

ارزیابی زیست‌تخریب‌پذیری چندسازه ساخته‌شده از پلی‌لاکتیک‌اسید و آرد بامبو

چکیده

این مطالعه به ارزیابی زیست‌تخریب‌پذیر بودن چندسازه‌ی ساخته‌شده از آرد ساقه‌ی گیاه بامبو و پلی‌لاکتیک‌اسید با استفاده از آزمون ویژگی‌های فیزیکی و دوام زیستی می‌پردازد. از سوی دیگر، تأثیر مقدار و اندازه‌ی ذرات آرد ساقه‌ی گیاه بامبو بر ویژگی‌های فیزیکی و دوام زیستی چندسازه‌ی ساخته‌شده، از دیگر اهداف تحقیق حاضر بود. از این رو، ابتدا ذرات آرد ساقه‌ی گیاه بامبو و پلی‌لاکتیک‌اسید در دستگاه اکسترودر دوماردون ناهمسوگرد باهم مخلوط و سپس به روش قالب‌گیری فشاری تخته‌های حاصله ساخته شدند. آنگاه نمونه‌های ساخته‌شده بر اساس شرایط تدوین‌شده در استانداردهای ASTM و EN-113 مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج مشخص نمود که با افزایش مقدار و اندازه ذرات آرد بامبو واکنش‌پذیری ضخامت و جذب آب چندسازه به شکل معناداری افزایش می‌یابد. همچنین آزمون دوام زیستی چندسازه در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی نشان داد که با افزایش مقدار آرد بامبو میزان تخریب چندسازه به‌ویژه در برابر قارچ عامل پوسیدگی قهوه‌ای به‌شدت افزایش یافت. این در حالی بود که پلی‌لاکتیک‌اسید خالص در برابر قارچ‌ها دوام بسیار بالایی داشت.

واژگان کلیدی: پلی‌لاکتیک‌اسید؛ زیست‌تخریب‌پذیر؛ آرد بامبو؛ خواص فیزیکی؛ دوام زیستی.

معین دهقان^۱

محمد مهدی فائزی پور^۲

مجید عزیزی^{۳*}

احسان باری^۴

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

^۲ استاد گروه 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 مربی گروه علوم و مهندسی چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای ایران، دانشکده‌ی فنی شماره ۲ ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:

mazizi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

مقدمه

در سال‌های اخیر تولید فرآورده‌های جدید از محصولات کشاورزی و ضایعات حاصل از آن‌ها افزایش چشم‌گیری داشته است [۱]. ضرورت توسعه‌ی فناوری‌های نوین در ساخت چندسازه‌ها در کنار حفظ سلامت محیط‌زیست، دانشمندان را به فکر استفاده از منابع تجزیه‌پذیر مانند الیاف طبیعی گیاهان و پلیمرهای زیستی مشتق شده از منابع گیاهی در ساخت چندسازه‌های زیستی فروبرده است. از مزیت‌های این قبیل چندسازه‌ها در کنار خواص مکانیکی مطلوب، قابلیت دسترسی آسان و

قیمت مناسب، قابلیت جایگزینی و کاهش استفاده از منابع نفتی و سوخت‌های فسیلی است [۲]. چندسازه‌های زیستی به علت تخریب کامل آن‌ها در خاک و عدم انتشار ترکیبات سمی، در سالیان اخیر در بسیاری از تحقیقات مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳، ۴، ۵]. سازگاری با محیط‌زیست در کنار دیگر مزیت‌های پلیمرهای زیستی می‌تواند دلایل مهمی برای جایگزینی آن‌ها با پلیمرهای رایج در صنعت مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن و پلی‌اتیلن باشد [۶]. در بین پلیمرهای زیستی از پلی‌لاکتیک‌اسید می‌توان به‌عنوان یکی از بهترین پلیمرهای مشتق شده از منابع تجدیدپذیر در ساخت چندسازه‌های زیست‌تخریب‌پذیر اشاره نمود

ساخته شده از آرد بامبو و پلی لاکتیک اسید عنوان نمودند که با افزایش میزان آرد بامبو تا ۷/۵٪ مقاومت های مکانیکی بهبود و با افزایش بیش از این مقدار تا ۱۰٪ این خواص دچار شیب نزولی شده و کاهش می یابند [۱۸]. در گزارشی دیگر که بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه کنف - پلی لاکتیک اسید توسط Arao و همکاران (۲۰۱۵) ثبت شد، مشخص گردید که الیاف لیگنوسلولزی موجب افزایش مقاومت به ضربه، مدول یانگ و همچنین جذب آب محصول می گردد. آن ها همچنین در بررسی عکس های میکروسکوپ الکترونی عنوان نمودند که فصل مشترک بین الیاف و پلیمر بر اثر استفاده از مالئیک انیدرید به عنوان یک عامل سازگار کننده به دلیل تر پذیری سطح الیاف، موجب بهبود خواص چندسازه شده است [۱۹]. Oksman و همکاران (۱۹۹۸) نیز ویژگی های چندسازه حاصل از پلیمرهای مختلف و الیاف سلولزی را مورد ارزیابی قرار دادند و به منظور بهبود اتصال بین دو ماده از سازگار کننده مالئیک انیدرید استفاده کرده و عنوان نمودند که این سازگار کننده در بهبود اتصال بین دو جزء تشکیل دهنده چندسازه اثر معناداری داشته است [۲۰]. در کنار سایر آزمون های مکانیکی و فیزیکی، آزمون دوام زیستی شاخصی مهم برای تعیین چگونگی زیست تخریب پذیر بودن محصولات چندسازه است. یکی از اهداف مهم و حیاتی تولید این نوع فراورده ها علاوه بر کاهش فشار بر استفاده از چوب ماسیو برای ساخت و ساز، جلوگیری از تخریبات میکروبی و قارچی بود. هنگامی که این محصول وارد بازار شد، همگان بر این تصور بودند که این محصول دچار تخریب قارچی و به نوعی بیولوژیکی نخواهد شد ولی بعدها و پس از گذشت مدتی از ساخت این چندسازه ها، مشخص شد که قارچ های چوب زی و حتی چوب خوار و می توانند روی سطح و عمق آن نفوذ کنند و آن را دچار تخریب کنند [۲۱]. در زمینه تأثیر مواد لیگنوسلولزی بر دوام زیستی چندسازه ها تاکنون مطالعات اندکی صورت پذیرفته است. Fabiy و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه ای که در زمینه دوام زیستی چندسازه پلی اتیلن سنگین و آرد پنج گونه مختلف چوبی انجام دادند بیان نمودند که بیشترین میزان تخریب و کاهش وزن، مربوط به چندسازه ساخته شده با آرد چوب صنوبر و توسط قارچ

