فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۳، شماره ۲، صفحه ۲۳۰-۲۱۸ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2018.120584.1462

مقایسه ویژگی‌های کششی و تحلیل مکانیکی-دینامیکی چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/پلی‌اتیلن تقویت‌شده با الیاف طبیعی

حمید آیباغی اصفهانی[1*]، مهدی کلاگر[2] و حسین سپهری‌راد[3]

۱*- نویسنده مسئول، عضو هیئت‌علمی، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، ایران، پست الکترونیک: Aibaghi.esfahani@gmail.com
۲- پژوهشگر مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا، ایران
۳- عضو هیئت‌علمی، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۷

چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های کششی و دینامیکی- مکانیکی چندسازه ساخته‌شده با پلیمر پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA) و پلی‌اتیلن دانسیته سنگین (HDPE) به‌عنوان ماتریس و خاک‌اره به‌عنوان تقویت‌کننده به میزان ۳۰ درصد وزنی بررسی شد. از انیدریدمالئیک پیوند خورده با پلی‌اتیلن (MAPE) به میزان ۳ درصد وزنی به‌عنوان اتصال‌دهنده استفاده‌شده است. استفاده از خاک اره باعث افزایش در سفتی چندسازه‌های ساخته‌شده گردیده، درحالی‌که استفاده از این ماده باعث کاهش در مقاومت‌کششی چندسازه‌ها شده است. بالاترین میزان ویژگی‌های کششی (مدول‌الاستسیته و مقاومت‌کششی) مربوط به چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/پلی‌اتیلن/ خاک‌اره و اتصال‌دهنده بوده است. افزودن الیاف طبیعی به هر دو ماتریس (PLA و PE) مدول ذخیره چندسازه را نسبت به پلیمرهای خالص افزایش داده، درحالی‌که میزان مدول ذخیره در پلی‌اتیلن خالص و چندسازه آن بالاتر بوده است. نتایج نشان داد که استفاده همزمان از دو پلیمر (PE و PLA) با نسبت‌های مساوی (۵/۳۳) و خاک اره جهت ساخت چندسازه میزان سفتی بالاتری را نسبت به استفاده جداگانه از هر کدام از پلیمرها نشان داد. به‌کارگیری الیاف طبیعی باعث کاهش تحرک زنجیره مولکولی و انتقال دمای چندسازه به دماهای بالاتر شده که درنهایت پیک‌های مربوطه به سمت راست و پایین‌تر جابه‌جاشده‌اند. هرچند که در برخی موارد انتقال پیک‌ها از روند نرمالی تبعیت نکرده است اما افزودن اتصال‌دهنده MAPE باعث چسبندگی سطح مشترک بیشتر بین دو مرحله در تمامی چندسازه‌ها شده و درنهایت سفتی را افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، خاک اره، پلی‌لاکتیک‌اسید، پلی‌اتیلن، ویژگی‌های کششی، تحلیل دینامیکی-مکانیکی

مقدمه

تحقیق و توسعه بر روی پلیمرهای زیستی به‌صورت فزاینده‌ای در ۵ سال اخیر افزایش‌یافته است (Bledzki & Jaszkiewicz, 2010). پلیمر زیست تجزیه‌پذیر پلی‌لاکتیک‌اسید ماده‌ای با زیست سازگاری خوب و دارای ویژگی‌های مقاومتی و سفتی بالا بوده (Sis *et al.*,2013) و از ذرت تهیه‌شده که موضوع بسیاری از تحقیقات در سال‌های گذشته بوده است (Huda *et al.*, 2008). پلیمرهای جدید از قبیل پلی‌لاکتیک‌اسید که در بازارهای اروپایی در دهه گذشته موردتوجه قرارگرفته‌اند بیشترین کاربرد را در بخش پزشکی و بعد کاربردهایی را در زمینه بسته‌بندی مانند کیسه‌های زیست تجزیه‌پذیر تجربه کردند و هم‌اکنون کاربردهایی در بخش‌های ساختمانی برای این پلیمر زیست تجزیه‌پذیر با استفاده از الیاف طبیعی به‌عنوان تقویت‌کننده

متداول شده است (Bledzki & Jaszkiewicz, 2010).

قابل توجه است که هنوز هم از نظر فنی رزین اصلی مهندسی، چندسازه بر پایه پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن (PE) بر اساس نسبت هزینه/عملکرد یکی از بهترین است. چندسازه پلیمر تقویت‌شده با پلیمرهای مشتق شده از نفت خام (اکثراً پلی، پروپیلن، پلی‌اتیلن و غیره) با الیاف طبیعی بازتاب‌کننده برجسته و قابل‌مقایسه ویژگی‌های مکانیکی و مکانیکی-دینامیکی نسبت به استیل و آلومینیوم است که منجر به کاربرد گسترده این مواد برای مواد مهندسی ویژه از قبیل اتومبیل، صنایع هوایی و ساختمان شده است (Saba *et al.*, 2015).

