنگلی با pH ۷/۵ و میانگین طول الیاف ۱/۲۴۹ میلی متر و میانگین قطر الیاف سلولی ۲۵/۶۷ میکرون و میانگین ضریب لاغری ۴۸/۶۵ میکرون (تهیه شده از شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران) به عنوان تقویت کننده استفاده شد.

##### ماتریس پلیمری

از پلی لاکتیک اسید به صورت گرانول با نقطه ذوب ۱۷۰-۱۵۰ درجه سانتی گراد، وزن مولکولی ۱۹۵۰۰۰ تا ۲۰۵۰۰۰

جدول ۱. درصد اختلاط تیمارهای بررسی شده

| شماره تیمار | ترکیب مواد                 | آرد چوب (%) | الیاف خمیر کاغذ (%) | پلی اتیلن سبک (%) | پلی لاکتیک اسید (%) | روش ساخت |
|-------------|----------------------------|-------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------|
| ۱           | آرد چوب / پلی اتیلن        | ۳۰          | -                   | ۷۰                | -                   | اکستروژن |
| ۲           | آرد چوب / پلی اتیلن        | ۴۰          | -                   | ۶۰                | -                   | اکستروژن |
| ۳           | آرد چوب / پلی اتیلن        | ۵۰          | -                   | ۵۰                | -                   | اکستروژن |
| ۴           | آرد چوب / پلی اتیلن        | ۶۰          | -                   | ۴۰                | -                   | اکستروژن |
| ۵           | الیاف کاغذ / پلی اتیلن     | -           | ۳۰                  | ۷۰                | -                   | اکستروژن |
| ۶           | الیاف کاغذ / پلی اتیلن     | -           | ۴۰                  | ۶۰                | -                   | اکستروژن |
| ۷           | الیاف کاغذ / پلی اتیلن     | -           | ۵۰                  | ۵۰                | -                   | اکستروژن |
| ۸           | الیاف کاغذ / پلی اتیلن     | -           | ۶۰                  | ۴۰                | -                   | اکستروژن |
| ۹           | آرد چوب / پلی لاکتیک اسید  | ۳۰          | -                   | -                 | ۷۰                  | پرس تخت  |
| ۱۰          | آرد چوب / پلی لاکتیک اسید  | ۴۰          | -                   | -                 | ۶۰                  | پرس تخت  |
| ۱۱          | آرد چوب / پلی لاکتیک اسید  | ۵۰          | -                   | -                 | ۵۰                  | پرس تخت  |
| ۱۲          | آرد چوب / پلی لاکتیک اسید  | ۶۰          | -                   | -                 | ۴۰                  | پرس تخت  |
| ۱۳          | الیاف کاغذ/پلی لاکتیک اسید | -           | ۳۰                  | -                 | ۷۰                  | پرس تخت  |
| ۱۴          | الیاف کاغذ/پلی لاکتیک اسید | -           | ۴۰                  | -                 | ۶۰                  | پرس تخت  |
| ۱۵          | الیاف کاغذ/پلی لاکتیک اسید | -           | ۵۰                  | -                 | ۵۰                  | پرس تخت  |
| ۱۶          | الیاف کاغذ/پلی لاکتیک اسید | -           | ۶۰                  | -                 | ۴۰                  | پرس تخت  |

پرس تخت ساخته شد. هر کدام از این نمونه‌های حاصل یک تیمار بودند که از هر کدام از نمونه‌های آزمونی به همراه سه تکرار استخراج شد.

#### اندازه‌گیری خواص مکانیکی و فیزیکی

مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی مطابق با آیین‌نامه ASTM- D790 و مدول الاستیسیته کشش مطابق با آیین‌نامه ASTM- D 638 با سرعت بارگذاری ۲mm/min بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. برای این منظور از دستگاه HOUNS با مدل H 25 KS با ظرفیت سلول ۲۵۰۰۰ نیوتن استفاده شد. همچنین آزمون‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مطابق با آیین‌نامه ASTM- D 7031- 04 انجام گرفت و در نهایت مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با استفاده از روابط ریاضی محاسبه شد.

#### ریخت‌شناسی چندسازه ساخته‌شده و تهیه تصاویر SEM

برای بررسی فصل مشترک چوب و پلیمر، توسط میکروسکوپ الکترونی پوششی، عکس‌های میکروسکوپی تهیه شد. بدین منظور از سطح شکست نمونه‌های کشش مقطع‌گیری شد و پس از تثبیت روی گوی‌های فلزی کوچک و پوشش‌دهی توسط لایه نازکی از طلا، از طریق برخورد الکترون‌ها به سطح نمونه تصاویر با استفاده از دستگاه EM3200، شرکت KYKY چین با ولتاژ ۲۵ کیلوولت و محدوده بزرگنمایی صفر تا ۷۵۰۰۰ برابر تهیه شد.