[۷]. پلی لاکتیک اسید پلیمری خطی است که از منابع ۱۰۰٪ تجدیدپذیر به دست می آید. تولید پلی لاکتیک اسید از راه استخراج نشاسته از گیاهانی مانند ذرت، سیب زمینی، برنج، گندم و چغندر قند آغاز می شود [۸]. پلی لاکتیک اسید به دلیل ویژگی های مکانیکی مطلوب تر نسبت به سایر پلیمرهای زیستی مانند پلی هیدروکسی بوتیرات یکی از شناخته ترین پلیمرهای زیستی است [۹]. پلی لاکتیک اسید با وجود داشتن مقاومت های مکانیکی مطلوب، پلیمری بسیار شکننده و ترد است و تقویت آن با الیاف طبیعی، به عنوان یکی از روش های مطرح برای افزایش خواص مکانیکی آن عنوان شده است [۱۰]. الیاف طبیعی که از گیاهانی مانند بامبو، کنف، کتان و سیسال به دست می آیند امروزه خود را به عنوان یک توان بالقوه در ساخت چندسازه های زیستی مطرح نموده اند. این الیاف نسبت به الیاف مصنوعی مانند کربن و شیشه ارزان تر بوده و واجد شرایطی مانند زیست تخریب پذیری، دانسیته پایین و ویژگی های مکانیکی مطلوب برای ساخت چندسازه می باشد [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴]. گیاه بامبو یکی از مهم ترین منابع تجدید شوند گیاهی است که ساقه و پسماندهای آن می تواند تأمین کننده بخشی از مواد لیگنوسلولزی غیر چوبی باشد. این گیاه به متعلق به خانواده گرمینه و یا گندمیان است [۱۵]. بامبوها در ۱۲۵۰ گونه مختلف و شامل ۷۵ جنس هستند و طی مدت پنج سال به بلوغ می رسند [۱۶]. این گیاه واژه سریع الرشدترین گیاه جهان را به خود اختصاص داده است، بطوریکه رشد بعضی از گونه های آن تا ۱۲۲ سانتی متر در روز گزارش شده است [۱۵]. بامبوها بیشتر در مناطق گرمسیری رشد می کنند اما به طور معمول در مناطق معتدله و نیمه گرمسیری هم دیده شده اند [۱۶]. کاشت و پرورش این گیاه در داخل ایران سابقه چندانی ندارد، اما امروزه زمینه کشت و پرورش آن در دو استان شمالی کشور (گیلان و مازندران) و مناطق باتلاقی جنوب و غرب کشور و حاشیه رودخانه ها امکان پذیر است [۱۷]. در رابطه با ساخت محصولات چندسازه با استفاده از پلی لاکتیک اسید و الیاف طبیعی و بررسی خواص کاربردی آن تاکنون مطالعاتی در سراسر جهان صورت پذیرفته است. به عنوان مثال Po Ho و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خواص کاربردی چندسازه

از انجام تحقیق فوق بررسی میزان زیست تخریب پذیری در برابر آبشویی و نیز مقاومت در برابر حمله قارچی چندسازه ساخته شده از پلی لاکتیک اسید و آرد بامبو و با فرض تأثیر مقدار و اندازه ذرات آرد بامبو بر روی عوامل ذکر شده بود.

مواد و روش‌ها

مواد

ماتریس پلیمری

ماده‌ی پلیمری پلی لاکتیک اسید مورد استفاده در این پژوهش از نوع نیمه کریستالی و از نمایندگی شرکت هلندی Kia Chemie Paradise تهیه شد. مشخصات PLA مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است. همچنین از مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی پروپیلن به عنوان عامل سازگار کننده استفاده شد.

پوسیدگی سفید (*Trametes versicolor*) صورت گرفت [۲۲]. همچنین Allahdady و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خواص زیستی PLA خالص و چندسازه‌های ساخته شده از الیاف باگاس در دوره‌های ۳۰ و ۶۰ روزه بیان کردند که چندسازه‌هایی که در آن‌ها از الیاف باگاس استفاده شده بود در مقایسه با PLA خالص از نرخ کاهش وزن بیشتری برخوردار بودند [۲۳]. بر اساس استاندارد D-6400 مصوب ASTM تجزیه ۶۰ الی ۹۰٪ محصول در طول دوره‌های ۶۰ الی ۱۸۰ روزه در یک محیط استاندارد از الزامات زیست تخریب بودن پلاستیک‌ها و به تبع آن فراورده‌های ساخته شده با آن‌ها است [۲۴]. با توجه به اینکه تاکنون گزارشی مبنی بر تأیید زیست تخریب پذیری بودن پلی لاکتیک اسید در مقابل حمله عوامل بیولوژیکی مانند قارچ‌ها و آبشویی بلندمدت گزارش نشده است، هدف

جدول ۱- مشخصات پلی لاکتیک اسید و مالئیک انیدرید مورد استفاده در این پژوهش

نوع پلیمر	شاخص جریان مذاب	شرکت سازنده
پلی لاکتیک اسید	۲۰-۵ g/10min	Kia Chemie Paradise
مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی پروپیلن	۱۰ g/10min	کیمیا جاوید

روش‌ها

تهیه‌ی گیاه بامبو

بامبو (Bamboo) مورد استفاده در این پژوهش از مزارع زیر کشت بامبو در استان مازندران، شهرستان ساری تهیه شد. در ابتدا ساقه‌ی بامبو به وسیله‌ی اره فلکه به چیپس-

هایی با ابعاد حدود $(\pm 5) 8 \times 2$ سانتی متر تبدیل و سپس جهت تسریع عملیات به وسیله‌ی آسیاب رینگی پالمن (PZ8) ساخت کشور آلمان با سرعت ۱۴۶۰ دور در دقیقه به تراشه‌هایی با ضریب کشیدگی مناسب تبدیل شدند (شکل ۱).



شکل ۱- تراشه‌های تولید شده به وسیله‌ی آسیاب رینگی پالمن

محصول تأثیر داشته باشند، به مدت یک ساعت تحت تیمار آب جوش قرار گرفتند. سپس با هدف خشک کردن تراشه‌ها، ابتدا به مدت سه روز در هوای آزاد و متعاقب آن

تیمار آب گرم آرد بامبو

قبل از عملیات آسیاب، تراشه‌ها به منظور حذف مواد استخراجی محلول در آب که می‌توانند در مقاومت نهایی

آزمایشگاهی (Retsch مدل Sk1) ساخت کشور آلمان موجود در کارگاه فرآورده‌های چندسازه‌ی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، به آرد تبدیل شدند. سپس به وسیله‌ی الک ارتعاشی با استفاده از مش‌های ۶۰ و ۸۰ دسته‌بندی گردیدند (شکل ۲).