به‌کار بردن واژه زیستی می‌تواند برای مشتریان بسیار جذاب باشد، به‌شرط اینکه قیمت تمام شده متعادل محصول و تضمین آن برای مشتری تعریف گردد؛ بنابراین داده‌های چندسازه زیستی از قبیل پلی‌لاکتیک‌اسید که می‌خواهند با پلی‌پروپیلن رقابت کنند باید با مقادیر یکسان استفاده از الیاف طبیعی مورد مقایسه ویژگی‌های مختلف قرار گیرند (Bledzki & Jaszkiewicz, 2010). عیب اصلی پلی‌لاکتیک‌اسید شکنندگی این ماده بوده است (Ljungberg & Wesslén, 2005). یکی از روش‌ها برای بهبود خواص گرمایی و مکانیکی PLA افزودن الیاف طبیعی است (Huda *et al.*, 2005a). ازاین‌رو افزودن الیاف طبیعی روش مناسبی برای بهبود کارایی مواد و کاهش قیمت چندسازه بوده که اخیراً برای جایگزینی الیاف مصنوعی موردتوجه قرارگرفته است (Huda *et al.*, 2006; Ochi, 2008)، زیرا آنها زیست تجزیه‌پذیر هستند. وزن سبک، غیر سمیت، قیمت پایین، استفاده کمتر از انرژی و سایش کمتر تجهیزات در هنگام ساخت، دسترس‌پذیری گسترده، زیست تجزیه‌پذیری، جلوگیری از جنگل‌زدایی و سایر ویژگی‌های مثبت الیاف طبیعی (Saba *et al.*,2016) باعث علاقه‌مندی محققان و صنعتگران برای استفاده از این محصول زیستی در ساخت چندسازه‌ها بر پایه پلیمرهای زیست تجزیه‌پذیر و غیر زیست تجزیه‌پذیر شده است که این موضوع باعث افزایش کاربرد چندسازه‌های ساخته‌شده در بسیاری از کاربردهای مهندسی و تکنولوژی شده است (Nayak *et al.*, 2009).

بنابراین اختلاط پلی‌لاکتیک‌اسید با ترکیبات مصنوعی و پلیمرهای دیگر می‌تواند باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی و همچنین تولید محصولی جدید گردد (Boubekeur *et al.*, 2015). Huda و همکاران (۲۰۰۵) در مقایسه رزین خالص و چندسازه ساخته‌شده با الیاف سلولزی عنوان کردند که مدول کششی و خمشی با افزودن تقویت‌کننده به ماتریس PLA به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت.

بسیار مهم است که بپذیریم مواد زیست تجزیه‌پذیر دارای قابلیت گسترده‌ای در صنعت مبلمان، اتومبیل، ساختمان و بسته‌بندی هستند (Ibrahim *et al.*, 2010). ترکیب مواد زیست تجزیه‌پذیر با مواد بر پایه نفت خام در جهت تولید محصولات می‌تواند قابلیت کاربرد این محصولات را افزایش دهد (Wambua *et al.*, 2003). یکی از اهداف این پژوهش تولید چندسازه‌ای با ترکیب کردن دو نوع پلیمر زیست تجزیه‌پذیر و بر پایه نفت خام می‌باشد. یکی از مهمترین تکنیک‌های مورداستفاده تحلیل دینامیکی-مکانیکی (DMA) است که در توصیف ساختار چندسازه استفاده می‌شود؛ تابعی از فرکانس، دما، زمان، تنش و اتمسفر یا یک ترکیبی از این پارامترهاست (Romanzini *et al.*,2013). مؤلفه‌های به‌دست‌آمده حاصل از طرح به‌عنوان مجموعه مدول (مدول برشی) نامیده می‌شود که به‌وسیله E^* مشخص‌شده است.

میزان تانژانت دلتا بالا نشان‌دهنده ماده‌ای غیر الاستیک و میزان کم تانژانت دلتا نشان‌دهنده ماده‌ای با الاستیک بالاست. افزایش در پیوندهای سطح مشترک الیاف/ماتریس منجر به کاهش فاکتور میرایی شده و ازآنجایی‌که تحرک زنجیره مولکولی در سطح مشترک الیاف/ماتریس کاهش می‌یابد؛ بنابراین کاهش اتلاف انرژی با ظرفیت ذخیره‌سازی بیشتر میزان تانژانت دلتا در سیستم در ارتباط است (Saba *et al.*, 2015). بررسی دینامیکی- مکانیکی چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA) الیاف رامی نشان داد که افزودن الیاف به علت افزایش یافتن چسبندگی سطح مشترک به‌وسیله انیدریدمالئیک به‌عنوان اتصال‌دهنده باعث افزایش

در مدول ذخیره چندسازه شده است (Yu *et al.*, 2014).

Graupner (۲۰۰۸) ویژگی‌های کششی چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/کتان و پلی‌لاکتیک‌اسید و کنف را بررسی کرد و مشاهده کرد که مقاومت و مدول کششی پلیمر خالص با افزودن هر دو نوع الیاف طبیعی افزایش‌یافته است. Boubekeur و همکاران (۲۰۱۵) عنوان کردند که اختلاط PLA و PE برای ساخت چندسازه پر شده با الیاف طبیعی باعث بهبود در ویژگی‌های کششی شده و پژوهشگران سطح مشترک مناسبی بین الیاف کنف هندی و پلیمرها مشاهده کردند.