#### پردازش آماری داده‌ها

با توجه به عوامل متغیر و سطوح آنها، در کل ۱۶ تیمار در نظر گرفته شد که از هر تیمار ۳ تکرار و در مجموع ۴۸ نمونه ساخته شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل (فاکتوریل) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای انتخاب بهترین ترکیب شرایط استفاده شد.

فرایند اختلاط مواد با دستگاه مخلوط‌کن داخلی کلون آلمان (اکسترودر دو ماردونه ناهمسوگرد) انجام گرفت. شایان ذکر است که دمای متوسط اکسترودر ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت دورانی مارپیچ دستگاه اکسترودر ۶۰ دور در دقیقه، طول ماردون ۸۰ سانتی‌متر، قطر آن ۵ سانتی‌متر و سرعت خروج مواد از دستگاه ۲ m/min است. چندسازه بی‌شکل خروجی از فرایند اختلاط مواد با دستگاه مخلوط‌کن داخلی، پس از سرد شدن با استفاده از آسیاب نیمه‌صنعتی به صورت گرانول تبدیل شد. به منظور حذف رطوبت از گرانول‌ها و آماده‌سازی آنها برای عملیات تزریق، گرانول‌ها به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

برای ساخت چندسازه چوب پلاستیک با ماده زمینه‌ای پلیمر پلی‌اتیلن از روش پرس تزریقی استفاده شد. بدین منظور نمونه‌های آزمون مکانیکی و فیزیکی، به روش قالب‌گیری تزریقی به وسیله دستگاه تزریقی نیمه‌صنعتی (دمای سیلندر تزریق در هر سه ناحیه ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، دمای قالب ۲۳ درجه سانتی‌گراد، فشار تزریق ۹۰ بار و دوره تزریق کمتر از ۲۰ ثانیه) تهیه شد.

برای ساخت چندسازه چوب پلاستیک با ماده زمینه‌ای پلیمر پلی‌لاکتیک اسید از روش پرس گرم هیدرولیکی (دمای پرس ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پرس ۲۵ دقیقه، فشار پرس ۵۰ بار، زمان بسته شدن دهانه پرس ۱۵ دقیقه) استفاده شد. البته شایان ذکر است که برای ساخت چندسازه با ماده زمینه‌ای پلی‌لاکتیک، از پلی‌اتیلن گلاکول به عنوان مواد افزودنی به مقدار ۱۰ درصد وزن پلی‌لاکتیک اسید در هر تیمار به مواد اکسترودر شده که به صورت گرانول درآمده بودند اضافه و توسط مخلوط‌کن آزمایشگاهی کاملاً مخلوط شد. سپس مواد حاصل در درون شابلن‌های مستطیلی با ابعاد ۸×۱۶×۱۸۰ میلی‌متر قالب‌گیری و پرس شد. چگالی نهایی نمونه‌های حاصل ۱ سانتی‌متر مکعب بود و ۸ نمونه چوب-پلاستیک توسط