به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای 103 ± 2 درجه‌ی سانتی‌گراد در قرار داده شدند.

تهیه‌ی آرد بامبو

برای تهیه‌ی آرد ساقه‌ی گیاه بامبو، تراشه‌های خشک‌شده‌ی گیاه بامبو با استفاده از آسیاب چکشی



شکل ۲- آرد بامبو در دو اندازه مش ۶۰ (راست) و ۸۰ (چپ)

درجه‌ی سانتی‌گراد با سرعت ۷۰ دور در دقیقه و برای آسیاب ذرات بی‌شکل از آسیاب صنعتی Wieser استفاده شد. پس از قرارگیری مواد در درون قالب، نمونه‌های ساخته شده در ابتدا به مدت سه دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۵ مگا پاسکال تحت پرس گرم و سپس به مدت پنج دقیقه با فشار ۲۰ مگا پاسکال تحت پرس سرد قرار گرفتند. پس از آن چندسازه‌های ساخته شده به مدت ۱ هفته در دمای اتاق قرار گرفته و سپس مورد ارزیابی قرار گرفتند. مشخصات و کدهای تیمارهای مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.

ساخت چندسازه

از آرد ساقه‌ی گیاه بامبو به میزان ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درصد وزنی در دو اندازه مش ۶۰ و ۸۰ در ساخت این چندسازه استفاده شد. همچنین نمونه‌ای از پلی لاکتیک اسید خالص به عنوان نمونه کنترل به علت مقایسه با چندسازه‌های ساخته شده تهیه شد. قبل از اختلاط مواد، برای حذف اثر منفی رطوبت در مواد اولیه، الیاف و پلی لاکتیک اسید به همراه مالئیک انیدرید به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند. برای اختلاط مواد از اکسترودر دوماردون ناهمسوگرد (Collin) ساخت کشور آلمان با پنج ناحیه دمایی ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵ و ۱۶۵

جدول ۲- مشخصات و کد تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش

کد تیمار	PLA(درصد)	آرد بامبو(درصد)	اندازه ذرات(مش)	مالئیک انیدرید (درصد)
A	۱۰۰	۰	۰	۰
B	۴۴	۵۵	۸۰	۱
C	۵۴	۴۵	۸۰	۱
D	۶۴	۳۵	۸۰	۱
E	۴۴	۵۵	۶۰	۱
F	۵۴	۴۵	۶۰	۱
G	۶۴	۳۵	۶۰	۱

آون (Memmert) ساخت کشور آلمان و در دمای 10.3 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. سپس نمونه‌های چندسازه در داخل فویل‌های آلومینیومی پیچانده شدند و در فشار $1/5$ بار در دمای 121 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه استریل گردیدند. پس از آن، نمونه‌های چندسازه با ۶ تکرار روی میسلیم‌های قارچ‌های مذکور قرار داده شدند و به مدت ۶۰ روز در دمای 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند. پس از مدت مذکور نمونه‌ها از انکوباتور خارج و پس از حذف میسلیم‌های سطحی برای تعیین کاهش وزن، به درون آون منتقل و در دمای 10.3 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. آنگاه، برای تعیین میزان کاهش وزن چندسازه‌ها از رابطه‌ی زیر استفاده شد:

$$ML(\%) = \frac{M_i - M_d}{M_i} \times 100 \quad \text{رابطه‌ی (۳): [۲۶]}$$

ML: میزان کاهش وزن، M_i : وزن اولیه خشک قبل از معرض گذاری قارچی، M_d : وزن ثانویه خشک پس از معرض گذاری قارچی.

نتایج و بحث

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

جداول ۳ و ۴ به ترتیب میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌ی آرد بامبو-پلی لاکتیک اسید در دوره‌های مختلف غوطه‌وری را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج مشاهده شد که در تمامی نمونه‌های ساخته‌شده، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با افزایش زمان غوطه‌وری به صورت خطی افزایش می‌یابد که این امر به خاصیت قطبی و طبیعت آب‌دوست آرد بامبو به‌عنوان الیافی لیگنوسلولزی برمی‌گردد. به‌طور کلی الیاف طبیعی به علت دارا بودن سطوح بسیار زیاد گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل، قدرت جذب آب بالایی از خود نشان داده و ثبات ابعادی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۲۸]. در طی دوران غوطه‌وری، کمترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مربوط به پلی‌لاکتیک‌اسید خالص بود که دلیل آن ویژگی آب‌گریزی و غیر قطبی این پلیمر را نمایان می‌سازد [۲۹]. کمترین میزان جذب آب چندسازه در مدت ۱۴ ماه مربوط به تیمار D با $11/66$ درصد و بیش‌ترین میزان آن مربوط به تیمار E با $14/78$ درصد

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت (کوتاه‌مدت و بلندمدت) طبق استاندارد $DY031$ آیین‌نامه‌ی ASTM [۲۵] بر روی نمونه‌های چندسازه‌ی ساخته‌شده صورت گرفت. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی با دقت $0/001$ گرم و برای اندازه‌گیری ضخامت از کولیس با دقت $0/001$ میلی‌متر استفاده گردید. آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تیمارهای چندسازه با ۳ تکرار تا ۱۴ ماه اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید:

$$WA(t) = \frac{W(t) - W(o)}{W(o)} \times 100 \quad \text{رابطه‌ی (۱): [۲۶]}$$

$WA(t)$ = مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری (درصد)،
 $W(t)$ = وزن نمونه در زمان غوطه‌وری موردنظر (g)،
 $W(o)$ = وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری (g).