در این پژوهش ویژگی کششی (مدول‌الاستسیته و مقاومت‌کشش) و تحلیل دینامیکی مکانیکی شامل مدول ذخیره و تانژانت دلتا بر روی چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌اتیلن به‌عنوان ماتریس و خاک اره حاصل از کاج تدا به‌عنوان تقویت‌کننده و همچنین انیدریدمالئیک پیوند خورده با پلی‌اتیلن به‌عنوان اتصال‌دهنده مورد تجزیه‌وتحلیل قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

پلی‌لاکتیک‌اسید مورداستفاده در این مطالعه از شرکت Shanghai Freemen Chemicals موجود در چین تهیه شد. دانسیته پلی‌لاکتیک‌اسید ۱/۲۵ گرم /سانتی‌متر مکعب و شاخص جریان مذاب (*MFI*)[1] ۱۵–۳۰*g/10min* بوده است. پلی‌اتیلن ساخت شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۱۸ gr/10min مورداستفاده قرار گرفت. پلی‌اتیلن با ۰/۱ درصد مالئیک انیدرید پیوند خورده (MAPE) به‌عنوان عامل اتصال‌دهنده به‌کار گرفته شد. خاک اره کاج تدا از صنایع تبدیلی شرکت جنگل شفارود در استان گیلان (رضوانشهر) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفت تا میزان رطوبت آن به حدود ۱–۲٪ برسد. جدول ۱ ترکیب مواد با میزان‌های مختلفی از پلی‌لاکتیک‌اسید، پلی‌اتیلن، خاک اره و MAPE را برای ساخت چندسازه نشان می‌دهد. مواد با نسبت‌های مختلف با دستگاه MIXER با سه ناحیه دمایی ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت چرخش ۳۰ و صرف زمان ۱۱ دقیقه مخلوط شدند. برای ساخت نمونه‌های استاندارد آزمون کششی و دینامیکی –مکانیکی نمونه‌ها به مدت ۶–۵ دقیقه به‌عنوان پیش‌پرس از دمای محیط به دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و بعد نمونه‌ها در مدت ۵–۴ دقیقه و با فشار ۳۰ مگا پاسکال پرس شدند و درنهایت در مدت ۶–۵ دقیقه فشار پرس را از روی نمونه‌ها برداشته و دما نیز کم شده تا به دمای محیط رسید.

جدول ۱– ترکیب مواد مختلف برای ساخت چندسازه

کد نمونه	پلی‌لاکتیک‌اسید (درصد)	پلی‌اتیلن (درصد)	خاک اره (درصد)	**MAPE** (درصد)
PLA	۱۰۰	–	–	–
PLA+F	۷۰	–	۳۰	–
PLA+F+MAPE	۶۷	–	۳۰	۳
PE	–	۱۰۰	–	–
PE+F	–	۷۰	۳۰	–
PE+F+MAPE	–	۶۷	۳۰	۳
PLA+PE+F	۳۵	۳۵	۳۰	–
PLA+PE+F+MAPE	۳۳/۵	۳۳/۵	۳۰	۳

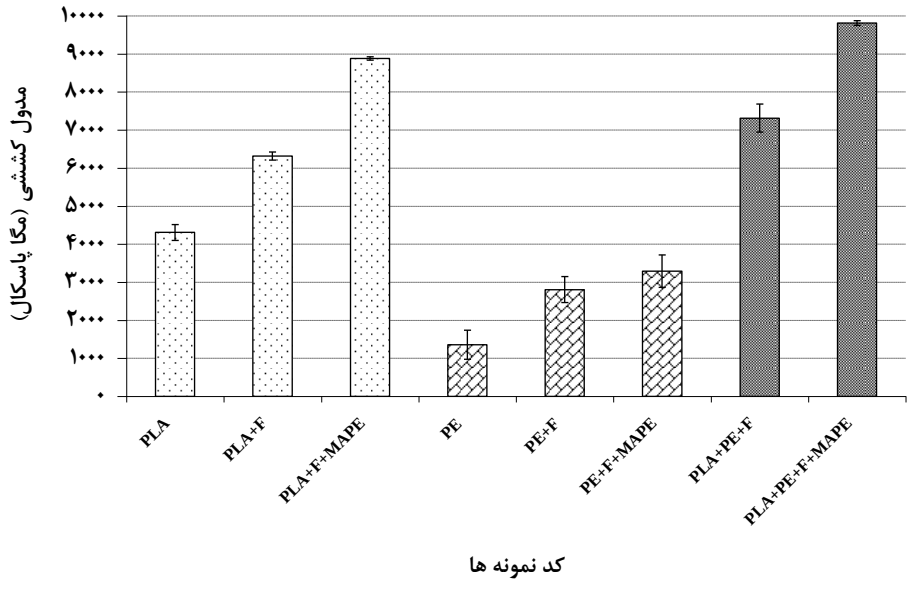
1-Melt Flow Index

برای انجام آزمون دینامیکی- مکانیکی این آزمون مطابق با استاندارد ASTM E1640 با استفاده از دستگاه Polymer Laboratory مدل PL موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. نمونه‌ها با ابعاد ۱× ۱ × ۳ میلی‌متر (mm) در مد خمش و محدوده دمای ۶۰- تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد با میزان سرعت ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه انجام گردید. فاکتور مدول ذخیره و فاکتور اتلاف مکانیکی (tan δ) به‌عنوان تابعی از حرارت اندازه‌گیری شده است.

آزمون کشش طبق آیین‌نامه D۶۳۸ استاندارد ASTM با استفاده از دستگاه (INSTRON) مدل ۴۴۸۹ بر روی نمونه‌های M-I دمبلی انجام شد و بارگذاری با سرعت 5mm/min اعمال شد.