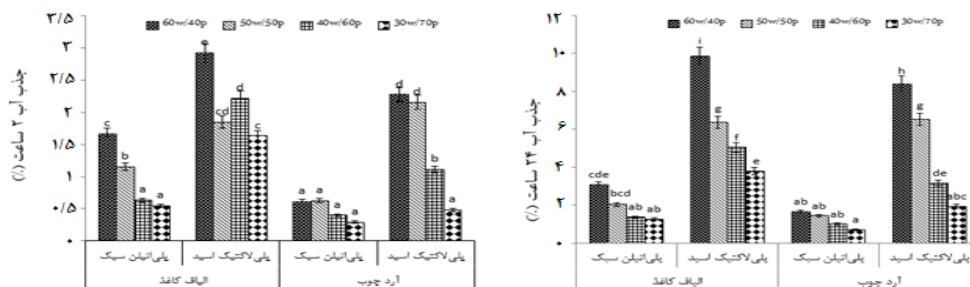
## نتایج و بحث

## جذب آب و واکنش پذیری ضخامت

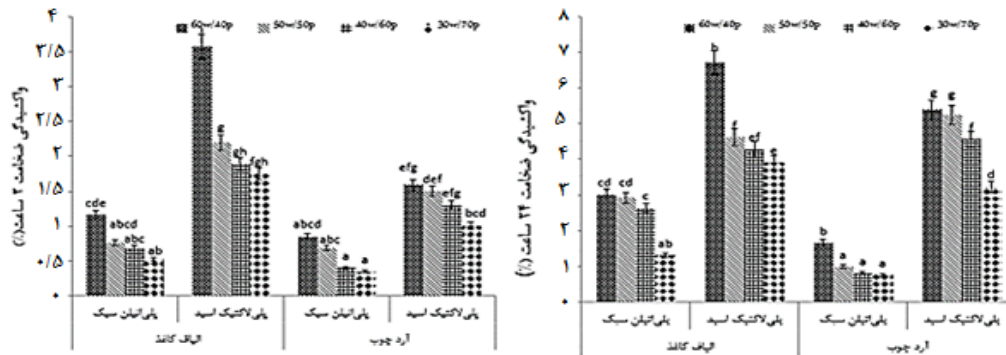
با توجه به کاربردهای چندسازه چوب پلاستیک که در معرض عوامل جوی و محیط‌های مرطوب قرار می‌گیرند، بررسی خواص فیزیکی این مواد ضروری به نظر می‌رسد. این فاکتور می‌تواند عاملی محدودکننده در کاربردهای نهایی چندسازه چوب پلاستیک باشد. نتایج بررسی جذب آب و واکنش پذیری ضخامت نمونه‌های چوب پلاستیک ساخته شده بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (شکل‌های ۱ و ۲)، نشان داد استفاده از پلیمر پلی اتیلن سبک و پرکننده آرد چوب در سطح درصد اختلاط ۳۰ درصد پرکننده و ۷۰ درصد پلیمر دارای کمترین جذب آب و واکنش پذیری ضخامت بود و بیشترین مقدار جذب آب و واکنش پذیری ضخامت مربوط به نمونه‌های ساخته شده با پلیمرهای پلی لاکتیک اسید و پرکننده الیاف کاغذ در سطح درصد اختلاط ۶۰ درصد پرکننده و ۴۰ درصد پلیمر بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری بود.

بنابر نتایج حاصل، نقش مهم پرکننده و درصد به کاررفته در ترکیب چندسازه در خواص فیزیکی مشاهده می‌شود، به طوری که یکی از مهم‌ترین دلایل زیاد بودن جذب آب و واکنش پذیری ضخامت الیاف خمیر کاغذ نسبت به آرد چوب، ضریب لاغری بیشتر الیاف خمیر کاغذ نسبت به آرد چوب است و الیاف خمیر کاغذ دارای گروه‌های هیدروکسیل آزاد بیشتری نسبت به آرد چوب هستند [۱۴]. ایچازو و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی نتایج حاصل از خواص چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده توسط پلی پروپیلن و الیاف صنوبر با

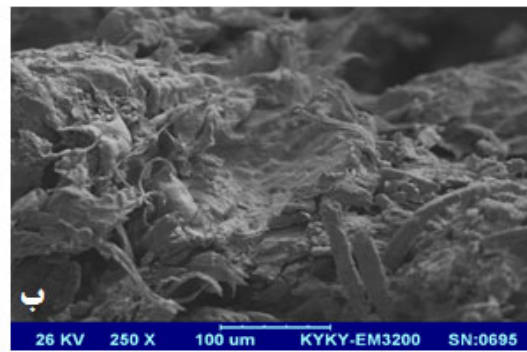
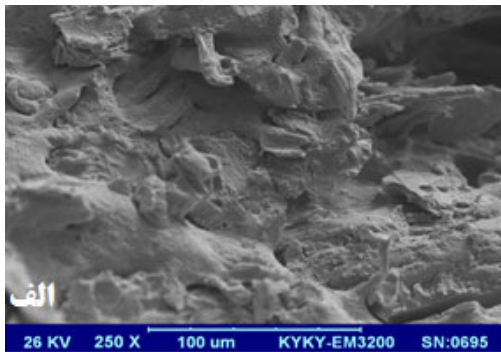
درصدهای متفاوت الیاف (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ درصد) ابراز داشتند که با افزایش درصد الیاف، واکنش پذیری ضخامت و جذب آب افزایش می‌یابد. همچنین وجود گروه‌های هیدروکسیل آزاد در زنجیرهای سلولزی سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدیدی با مولکول‌های آب می‌شود که این عمل نیز خود سبب افزایش جذب آب و واکنش پذیری ضخامت می‌شود [۱۵]. کُرد و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی نتایج حاصل از اثر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده لیگنوسلولزی بر ویژگی‌های فیزیکی چندسازه چوب پلاستیک اظهار داشتند که جذب آب در چندسازه ساخته شده از الیاف کتان به علت دارا بودن گروه‌های هیدروکسیل آزاد زیاد در مقایسه با آرد چوب بیشتر است [۱۶] که با نتایج تحقیق نوربخش (۲۰۰۴) و نعیمیان (۲۰۰۷) مطابقت دارد [۱۷، ۱۸]. با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل‌های ۳ و ۴) نیز می‌توان مشاهده کرد که نبود سازگارکننده در نمونه‌های چوب پلاستیک سبب شده است که اتصال میان پلیمر و پرکننده به خوبی رخ ندهد. از طرف دیگر میزان گروه‌های هیدروکسیل در دسترس، خلل و فرج، بیرون زدگی و پرزهای سطحی در نمونه‌های ساخته شده با پلیمرهای پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید با پرکننده الیاف کاغذ نسبت به پرکننده آرد چوب بیشتر است، چراکه پلیمرهای پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید پرکننده آرد چوب را بهتر از الیاف خمیر کاغذ احاطه کرده‌اند و همین امر عامل افزایش جذب آب و واکنش پذیری ضخامت در نمونه‌های حاوی الیاف خمیر کاغذ است [۱۹].