$$TS(t) = \frac{T(t) - T(o)}{T(o)} \times 100 \quad \text{رابطه‌ی (۲): [۲۶]}$$

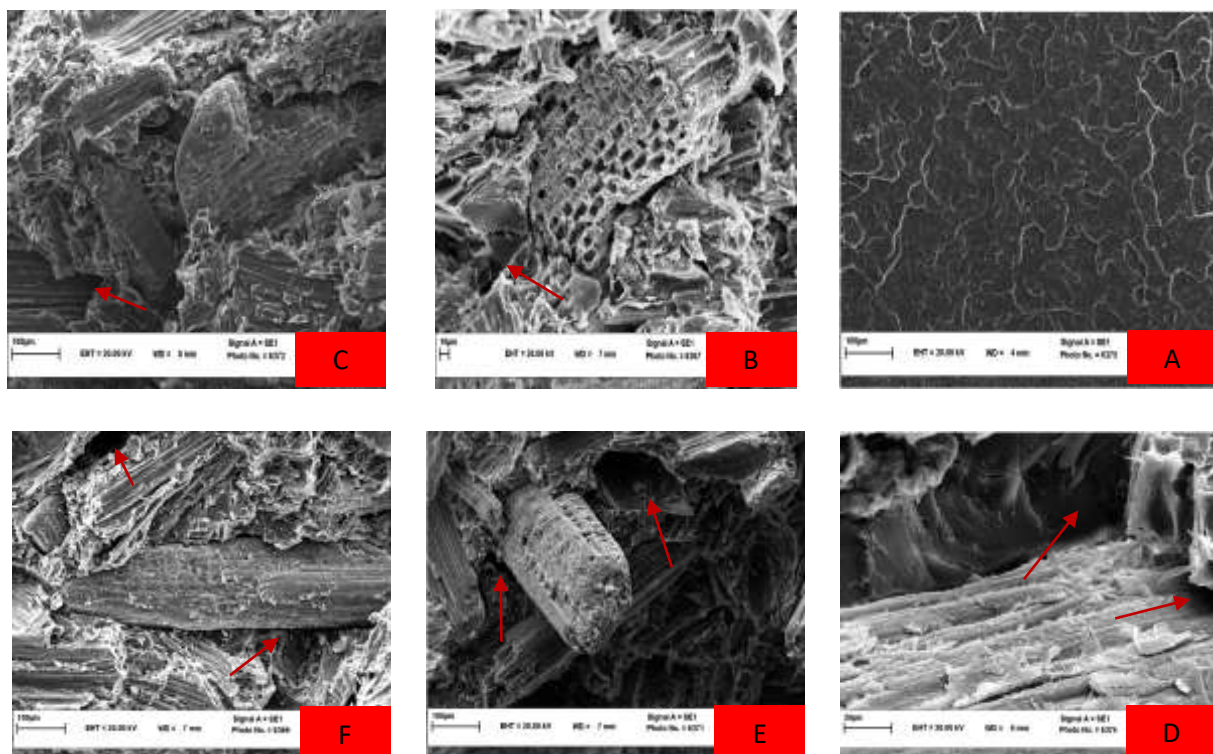
$TS(t)$ = واکنشیدگی ضخامت در زمان موردنظر (درصد)،
 $T(t)$ = ضخامت نمونه در زمان غوطه‌وری موردنظر (mm)،
 $T(o)$ = ضخامت اولیه نمونه‌ها (mm).

آزمون دوام زیستی

دوام زیستی چندسازه‌ی ساخته‌شده مطابق با روش برآوری (۱۹۷۸) که مدل اصلاح‌شده‌ی استاندارد اروپایی EN-113 [۲۷] است، استفاده شد. برای این منظور، جدایه‌های خالص از قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید *Trametes versicolor* (L.) Lloyd. (جدایه‌ی ۱۸)، قهوه‌ای *Gloeophyllum trabeum* (Pers.: Fr.) Murr. (جدایه‌ی ۱۲) از دانشکده فنی شماره ۲ ساری (ایران) و نرم *Chaetomium globosum* Kunze (جدایه‌ی ۱۰) از دانشگاه هامبورگ (آلمان) در پتری-دیش‌هایی تهیه و تجدید کشت شدند و به مدت ۱۰ روز در شرایط محیط (دما و رطوبت نسبی محیط اتاق) قرار گرفتند تا پر گنه‌ها دو/سوم پتری-دیش‌های نمره‌ی ۱۰ را اشغال نمایند. آنگاه، بلوک‌هایی به ابعاد $5 \times 10 \times 30$ میلی‌متر از چندسازه‌های ساخته‌شده، تهیه شدند و سپس در داخل

بامبو در فصل مشترک و کاهش پوشش دهی آرد بامبو و به وجود آمدن حفراتی میکروسکوپی در چندسازه، جذب آب و متعاقباً ثبات ابعادی آن نسبت به پلی لاکتیک اسید خالص افزایش می یابد که می توان عنوان نمود که مولکول های آب در ابتدا به ماده زمینه (پلی لاکتیک اسید) نفوذ کرده و پس از عبور از فصل مشترک، خود را به سطح لیاف می رسانند [۳۱]. Fabiyi و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی چندسازه ساخته شده از پلی پروپیلن و آرد چوب عنوان نمودند که استفاده از ذرات بزرگتر و مقادیر بیشتر آرد چوب به عنوان پرکننده موجب افزایش خاصیت جذب آب چندسازه به خاطر طبیعت آب دوست لیاف به کاررفته در آن می گردد [۲۲]. Qian و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه ساخته شده از آرد بامبو و پلی لاکتیک اسید عنوان نمودند که میزان جذب آب محصول ساخته شده بر اثر افزایش مقادیر آرد بامبو بیشتر شده و دلیل آن را وجود نواحی آمورف و طبیعت قطبی لیاف عنوان نمودند [۳۲]. همچنین نتایج مشابه توسط Yang و همکاران (۲۰۰۶) به ثبت رسید [۳۳].

بود. طبق نتایج به دست آمده مشخص شد که نمونه های ساخته شده با اندازه ذرات بزرگتر (تیمارهای E, F و G) از خاصیت جذب آب و واکنش پذیری ضخامت بیشتری برخوردار بودند که دلیل آن را می توان چنین عنوان کرد که اندازه ذرات بزرگتر به دلیل وجود مقادیر بیشتر بخش های سلولز و همی سلولزی و دسترس پذیری آسان تر این بخش ها به خصوص نواحی آمورف سلولز، پتانسیل جذب آب بالاتری از خود نشان می دهند. همچنین می توان بیان نمود که با بزرگتر شدن اندازه ی ذرات به نوعی تجمع ذرات صورت گرفته و این توزیع ناهمگن ذرات سبب افزایش جذب آب و واکنش پذیری ضخامت چندسازه می گردد [۳۰]. در ارتباط با جذب آب و واکنش پذیری نمونه های ساخته شده با اندازه ذرات کوچکتر، می توان گفت که با کاهش اندازه ی ذرات پلیمر بهتر با لیاف پیوند برقرار کرده و لیاف را احاطه، و در نهایت تخلخل در ساختار چندسازه را کاهش می دهد [۳۰]. آنچه از نتایج بررسی عکس های میکروسکوپ الکترونی روبشی به دست آمد (شکل ۳) مشخص شد که به علت تخلخل زیاد و یا به نوعی ضعف اتصال بین پلی لاکتیک اسید و آرد