نتایج

شکل ۱ و ۲ به ترتیب نتایج بدست آمده از ویژگی های کششی (مدول و مقاومت کششی) را نشان می دهند. با افزودن ۳۰ درصد ماده لیگنوسلولزی به پلی‌لاکتیک‌اسید افزایش ۴۶ درصدی در مدول‌الاستیسیته کششی مشاهده‌شد و افزودن اتصال‌دهنده MAPE باعث افزایش ۴۰ درصدی نسبت به ترکیب بدون اتصال‌دهنده شده است. مشاهده شد که مدول‌الاستسیته پلی‌اتیلن خالص کمتر از پلی‌لاکتیک‌اسید خالص بوده است ولی افزودن خاک اره به پلی‌اتیلن خالص باعث افزایش ۱۰۰ درصدی مدول‌الاستسیته کششی شده است. استفاده همزمان از پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌اتیلن در ترکیب چندسازه با خاک اره مدول‌الاستسیته بالاتری را نسبت به استفاده تکی از پلیمرها ایجاد کرده است و بالاترین میزان مدول‌الاستسیته در چندسازه MAPE/PE/PLA مشاهده‌شده است.

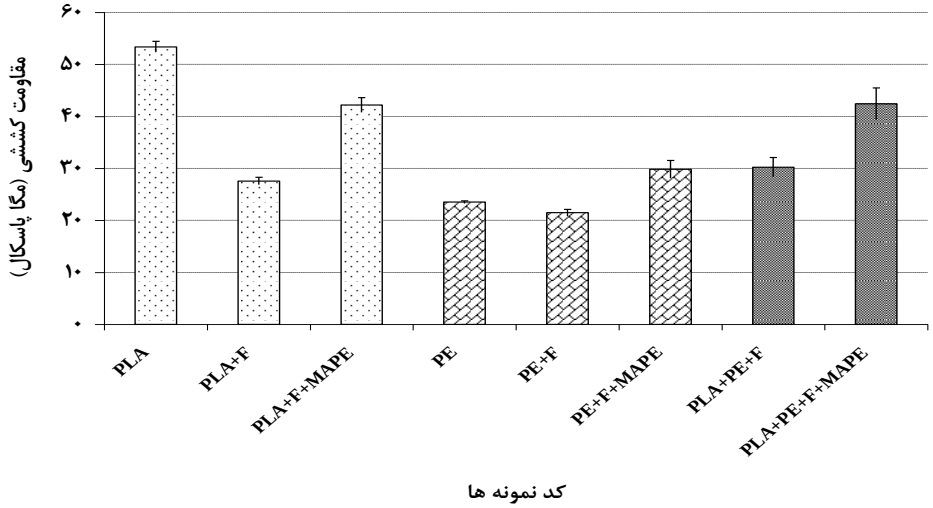


شکل ۱- مدول کششی چندسازه‌ها با ترکیبات مختلف ماتریس و الیاف

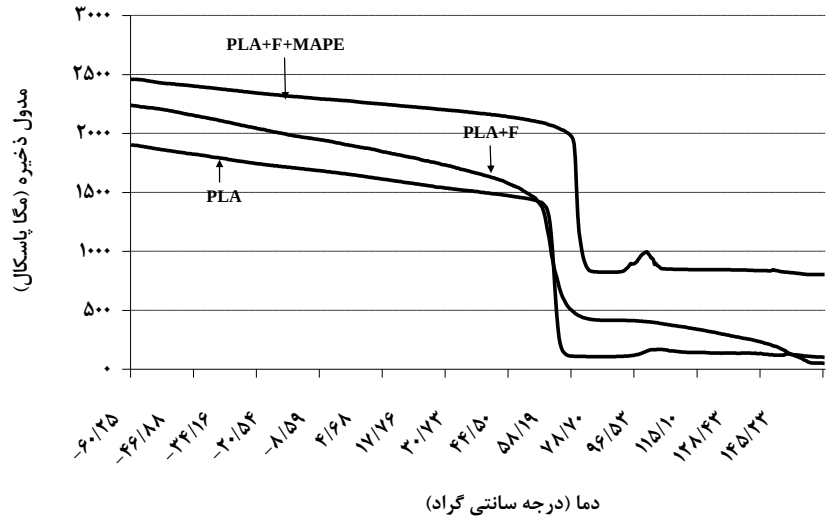
شکل ۲ نشان می‌دهد که افزودن خاک اره باعث کاهش در مقاومت‌کششی چندسازه‌های ساخته‌شده با ماتریس پلی‌لاکتیک‌اسید و همچنین پلی‌اتیلن شده است. البته قابل‌توجه است که این کاهش در چندسازه ساخته‌شده با پلی‌لاکتیک‌اسید بیشتر بوده است. البته استفاده همزمان از دو ماتریس مقاومت‌کششی بالاتری را نسبت به چندسازه‌های

ساخته‌شده با ماتریس تکی نشان داده و افزودن اتصال‌دهنده در تمامی چندسازه‌ها باعث بهبود در مقاومت‌کششی شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ۳ درصد MAPE باعث افزایش ۵۲ درصدی در مقاومت‌کششی چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید شده و به‌ترتیب باعث افزایش ۳۹ و ۴۰ درصدی در مقاومت‌کششی چندسازه پلی اتیلن/خاک اره و چندسازه پلی لاکتیک اسید/پلی اتیلن/خاک اره شده است.

به‌طوری‌که بالاترین میزان مقاومت کششی در چندسازه پلی لاکتیک اسید- پلی‌اتیلن و اتصال دهنده مشاهده شد.