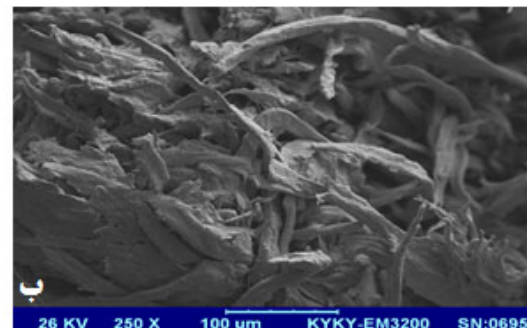
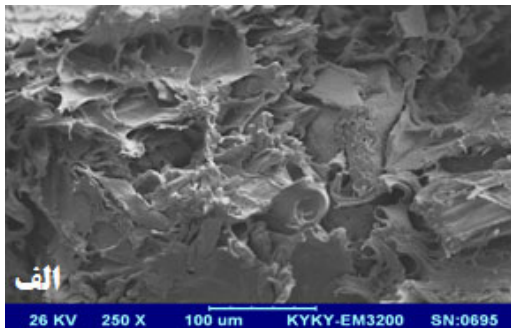
شکل ۱. اثر متقابل درصد اختلاط، نوع پلیمر و نوع پرکننده بر جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب



شکل ۲. اثر متقابل درصد اختلاط، نوع پلیمر و نوع پرکننده بر واكشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی الف) چوب پلاستیک حاوی ۵۰ درصد پلی اتیلن سبک و ۵۰ درصد آرد چوب ب) چوب پلاستیک حاوی ۵۰ درصد پلی اتیلن سبک و ۵۰ درصد ایاف خمیر کاغذ

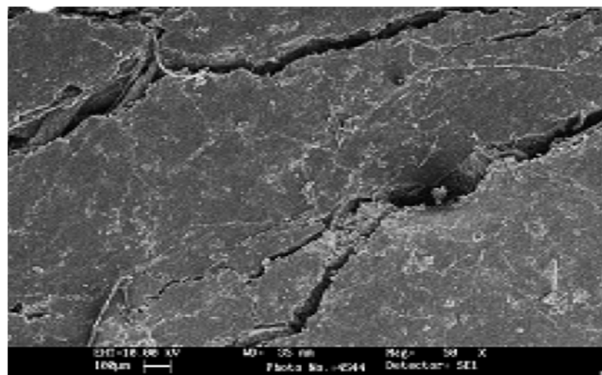


شکل ۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی الف) چوب پلاستیک حاوی ۵۰ درصد پلی لاکتیک اسید و ۵۰ درصد آرد چوب ب) چوب پلاستیک حاوی ۵۰ درصد پلی لاکتیک اسید و ۵۰ درصد ایاف خمیر کاغذ

دارای ماهیتی ترد و شکننده است و نسبت به بخار آب مقاومت چندانی از خود نشان نمی‌دهد. به همین دلیل به نظر می‌رسد که نسبت به دیگر پلیمرهای تهیه‌شده از مواد نفتی دارای جذب آب و واكشیدگی ضخامت بیشتری است. تصویر SEM تهیه‌شده از سطح چندسازه ساخته‌شده

همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که کمترین جذب آب و واكشیدگی ضخامت مربوط به پلیمر پلی اتیلن سبک و بیشترین جذب مربوط به پلیمر پلی لاکتیک اسید است. پلیمر پلی لاکتیک اسید، نوعی پلیمر طبیعی است و از نشاسته ذرت برای ساخت آن استفاده می‌شود. این پلیمر

پی داشته است (شکل ۵). جذب آب به درون چندسازه براساس شکاف بسیار ریز بین زنجیره پلیمر، شکاف و ترک در سطح مشترک بین پرکننده و ماتریس به علت عدم ترشوندگی و اشباع پذیری کامل به وجود خواهد آمد [۲۰].