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست چندسازه پلی لاکتیک اسید- آرد بامبو بعد از غوطه وری در آب به مدت ۱۴ ماه برای تیمارهای مختلف

جدول ۳- نتایج مربوط به میزان جذب آب چندسازه‌های ساخته در دوره‌های مختلف غوطه‌وری در آب

زمان غوطه‌وری							
تیمار	۲ ساعت	۲۴ ساعت	۲ هفته	۴ هفته	۲ ماه	۶ ماه	۱۴ ماه
A	۱/۰±۵۲/۰۲	۱/۰±۵۲/۱۴	۱/۰±۱۹/۱۵	۰/۰±۱۹/۱۶	۰/۹۹۰±۰/۱۸	۰/۰±۴۹/۱۶	۰/۰±۷۹/۱۸
B	۱/۰±۶۱/۲	۱/۰±۸۴/۱۴	۴/۰±۹/۱۵	۸/۰±۵۸/۱۶	۱۰/۰±۲۲/۱۸	۱۰/۰±۷۵/۱۶	۱۲/۰±۶۵/۱۷
C	۱/۰±۰۳/۲	۱/۰±۲۴/۱۴	۵/۰±۳۸/۱۵	۸/۰±۴۸/۱۶	۱۰/۰±۵۵/۱۶	۱۰/۰±۸/۱۶	۱۲/۰±۰۲/۱۷
D	۱/۰±۶۵/۲	۱/۰±۶۵/۱۴	۵/۰±۷۳/۱۵	۹/۰±۹/۱۶	۱۰/۰±۵۷/۱۸	۱۱/۰±۳۸/۱۸	۱۱/۰±۶۶/۱۷
E	۱/۰±۵۲/۲	۱/۰±۹۵/۱۴	۸/۰±۴۷/۱۵	۱۱/۰±۰۴/۱۶	۱۳/۰±۱۵/۱۶	۱۴/۰±۲۱/۱۶	۱۴/۰±۷۸/۱۷
F	۱/۰±۶۷/۲	۱/۰±۴۶/۱۴	۶/۰±۹/۱۵	۱۰/۰±۸۷/۱۶	۱۱/۰±۴۷/۱۶	۱۲/۰±۰۲/۱۶	۱۳/۰±۴۹/۱۷
G	۱/۰±۴۴/۲	۱/۰±۴۴/۱۴	۵/۰±۱۴/۱۵	۸/۰±۶۴/۱۶	۹/۰±۸۳/۱۶	۱۱/۰±۲۶/۱۶	۱۳/۰±۲۵/۱۷

اعداد ایرانک نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار است

جدول ۴- نتایج مربوط به میزان واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های ساخته در دوره‌های مختلف غوطه‌وری در آب

زمان غوطه‌وری							
تیمار	۲ ساعت	۲۴ ساعت	۲ هفته	۴ هفته	۲ ماه	۶ ماه	۱۴ ماه
A	۱/۰±۳۴/۰۳	۰/۰±۴۳/۲۱	۰/۰±۲۱/۲۳	۰/۰±۶۵/۲۲	۰/۰±۶۵/۲۲	۰/۰±۱۹/۱۶	۰/۰±۶۵/۲۲
B	۱/۰±۶۰/۲	۱/۰±۷۱/۱۴	۴/۰±۶۶/۱۵	۶/۰±۶۳/۱۶	۷/۰±۲۳/۱۶	۸/۰±۴۱/۱۸	۹/۰±۸۷/۱۷
C	۱/۰±۱۲/۲	۰/۰±۷۲/۱۴	۳/۰±۸۵/۱۵	۴/۰±۸۱/۱۶	۵/۰±۷۲/۱۶	۸/۰±۷/۱۶	۹/۰±۵۴/۱۷
D	۱/۰±۲/۲	۲/۰±۱۷/۱۴	۴/۰±۳۵/۱۵	۵/۰±۳۲/۱۶	۵/۰±۹۰/۱۶	۷/۰±۹/۱۶	۸/۰±۶۳/۱۷
E	۱/۰±۰/۲	۲/۰±۰۲/۱۴	۵/۰±۳۱/۱۵	۶/۰±۸/۱۶	۷/۰±۶۳/۱۶	۹/۰±۹۴/۱۶	۱۱/۰±۱۸/۱۷
F	۰/۰±۷۳/۲	۰/۰±۹۷/۱۴	۴/۰±۱۴/۱۵	۵/۰±۸۵/۱۶	۷/۰±۱۲/۱۶	۸/۰±۹۷/۱۶	۱۰/۰±۸۵/۱۷
G	۰/۰±۲۳/۲	۰/۰±۲۳/۱۴	۳/۰±۳۴/۱۵	۳/۰±۵۷/۱۶	۵/۰±۶۲/۱۶	۸/۰±۶۴/۱۶	۹/۰±۸/۱۷

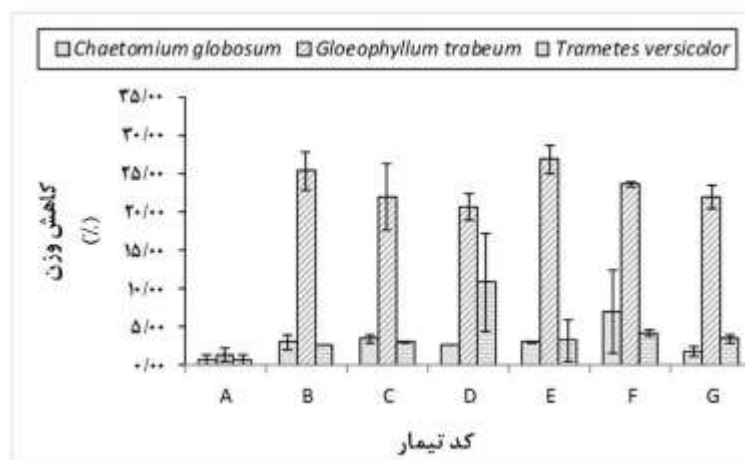
اعداد ایرانک نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار است