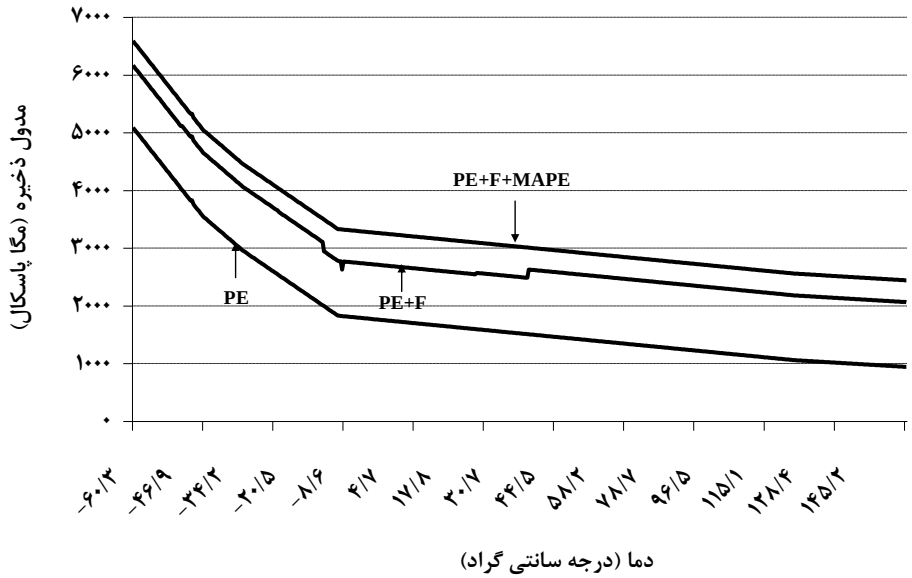


شکل ۲- مقاومت‌کششی چندسازه‌ها با ترکیبات مختلف ماتریس/الیاف



شکل ۳- مدول ذخیره چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید پرشده با الیاف طبیعی

شکل ۳ و ۴ نشان می‌دهد که پایین‌ترین میزان مدخل ذخیره در ماتریس خالص PLA و PE مشاهده‌شده است. به‌نحوی‌که افزودن ۳۰ درصد خاک اره به پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌اتیلن خالص مدول ذخیره چندسازه افزایش چشمگیری یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دمای منفی ۶۰ درجه سانتی‌گراد مدول ذخیره پلی‌لاکتیک‌اسید به میزان ۱۹۰۵ مگا پاسکال بوده و با افزایش ۳۰ درصد خاک اره به‌عنوان تقویت‌کننده ۲۲۳۷ مگا پاسکال (افزایش ۱۷ درصدی) و با افزودن ۳ درصد اتصال‌دهنده مدول ذخیره به ۲۴۵۷ مگا پاسکال (افزایش ۲۹ درصد نسبت به PLA خالص و ۱۰ درصد نسبت به چندسازه بدون اتصال‌دهنده) افزایش‌یافته است.