شکل ۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشی تهیه شده از سطح چوب پلاستیک پلی لاکتیک اسید غوطه ور در آب به مدت ۲۴ ساعت

مقاومت خمشی دارد، به طوری که پرکننده های لیفی به عنوان فاز تقویت کننده در زمینه پلیمر قرار می گیرند و فاز زمینه ای تنش وارد شده را به پرکننده های لیفی منتقل می کند [۲۱]. کراسچی و لویز (۲۰۰۲) در تحقیقی اعلام کردند که پرکننده ها به سادگی اجازه تغییر شکل به فرآورده ساخته شده در اثر تنش های وارد آمده را نمی دهند و با افزایش درصد پرکننده، مقدار مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی افزایش می یابد. از طرف دیگر در بین پرکننده های آرد چوب و الیاف کاغذ بهترین مقاومتها مربوط به الیاف کاغذ است. یکی از مهم ترین دلایلی که می توان در این زمینه به آن اشاره کرد، طول الیاف و ضریب لاغری بیشتر الیاف کاغذ نسبت به آرد چوب است [۳]. نوربخش (۱۳۸۳) و استارک و رولند، (۲۰۰۳) در نتایج تحقیقات خود بیان کردند که چندسازه های ساخته شده از الیاف مقاومت بیشتری نسبت به آرد چوب داشته اند، زیرا الیاف به دلیل داشتن ضریب ظاهری بیشتر و طول بلندتر در مقایسه با آرد چوب سبب افزایش انتقال تنش به ماتریس پلیمری می شوند و تمرکز تنش را کاهش می دهند [۱۷، ۲۲].

همچنین مقاومت مکانیکی چوب پلاستیک به شدت به

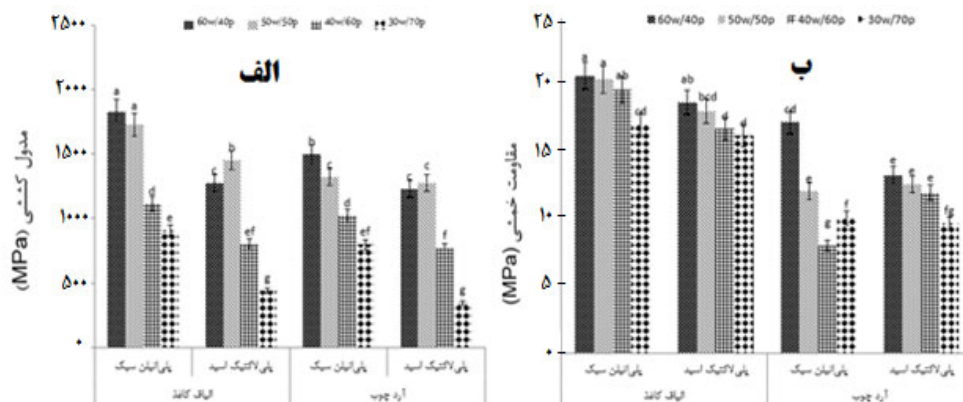
از پلی لاکتیک اسید به وضوح نشان می دهد که غوطه وری نمونه ها در آب سبب ایجاد ترک و شکاف بسیار عمیق در چندسازه چوب- پلاستیک شده است و همین موضوع، جذب آب و واکنش پذیری ضخامت بیشتر این پلیمر را در

#### مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی

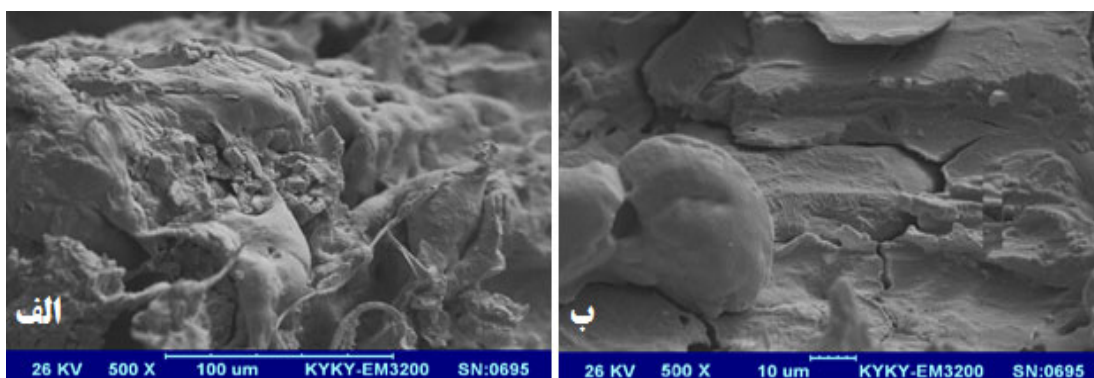
بین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته رابطه مستقیمی وجود دارد؛ یعنی با افزایش مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته نیز افزایش می یابد. مدول الاستیسیته رابطه میزان تغییر شکل در حد الاستیک است، هرچه مدول الاستیسیته بیشتر باشد، خاصیت خم پذیری نمونه ها کمتر و فرآورده دارای استحکام بیشتری است. نتایج بررسی نمودارهای مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته (شکل ۶) نشان داد که استفاده از پلیمر پلی اتیلن سبک و پرکننده الیاف کاغذ در سطح درصد اختلاط ۶۰ درصد پرکننده و ۴۰ درصد پلیمر دارای بیشترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته و استفاده از پلیمر پلی لاکتیک اسید و پرکننده آرد چوب و درصد اختلاط در سطح ۳۰ درصد پرکننده و ۷۰ درصد پلیمر دارای کمترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته است. به عبارت دیگر نمونه های حاوی الیاف کاغذ و پلی اتیلن سبک تأثیر گذاری بهتری در خواص مکانیکی چندسازه نسبت به نمونه های حاوی آرد چوب و پلی لاکتیک اسید از خود نشان دادند. برپایه نتایج به دست آمده، پرکننده تأثیر مهمی در مدول الاستیسیته و