این پلیمر گردند. همان‌طور که تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۵) مشخص است، هیچ‌کدام از قارچ‌ها قادر به نفوذ در ساختار پلی‌لاکتیک‌اسید خالص نبوده این در حالی است که قارچ عامل پوسیدگی، قارچ *Gloeophyllum trabeum* بیش‌ترین میزان تخریب را در چندسازه ساخته‌شده به وجود آورد و این نشان‌می‌دهد که افزودن ذرات آرد بامبو نقشی کلیدی در میزان تخریب قارچی چندسازه داشته است (شکل ۶). درواقع قارچ‌های مولد پوسیدگی قهوه‌ای، مستقیماً کربوهیدرات‌ها (سلولز و همی سلولز) را موردحمله قرار داده و لیگنین تغییر شکل یافته را باقی می‌گذارند [۳۵]. قارچ‌های عامل پوسیدگی نرم و سفید برخلاف قارچ پوسیدگی قهوه‌ای به دلیل اینکه قادر به ساخت ترکیب فنل-اکسیدازها هستند، بیشتر لیگنین موجود در لیاف را موردحمله قرار داده و آن را تجزیه می‌کنند [۳۶]. قارچ‌های چوب‌خوار برای زندگی نیازمند

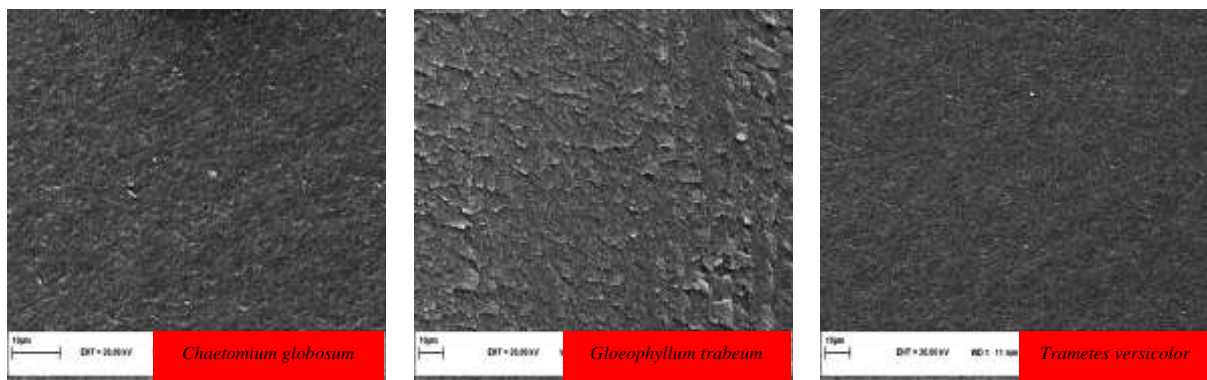
در شکل ۴ میزان کاهش وزن چندسازه‌های ساخته‌شده در برابر قارچ‌های *Trametes versicolor*، *Chaetomium globosum* و *Gloeophyllum trabeum* مدت ۶۰ روز نشان داده‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیش‌ترین میزان تخریب و کاهش وزن توسط قارچ‌ها مربوط به چندسازه ساخته‌شده بود که به دلیل منبع مناسبی از هولوسولوزها محیط مناسب‌تری را برای رشد قارچ‌ها فراهم می‌کنند [۳۴]. البته تفاوت معناداری بین میزان تخریب هر سه قارچ بر روی تیمارهای مختلف چندسازه مشاهده نشد. کمترین میزان کاهش وزن مربوط به پلی‌لاکتیک‌اسید خالص بود. ساختار غیرقابل نفوذ و سخت پلی‌لاکتیک‌اسید باعث می‌شود که قارچ‌ها نتوانند به‌راحتی با شکستن گروه‌های استری این پلیمر، در ساختار حلقه‌های لاکتیک‌اسید نفوذ کرده و موجب تجزیه

صنوبر مقاومت بالایی را در مدت ۱۲۰ روز در برابر پنج گونه قارچی داشت. به طوری که بالاترین و کمترین میزان کاهش وزن به ترتیب ۳/۲٪ و ۱/۶٪ مربوط به قارچ‌های *Trametes versicolor* و *Physisporinus vitreus* بود [۳۹]. در تحقیقی دیگر Bari و همکاران (۲۰۱۷) چندسازه‌ی ساخته شده از آرد چوب بامبو و چهار پلیمر (PP, LDPE, HDPE و PVC) را به مدت ۱۲۰ روز در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی سفید، قهوه‌ای و نرم (ایزوله‌های مشابه در این تحقیق) مطابق با استانداردهای اروپایی و آمریکایی قراردادند و عنوان نمودند که قارچ عامل پوسیدگی نرم بالاترین تخریب را در نمونه‌های ساخته شده با PVC داشته است [۴۰]. همچنین نتیجه فوق با گزارش Allahdady و همکاران (۲۰۱۷) مینی بر نرخ پایین کاهش وزن پلی لاکتیک اسید خالص در برابر حمله قارچ *Trametes versicolor* مطابقت داشت [۲۳].