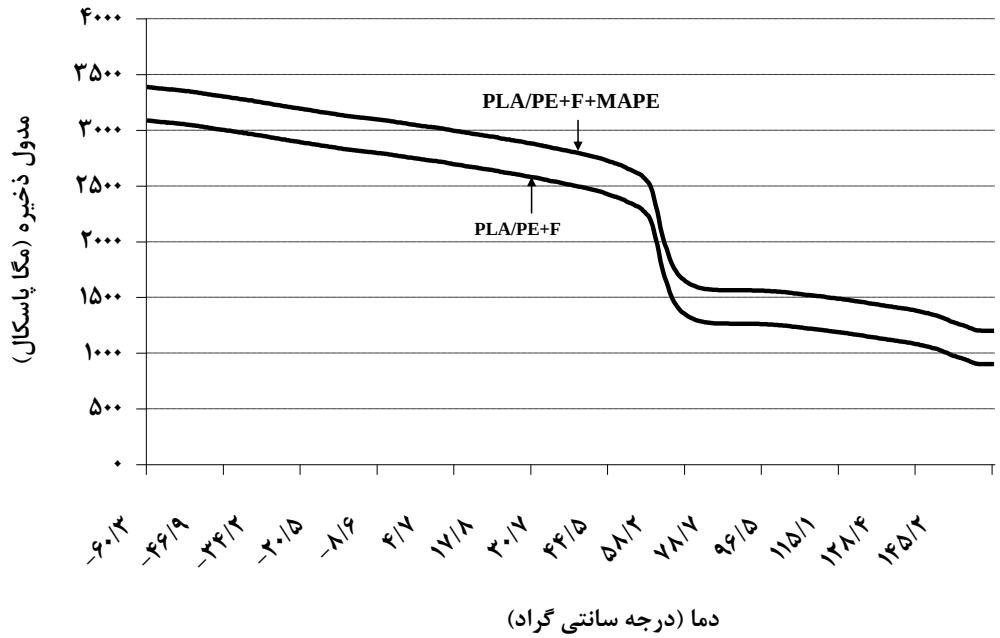


شکل ۴- مدول ذخیره چندسازه پلی‌اتیلن پرشده با الیاف طبیعی

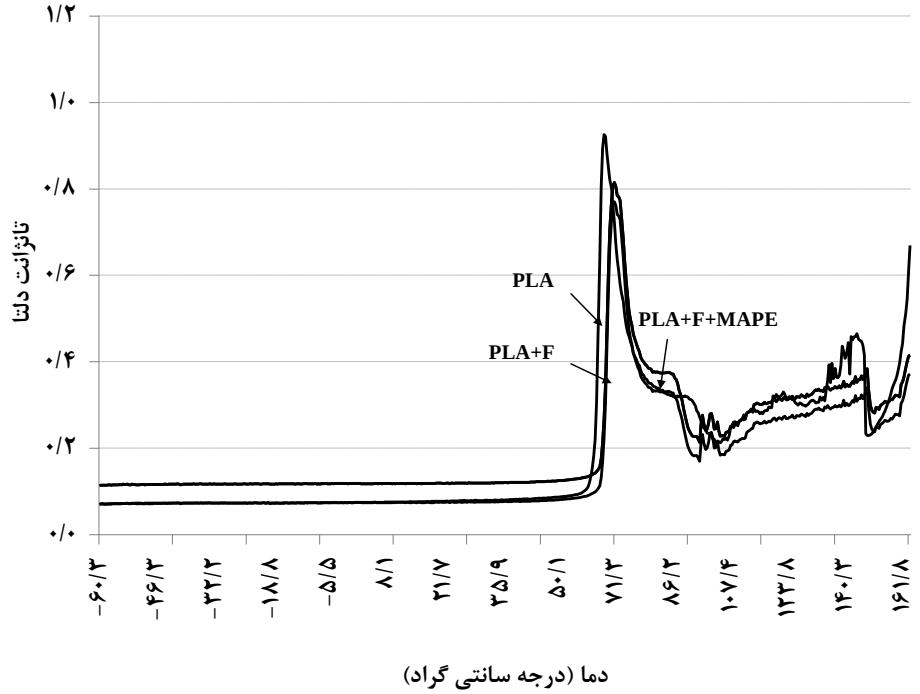
مدول ذخیره پلی‌اتیلن خالص در حدود ۵۰۸۹ مگا پاسکال بوده و با افزودن خاک اره و اتصال‌دهنده میزان مدول ذخیره به‌ترتیب به میزان ۶۱۶۱ و ۶۵۸۹ مگا پاسکال افزایش‌یافته است.

شکل ۵ مدول ذخیره چندسازه شامل اختلاط دو پلیمر و خاک اره را با و بدون اتصال‌دهنده نشان می‌دهد. مشاهده‌شده است که استفاده از دو نوع پلیمر PLA و PE میزان مدول ذخیره‌ای در بین دو میزان مشاهده‌شده در چندسازه ساخته‌شده با تک‌تک پلیمرها را نشان داده است و با افزودن ۳ درصد اتصال‌دهنده میزان بالاتری از مدول ذخیره مشاهده‌شده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از خاک اره در ساخت چندسازه باعث انتقال تنش مؤثرتری بین الیاف و ماتریس می‌شود.

شکلهای ۶، ۷ و ۸ نتایج بررسی تانژانت دلتا در ترکیبات متفاوت چندسازه را نشان می‌دهد. تانژانت دلتا را می‌توان تانژانت زاویه فازی تعریف کرد که اتلاف انرژی به انرژی قابل حصول را اندازه‌گیری کرده و نشان‌دهنده شاخص رفتار ویسکوالاستیک یک ماده است. در شکل ۶ به‌وضوح مشخص است که استفاده از الیاف در ماتریس پلی‌لاکتیک‌اسید باعث انتقال پیک به سمت دمای بالاتر شده است و استفاده از اتصال‌دهنده انتقال به دمای بالاتر را به‌صورت محسوس‌تر نشان داده است.



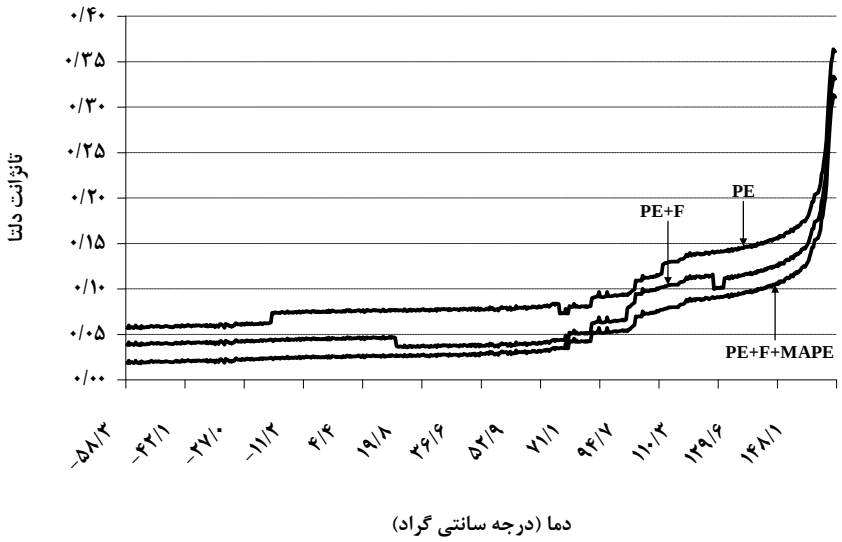
شکل ۵- مدول ذخیره چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/پلی‌اتیلن پرشده با الیاف طبیعی