(۱۳۷۹) نشان داد که استفاده از مقادیر بیشتر تقویت‌کننده سبب بهبود خواص مکانیکی می‌شود [۱۴، ۱۶، ۲۱]. از مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل‌های ۷ و ۸) می‌توان مشاهده کرد که نمونه‌های حاصل از پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید با پرکننده الیاف کاغذ نسبت به نمونه‌های ساخته شده از پرکننده آرد چوب به دلیل پوشش‌دهی بهتر پلیمرها، خلل و فرج کمتر و مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته بیشتری دارند. همچنین پرکننده الیاف کاغذ نسبت به آرد چوب دارای الیاف بلندتر و ضریب لاغری بیشتر نسبت به آرد چوب است که علت افزایش خواص مکانیکی نمونه‌های ساخته شده از الیاف کاغذ است.

کیفیت سطح مشترک بین دو فاز چندسازه وابسته است، از این رو انتقال تنش از ماده زمینه پلیمری به فاز تقویت‌کننده به وسیله این ناحیه صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه نقش فاز ماتریس نگهداری ماده پرکننده و انتقال نیرو به فاز ثانویه و نقش فاز ثانویه تقویت ماتریس است، با افزایش درصد ماده تقویت‌کننده، تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز تقویت‌کننده افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار ماده تقویت‌کننده، مدول کششی و خمشی چندسازه افزایش می‌یابد. نتایج بررسی اثر مقدار و نوع ماده تقویت‌کننده لیگنوسولولزی بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک توسط نوربخش و کارگرفرد (۱۳۹۰)، کرد و همکاران (۲۰۱۰) و ابراهیمی و صفارزاده

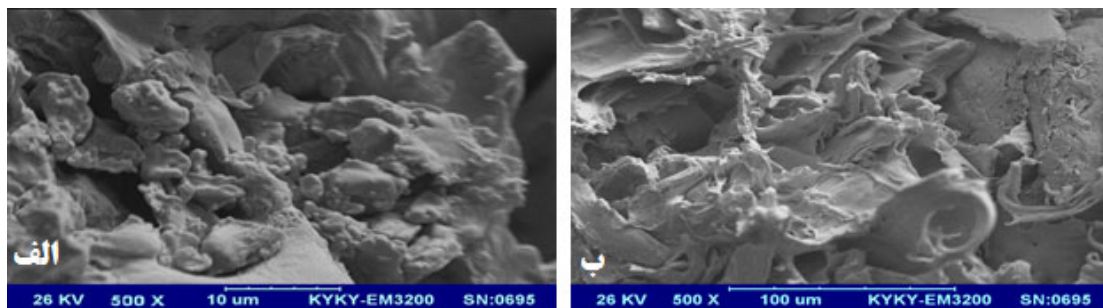


شکل ۶. اثر متقابل درصد اختلاط، نوع پرکننده و نوع پلیمر بر الف) مدول الاستیسیته؛ ب) مقاومت خمشی.



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی الف) چوب پلاستیک ۵۰ درصد پلی اتیلن سبک و ۵۰ درصد آرد چوب ب) چوب پلاستیک ۵۰ درصد پلی اتیلن سبک و ۵۰ درصد الیاف کاغذ





شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی (الف) چوب پلاستیک حاوی ۵۰ درصد پلی لاکتیک اسید و ۵۰ درصد آرد چوب (ب) چوب پلاستیک حاوی ۵۰ درصد پلی لاکتیک اسید و ۵۰ درصد الیاف کاغذ