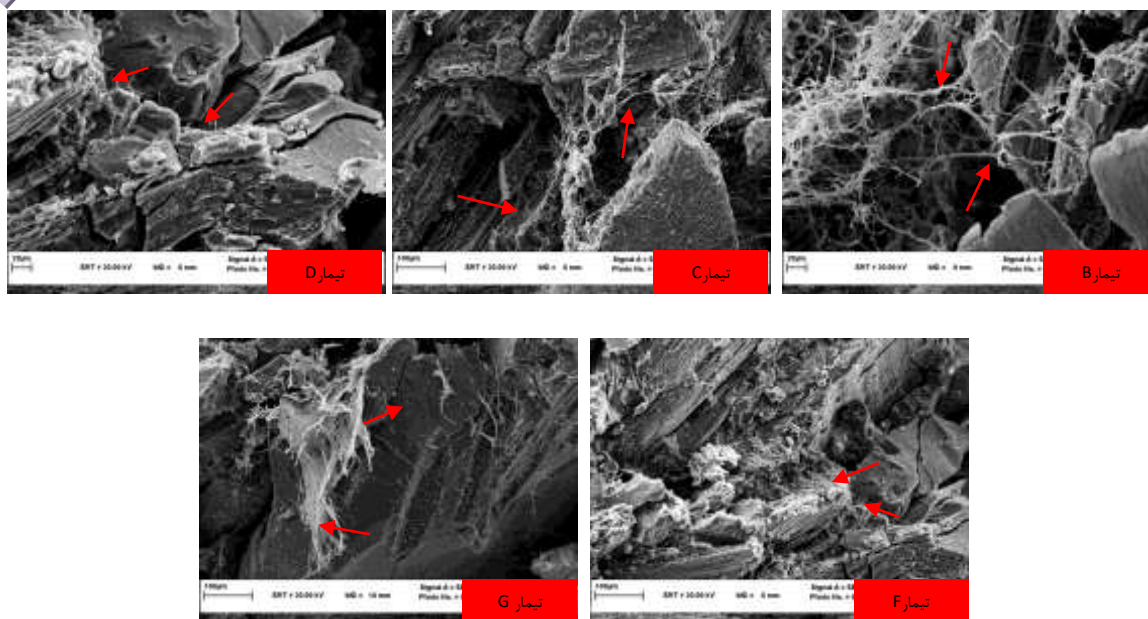
مصرف مواد قندی و به خصوص کربن هستند، بنابراین تخریب چندسازه‌ای که از مواد لیگنوسلولزی تولید می‌شود امری طبیعی است. چراکه درصد معینی از مواد زمینه این محصولات را مواد لیگنوسلولزی تشکیل می‌دهد که در حقیقت حاوی منبع مهم و قابل دسترسی‌ای شامل کربوهیدرات‌ها و ترکیبات لیگنین است. بامبو نیز دارای ترکیبات کربوهیدراتی (سلولز و همی سلولز) و واحدهای لیگنین در ساختار خود است که شرایط مطلوب را برای رشد این قارچ‌ها فراهم می‌گرداند [۳۷]. Mankowski and Morrel (۲۰۱۱) در بررسی میزان نرخ کاهش وزن چندسازه چوب پلاستیک عنوان نمودند که افزایش حفرات موجود در چندسازه (ناشی از فرایند ساخت) به دلیل خروج مواد تصعید شونده و فرار باعث می‌گردد که ریشه‌های قارچ به راحتی در آن منافذ نفوذ کرده و شروع به فعالیت کنند که این امر با نتایج تحقیق فوق مطابقت دارد [۳۸]. Bari و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی نشان دادند که چندسازه‌ی ساخته شده از پلی پروپیلن و آرد چوب



شکل ۴- نتایج مربوط به میزان کاهش وزن چندسازه‌های ساخته شده در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی در مدت ۶۰ روز



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست پلی لاکتیک اسید خالص



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست چندسازه پلی لاکتیک اسید-آردبامبو پس از حمله قارچها

بررسی دوام زیستی چندسازه و پلی لاکتیک اسید خالص، با توجه به نتایج به دست آمده از نرخ کاهش وزن و عکسهای میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص گردید که پلی لاکتیک اسید مقاومت زیادی در برابر حمله قارچهای *Basidiomycota* و *Ascomycota* از خود نشان می دهد. در کل با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می توان چنین عنوان نمود که پلی لاکتیک اسید اگرچه در ردیف پلیمرهای زیستی قرار می گیرد، اما مطابق استاندارد ASTM D-6400 نمی توان به آن واژه زیست تخریب پذیر را نسبت داد.

نتیجه گیری

در این پژوهش اثر اندازه ذرات و مقدار آرد بامبو بر روی خاصیت جذب آب و دوام زیستی چندسازه پلی لاکتیک اسید- آرد بامبو مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده در خصوص غوطه وری پلی لاکتیک اسید به مدت ۱۴ ماه در آب مشخص گردید که این پلیمر دوام بسیار بالایی در مقابل آبشویی و تجزیه به هوسيله فرآیند آبکافت از خود نشان می دهد. به طوری که نرخ جذب آب و اکشیدگی ضخامت چندسازه مدام در حال افزایش بود و اثری از تجزیه و خاصیت زیست تخریب پذیری در برابر آب از خود نشان نداد. در

منابع

- [1] Barbosa Jr, V., Ramires, E C., Razera, I. A. T., and Frollini, E., 2010. Biobased composites from tannin-phenolic polymers reinforced with coir fibers. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 305-312.
- [2] Mohanty, A. Q., Misra, M. and Drzal, L. T., 2002. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10(1-2):19-26.
- [3] Rosa, D., Rodrigues, T., Guedes, C. and Calil, M., 2003. Effect of thermal aging on the biodegradation of PCL, PHBV and their blends with starch in soil compost. *Journal Applied Polymer Science*, 89(13):3539-3546.
- [4] Zini, E., Baiardo, M., Armelao, L. and Scandola, M., 2004. Biodegradable Polyesters Reinforced with Surface-Modified Vegetable Fibers. *Macromolecular bioscience*, 4(3): 286-295.

- [5] Puglia, D., Tomassucci, A. and Kenny, J., 2003. Processing, properties and stability of biodegradable composites based on Mater-Bi and cellulose fibres. *Polymer Advance Technology*, 14(11-12):749-756.
- [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] 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.
- [8] Drumright, R. E., Gruber, P. R. and Henton, D. E., 2000. Polylactic acid technology. *Advanced materials*, 12(23):1841-1846.
- [9] Pilla, S., Gong, S., O'Neill, E., Rowell, R. M. and Krzysik, A. M., 2008. Polylactide-pine wood flour composites. *Polymer Engineering & Science*, 48(3): 578-587.
- [10] Huda, M. S., Drzal, L. T., Misra, M., Mohanty, A. K., Williams, K. and Mielewski, D. F., 2005. A study on biocomposites from recycled newspaper fiber and poly (lactic acid). *Industrial & engineering chemistry research*, 44(15): 5593-5601.
- [11] Febrianto, F., Yoshioka, M., Nagai, Y., Mihara, M. and Shiraishi, N., 2001. Composites of wood and trans-1, 4-isoprene rubber II: Processing conditions for production of the composites. *Wood Science and Technology*, 35(4): 297-310.
- [12] Balasuriya, P. W., Ye, L., Mai, Y. W. and Wu, J., 2002. Mechanical properties of wood flake-polyethylene composites. II. Interface modification. *Journal of applied polymer science*, 83(12), 2505-2521.
- [13] Holbery, J. and Houston, D., 2006. Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. *Journal of Miner Metal Mater*, 58(11), 80-86.
- [14] Summerscales, J., Dissanayake, N., Virk, A. and Hall, W., 2010. A review of bast fibres and their composites. Part 2-Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10): 1336-1344.
- [15] Sodjoudi, M.E. and Hemmati, A.R., 1993. *Bamboo the Green Gold*. Tehran. Building and Housing Research Center, 110pp. (In Persian).
- [16] Scurlock, J.M.O., Dayton, D.C. and Hames, B., 2000. Bamboo: an overlooked biomass resource *Biomass and Bioenergy*, 19 (4), 229-244.
- [17] Staki, M. and davazdaimami, S., 2012. *A completed Guidelines for Growing & Conserving Lucky Bamboo*. Tehran, Agricultural Extension and Education, 130pp. (In Persian).
- [18] Ho, M. P., Lau, K. T., Wang, H. and Hui, D., 2015. Improvement on the properties of polylactic acid (PLA) using bamboo charcoal particles. *Composites Part B: Engineering*, 81(1):14-25.
- [19] Arao, Y., Fujiura, T., Itani, S. and Tanaka, T., 2015. Strength improvement in injection-molded jute-fiber-reinforced polylactide green-composites. *Composites Part B: Engineering*, 68 (2): 200-206.
- [20] Oksman, K. and Lindberg, H., 1998. Influence of thermoplastic elastomers on adhesion in polyethylene-wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 68(11): 1845-1855.
- [21] Morrell, J.J., Stark, N.M., Pendleton, D.E. and McDonald, A.G., 2006. Durability of Wood-Plastic Composites. *Wood Design Focus*, 16(3):7- 10.
- [22] Fabiyi, S., Morrell, J. and Freitag, C., 2011. Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites. *Composites: Part A*, 42(5): 501-510.
- [23] Allahdady, M., Hedjazi, S., Jonoobi, M., Abdulkhani, A. and Jamalirad, L., 2017. Biodegradation behaviors and color change off composites based on type of bagasse pulp/polylactic acid. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 8 (1): 1-13. (In Persian).