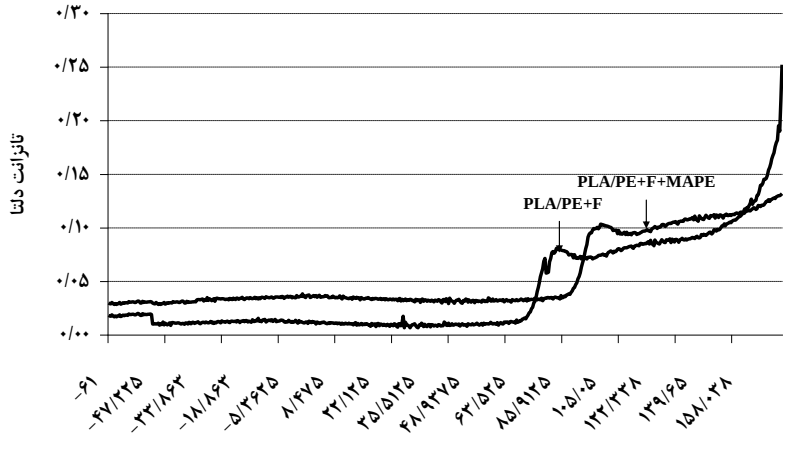
شکل ۶- تانژانت دلتا چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید پرشده با الیاف طبیعی

در شکل ۷ نیز مشاهده می‌شود که استفاده از الیاف طبیعی در ساخت چندسازه پلی‌اتیلن پیک‌های مربوطه را به سمت پایین سوق داده است که نشان‌دهنده محدودیت حرکت مولکول‌ها به‌دلیل حضور الیاف در ساختار چندسازه پلی‌اتیلن می‌باشد.

در شکل ۸ بکار بردن همزمان پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌اتیلن در ساختار چندسازه باعث دیده شدن پیک‌هایی مانند چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید شده است اما با این تفاوت که به‌کار بردن اتصال‌دهنده که باعث اتصال بهتر بین دو فاز و کاهش تحرک زنجیره شده است به سمت دمای بالاتر سوق یافته است ولی پیک آن نیز به سمت بالای نمودار حرکت کرده است.



شکل ۷- تانژانت دلتا چندسازه پلی‌اتیلن پرشده با الیاف طبیعی



شکل ۸- تانژانت دلتا چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/پلی‌اتیلن پرشده با الیاف طبیعی

بحث

ما در این پژوهش ویژگی‌های کششی و دینامیکی-مکانیکی چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/خاک اره، پلی‌اتیلن/ خاک اره و چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید/ پلی‌اتیلن/ خاک اره را با و بدون اتصال‌دهنده موردبررسی قرا دادیم.

در این تحقیق از ۳۰ درصد خاک اره به‌عنوان پرکننده و ۳ درصد اتصال‌دهنده انیدریدمالئیک پیوند خورده با پلی‌اتیلن (MAPE) استفاده‌شده است. از پلی‌لاکتیک‌اسید به‌عنوان پلیمر زیست تجزیه‌پذیر و پلی‌اتیلن به‌عنوان پلیمر سنتز شده از نفت خام به‌عنوان ماتریس استفاده‌شده است و سعی بر نشان دادن خواص مورد مقایسه پلی‌لاکتیک‌اسید با پلی‌اتیلن بوده است که شاید استفاده از این پلیمر زیست تجزیه‌پذیر در استفاده‌های صنعتی باعث کمک به محیط‌زیست و تولید محصولی باکیفیت‌تر شود.

بررسی مدول‌الاستسیته کششی نشان داد که به‌کارگیری خاک اره باعث افزایش قابل‌توجهی از سفتی در تمامی چندسازه‌ها شده است. این موضوع نشان‌دهنده انتقال تنش از ماتریس پلیمری به الیاف سفت‌تر است (Pan *et al.*, 2007). استفاده همزمان از پلی‌اتیلن و پلی‌لاکتیک‌اسید باعث مشاهده بالاترین مدول کششی در بین چندسازه‌ها شده است؛ بنابراین اختلاط دو پلیمر با همدیگر توانسته‌اند در انتقال تنش به‌صورت مؤثرتری ایفای نقش کرده و چندسازه سفت‌تری را ارائه دهند.

افزودن خاک اره به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی به هر دو پلیمر PE و PLA باعث کاهش در مقاومت‌کششی چندسازه شده است؛ این موضوع را می‌توان به چسبندگی ضعیف بین الیاف و ماتریس نسبت داد که منجر به فعل و انفعالات ضعیف بین سطح مشترک و عدم اتصال بین ماتریس و الیاف در طی تغییر شکل کششی شده است. عدم اتصال موجب شکل‌گیری فضاهای خالی می‌شود، به‌طوری‌که مقاومت‌کششی کمتری به علت اینکه ترک‌ها به‌راحتی می‌توانند از طریق مناطق خالی حفره‌ها ایجاد شوند را در پی خواهد داشت (Bleach *et al.*, 2002). درصورتی‌که بکار بردن همزمان دو پلیمر باعث افزایش در مقاومت‌کششی چندسازه شده است که با توجه به دلایل فوق می‌توان بیان کرد که وجود دو پلیمر با همدیگر در ساختار چندسازه باعث کاهش ایجاد فضای خالی در ساختار شده و درنهایت مقاومت‌کششی بالاتری مشاهده‌شده است. بکار بردن اتصال‌دهنده در هر سه ترکیب باعث بهبود در مقاومت‌کششی شده است، زیرا اتصال‌دهنده با بهبود ایجاد سطح مشترک قوی‌تر باعث ایجاد اتصال قوی‌تر بین پلیمر و الیاف شده است.