### نتیجه گیری

در این پژوهش از دو نوع ماده پلیمری به عنوان ماده زمینه‌ای (پلی لاکتیک اسید و پلی اتیلن سبک) و دو نوع پرکننده به عنوان تقویت کننده (آرد چوب و الیاف خمیر کاغذ) در چهار سطح درصد اختلاط (۳۰ - ۴۰ - ۵۰ - ۶۰ درصد) استفاده شد. براساس نتایج مقایسه بین پلیمر پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید، پلیمر پلی اتیلن سبک دارای خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بهتری نسبت به پلیمر پلی لاکتیک اسید بود. همچنین در مقایسه بین نوع پرکننده، آرد چوب دارای بهترین خواص فیزیکی و الیاف کاغذ دارای بهترین خواص مکانیکی بود. به طوری که کمترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به نمونه‌های ساخته شده با پلیمرهای پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید با پرکننده آرد چوب در سطح اختلاط ۳۰ درصد پرکننده و ۷۰ درصد پلیمر به ترتیب با مقادیر ۰/۲۹۴، ۰/۴۸۴، ۰/۶۸۵ و ۱/۹۳۶ درصد برای جذب آب و ۰/۳۴۸، ۱/۰۰۹، ۰/۷۶۴ و ۳/۲۳۶ درصد برای واکنشیدگی ضخامتی نمونه‌ها و. از این رو در زمینه درصد اختلاط نیز با افزایش مقدار پرکننده (الیاف کاغذ و آرد چوب) تا ۶۰ درصد خواص فیزیکی

چندسازه چوب پلاستیک کاهش یافت. این درحالی است که با افزایش مقدار پرکننده در بیشتر موارد خواص مکانیکی بهبود یافت، به نحوی که بیشترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه‌های ساخته شده با پلیمرهای پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید با پرکننده الیاف کاغذ در سطح اختلاط ۶۰ درصد پرکننده و ۴۰ درصد پلیمر بوده که به ترتیب برابر با ۲۰/۷۲۸ و ۱۸/۷۴۳ مگاپاسکال بود، ولی بیشترین مدول الاستیسیته مربوط به نمونه‌های ساخته شده با پلیمرهای پلی اتیلن سبک و پلی لاکتیک اسید با پرکننده الیاف کاغذ به ترتیب در سطح اختلاط ۶۰ درصد پرکننده و ۴۰ درصد پلیمر پلی اتیلن سبک برابر با ۱۸۲/۶۶۷ و در سطح اختلاط ۵۰ درصد پرکننده و ۵۰ درصد پلیمر پلی لاکتیک اسید برابر با ۱۴۵۲/۱۲ مگاپاسکال بود.

### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل (شماره گرنت: UOZ-GR-9517-46) انجام گرفت. نویسندگان مراتب قدردانی خود را از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل اعلام می‌دارند.

### References

- [1]. Jesuarockiam, N., Jawaid, M., Zainudin, E., Sultan, M., and Yahaya, R. (2019). Enhanced thermal and dynamic mechanical properties of synthetic/natural hybrid composites with graphene nanoplatelets. *Journal of Polymers*, 11(2): 1085-1103.
- [2]. Lopez, Y. M., Paes, J. B., Rodriguez, E. M., Gustavo, D., and Gonçalves, F. G. (2018). Wood particleboards reinforced with thermoplastics to improve thickness swelling and mechanical properties. *Cerne*, 24(4): 369-378.
- [3]. Caraschi, J., and Leo, A. (2002). Wood flour as reinforcement of polypropylene. *Journal of Material Research*, 5(4): 405-409.