- [24] ASTM D-6400-04., 2004. Standard Specification for Compostable Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA,
- [25] ASTM D 7031.,2005. Standard Guide for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products.
- [26] Hassani, S., Hosseini Hashemi, s.kh., Farsi, R. and Jahan Latibari, A., 2015. Identification and comparison of oil compounds derived from pyrolysis of beach sound wood and decayed wood using Gas Chromatography and Mass Spectrometry (GC/MS). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 30 (2), 243-255. (In Persian).
- [27] BS EN 113:1997. Standard test methods for Wood preservatives. Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes. Determination of the toxic values.
- [28] Herrera-Estrada, L., Pillay, S.and Vaidya, U., 2008. Banana Fiber Composites for Automotive and Transportation Applications Automotive. composites conference exhibition. P.16-18.
- [29] Du, Y., Yan, N., Kortschot, T. and Farnood, R., 2014. Fabrication an characterization of fully biodegradable natural fiber-reinforced poly(lactic acid) composites. Composites: Part B, 56(2): 717–723.
- [30] Onuegbu, C.G. and Igwe, I.O., 2011. The Effects of filler contents and particle sizes on the mechanical and end-use properties of snail shell powder filled polypropylene. Materials Sciences and Application, 2(7): 811-817.
- [31] Arjmand F, Barmar M. and Barikani M, 2012. Investigating the effect of isocyanate modification of wood fiber on the physical-mechanical properties and torque rheometry of wood-polyethylene composite. Mechanics of Structures and Fluxes, 1(2): 1-12.(In Persian).
- [32] Qian, S., Sheng, K., Yao, W. and Yu, H., 2016. Poly (lactic acid) biocomposites reinforced with ultrafine bamboo-char: Morphology, mechanical, thermal, and water absorption properties. Journal of Applied Polymer Science, 133(20):1-9.
- [33] Yang, H. S., Kim, H.J., Park, H. J., Lee, B. J. and Hwang, T. S., 2006. Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic fillerpolyolefin bio-composites. Composite Structures,72(4): 429–437.
- [34] Li, Y., Pickering, K. L. and Farrell, R. L., 2009. Analysis of green hemp fibre reinforced composites using bag retting and white rot fungal treatments. Industrial crops and products, 29(2-3): 420-426.
- [35] Cassens, D., Johnson, B. R., Feist, W. C. and DeGroot, R. C., 1995. Selection and use of preservative-treated wood. Forest Products Society,154p.
- [36] Unger, A., Schniewind, A. and Unger, W., 2001. Conservation of wood artifacts: a handbook. Springer Science and Business Media.790p.
- [37] Liu, L., Hicks, K.B. and Liu, C.K., 2005. Biodegradable Composites from Sugar Beet Pulp and Poly(lactic acid). Agricultural and food chemistry, 53(23):9017-9022.
- [38] Mankowski, M. and Morrel, J.J., 2000. Patterns of fungal attack in wood-plastic composites following exposure in a soil block test. Wood and Fibre Science,32(3): 340-345.
- [39] Bari, E., Taghiyari, HR., Schmidt, O., Ghorbani, A. and Aghababaei, H., 2015. Effects of nano-clay on biological resistance of wood-plastic composite against five wood-deteriorating fungi. Maderas-Cienc Tecnol,17(1):205-212.
- [40] Bari, E., Sistani, A., Taghiyari, HR., Morrell, JJ. And Cappellazzi, J., 2017. Influence of test method on biodegradation of bamboo-plastic composites by fungi. Maderas-Cienc Tecnol; 19(4): 455-462.

Assessment of the biodegradability of composites produced from polylactic acid and bamboo flour

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the biodegradability of composites made from bamboo flour and polylactic acid using physical properties and bio-durability examinations. On the other hand, the effect of the amount and size of the bamboo flour particles on the physical properties and durability of the biocomposites was another objective of the research. The bamboo flour and polymer were mixed up in a counter-rotating twin screw extruder. The biocomposites boards were produced by compression molding method. The samples were cut and evaluated according to the suggested specifications in the ASTM and EN-113 standards. The results showed that the thickness swelling and water absorption of the composites were increased significantly by increasing the amount and size of bamboo flour particles. Also, bio-durability of the samples against the studied three fungi species showed that *Gloeophyllum trabeum* sharply caused high mass losses in all samples by increasing the amount of bamboo flour, while pure polymer (PLA) had a very high durability against the fungi.

Keywords: poly lactic acid; biodegradable; bamboo flour; physical properties; natural durability.

M. Dehghan¹
M.M. Faezipour²
M. Azizi^{3*}
E. Bari⁴

¹ M.Sc. student., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Professor, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

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

⁴ Senior lecturer, Department of wood science and engineering, Technical faculty of No. 2, Mazandaran branch, Technical and vocational university (TVU), Sari, Iran

Corresponding author:
mazizi@ut.ac.ir

Received: 2018/01/31
Accepted: 2018/06/13