- [4]. Sinha, S., Yamada, K., Okamoto, M., Fujimoto, Y., Ogami, A., and Ueda, K. (2003). New polylactide. Layered silicate nanocomposites: designing of materials with desired properties. *Polymer*, 44(3): 6633–6646.
- [5]. Allahdady, M., Hedjazi, S., Jonoobi, M., Abdulkhani, A., and Jamalirad, L. (2017). Biodegradation behaviors and color change of composite's based on type of bagasse pulp/polylactic acid. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(1): 1-13.
- [6]. Drumright, R. E., Gruber, P. R., and Henton, D. E. (2000). Polylactic acid technology. *Advanced Materials*, 12(23), 1841-1846.
- [7]. Rezaeigolestani, M., Khanjari, A., Misaghi, A., Akhondzadeh, Basti, A., Abdulkhani, A., and Fayazfar, S. (2018). Development of biodegradable antibacterial Polly-lactic acid based packaging films with bioactive compounds. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(2): 153-162.
- [8]. Huda, M.S., Drzal, L.T., Misra, M., and Mohanty, A.K. (2006). Wood-fiber-reinforced poly (Lactic acid) composites: evaluation of the physicomechanical and morphological properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(7): 4856–4869.
- [9]. Qin, L. (2011). Mechanical and thermal properties of poly (lactic acid) composites with rice straw fiber modified by poly (butyl acrylate). *Chemical Engineering Journal*, 166(2): 772–778.
- [10]. Tisserat, B., Joshee, N., Mahapatra, A.K., Selling, G.W., and Finkenstadt, V.L. (2013). Physical and mechanical properties of extruded poly (lactic acid)-based paulownia elongate bio-composites. *Industrial Crops and Products*, 44(3): 88– 96.
- [11]. Abdolkhani, A., Hoseinzadeh, J., and Hedjazi, S. (2014). Characterization of cellulose reinforced polylactic acid solution cast nanocomposite. *Journal of Forest and Wood Products*, 67(2): 271-282.
- [12]. Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., and Dehghannia, J. (2014). Properties of poly (lactic acid) nanocomposite film containing modified cellulose nanofibers. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 26(6): 485-497.
- [13]. Dadashi, S., Mousavi, S.M., Emam D-Jomeh, Z., and Oromiehie, A. (2012). Films based on poly (lactic acid) biopolymer: effect of clay and cellulosic nanoparticles on their physical, mechanical and structural properties. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 25(2): 127-136.
- [14]. Kargarfard, A. (2011). The effect of wood particles type and coupling agent content on properties of composites from recycled polypropylene and eucalyptus wood. *Journal of Forest and Wood Products*, 64(1): 55-64.
- [15]. Ichazo, M.N., Albano, C., Gonzalez, J., Perera, R., and Candal, M.V. (2001). Polypropylene/ wood flour composites: treatments and properties. *Composites Structure*, 54(2-3): 207-214.
- [16]. Kord, B., Ismaeilimoghadam, S., and Malekian, B. (2010). Effect of immersion temperature on the water uptake of polypropylene/wood flour/ organoclay hybrid nonocomposite. *BioResources*, 6(1):584-593.
- [17]. Bouafif, H., Koubaa, A., Perre, P., and Cloutier, A. (2009). Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(12):1975-1981.
- [18]. Ghasemi, E., Azizi, H., and Naeimian, N. (2009). Investigation of the dynamic mechanical behavior of polypropylene/ (wood flour)/ (kenaf fiber) hybrid composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 15(2):113 – 119.
- [19]. Rajak, D. K., Pagar, D., Pagar, L., and Linul, E. (2019). Fiber-reinforced polymer composites: manufacturing, properties, and applications. *Journal of Polymer*, 11(4): 1667-1702.
- [20]. Saffarzadeh, S., and Ebrahimi, G.H. (2000). A study of cellulosic fibers/high density polyethylene composites and their mechanical properties. *Iranian Journal of Natural Resources*, 53(3): 217-226.
- [21]. 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.
- [22]. Kord, B., Pourabbasi, S., and Kiaeifar, A. (2010). Effect of amount and type of reinforcing cellulose material on the physical-mechanical properties of wood plastic composite. *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*, 5(3): 57-68.

## The morphological and physico-mechanical properties of wood plastic composite made of polylactic acid polymer

**M. Asadi Shahabi**; M.Sc Graduate Student Graduated student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

**S.R. Farrokhpayam\***; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

**B. Nosrati Sheshkal**; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

**R. Mohebbi Gargari**; Lecturer, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, I.R. Iran

(Received: 06 November 2019, Accepted: 15 December 2019)

### ABSTRACT

This study aims to fabricate an eco-friendly wood plastic composite with poly (lactic acid) biodegradable matrix reinforced by wood flour and pulp fibers. Polylactic acid (PLA) samples were compared to the samples made from one of the most commonly used synthetic plastics, i.e. low density polyethylene to evaluate the results of this study. Besides, in order to achieve the best characteristics of the new composite, some effective factors such as the mixing percentage of the filler and matrix in four levels and the shape of the wood material in two levels of wood flour and pulp fibers were used as variables. Samples made of PLA and low density polyethylene were fabricated by flat press and by injection molding, respectively, according to ASTM standard. In this work, in addition to test the physical and mechanical properties, the morphological properties of the new product were studied by electron scanning microscopy. According to the results, the mechanical properties of all samples made of low density polyethylene and poly lactic acid increased with increasing content of paper fibers and wood flour and the highest mechanical strength was observed for samples containing low density polyethylene. The results of physical properties also showed that in all specimens, with a decrease in the content of wood flour and paper fibers, water absorption and thickness swelling were improved. In addition, samples made of low density polyethylene showed better physical properties than samples containing PLA polymer. Finally, by reviewing the results of this study and comparing the microscopic images of the samples, it can be concluded that the best mechanical and physical resistance are related to specimens made with low density polyethylene and wood flour.

**Keywords:** Natural Polymer, Poly lactic Acid, Wood-Plastic, Physico-Mechanical Properties.

---

\* Corresponding Author, Email: farrokhpayam@uoz.ac.ir, Tel: +989397297787