ویژگی دینامیکی-مکانیکی به ویژگی‌های فیزیکی یا آرایش ساختاری فازها از قبیل سطح مشترک، ریخت‌شناسی و ذات اجزای تشکیل‌دهنده وابسته است (Sreekala & Thomas, 2005; Jawaid *et al.*, 2011). محققان توصیف کردند که حضور سازگار کننده، افزودنی‌های از قبیل پرکننده، میزان الیاف، جهت‌گیری الیاف و طریقه آزمون کنترل‌کننده ویژگی‌های مکانیکی -دینامیکی مواد چندسازه است (Jacob *et al.*, 2006).

در بررسی مدول ذخیره چندسازه‌های ساخته‌شده مشاهده شد که با افزایش دما، مدول ذخیره کاهش یافت. Liang و همکاران (۲۰۱۰) و Huda و همکاران (۲۰۰۶) عنوان کردند که کاهش مدول ذخیره با افزایش یافتن دما به نرم‌شدگی ماتریس مرتبط است.

افزودن ۳۰ درصد خاک اره به PLA و PE باعث افزایش در مدول ذخیره چندسازه شده که می‌توان این موضوع را به خاصیت تقویت‌کنندگی الیاف طبیعی نسبت داد که نشان‌دهنده انتقال مؤثر تنش از ماتریس به الیاف طبیعی می‌باشد (Rana *et al.*,1996). George و همکاران (۱۹۹۶) مشاهده کردند که با مشارکت الیاف طبیعی (جوت) در ماتریس خالص پلی‌اتیلن با دانسیته سنگین، مدول ذخیره چندسازه افزایش‌یافته است. آنان این موضوع را به علت افزایش در سفتی ماتریس با اثر تقویت‌کنندگی الیاف مرتبط می‌دانند که منجر به انتقال تنش بیشتر در سطح مشترک می‌شود (George *et al.*,1996). در تمامی چندسازه‌های ساخته‌شده مشخص است که افزودن MAPE تأثیر مثبت و فزاینده‌ای بر روی مدول ذخیره داشته است. Mohanty و

همکاران (۲۰۰۶) افزایش در مدول ذخیره را با افزایش MAPE به بهبود چسبندگی سطح مشترک بین الیاف و ماتریس نسبت دادند.

مدول ذخیره در دمای بالاتر از ۸۰ درجه سانتی‌گراد اندکی افزایش‌یافته که مربوط به بلورینگی سرد در PLA است (Song *et al.*, 2013; Oksman *et al.*, 2003) که این موضوع در پلی‌اتیلن و ترکیب PLA و PE مشاهده نشده است.

تانژانت دلتا به‌عنوان یک عدد بدون بعد بیان می‌شود که به‌عنوان فاکتور میرایی مکانیکی نسبت اتلاف به ذخیره مدول تعریف می‌شود (Tan δ= E´´/E´). استفاده از خاک اره به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی در ساخت چندسازه پلی‌لاکتیک‌اسید و همچنین پلی‌اتیلن باعث انتقال پیک به سمت پایین و دمای بالاتر شده است و به‌کارگیری MAPE انتقال به دمای بالاتر را به‌صورت محسوس‌تر نشان داده است. انتقال به دمای بالاتر و همچنین کاهش ارتفاع پیک در بررسی تانژانت دلتا معمولاً نشان‌دهنده محدودیت حرکت مولکول‌ها به‌دلیل بهبود یافتن واکنش الیاف در پلیمر PLA می‌باشد (Guo & Ashida, 1993).

در بررسی‌های انجام‌شده به‌وسیله Pothan و همکاران (۲۰۰۳) و Taib و همکاران (۲۰۱۰) عنوان‌شده است که وجود الیاف سلولزی باعث جلوگیری از تحرک زنجیره پلیمری شده، درنتیجه تیزی و ارتفاع پیک tan δ را کاهش داده و پهنای پیک افزایش خواهد یافت (Taib *et al.*, 2010; Pothan *et al.*, 2003). همچنین Huda و همکاران (۲۰۰۵b) عنوان کردند که کاهش ارتفاع پیک tan δ بیانگر محدودیت حرکت زنجیره‌ها است که در PLA خالص وجود ندارد.

کاهش در پیک تانژانت دلتا با استفاده از الیاف و MAPE به علت این است که الیاف وسعت بیشتری از تنش را منتقل کرده و تنها بخش کوچکی از کرنش در سطح مشترک را سبب می‌شوند (Mohantry*et al.*, 2006)؛ بنابراین اتلاف انرژی در ماتریس رخ‌داده و در سطح مشترک با سطح مشترک قوی‌تری با اتلاف انرژی کمتر مشخص می‌شود (Felix & Gatenholm, 1991). همچنین افت در پیک با استفاده از الیاف و اتصال‌دهنده با شدت بیشتر نشان‌دهنده این است که پیوندهای سطح مشترک ضعیف بین الیاف طبیعی و ماتریس گرایش به پراکندگی بیشتر انرژی را باعث می‌شوند (Ashida & Noguchi, 1983).

تیزی سقوط رخ‌داده شده در تمامی چندسازه‌های موردبررسی بین دمای ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد رخ‌داده که با میزان دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) مرتبط است. میزان Tg به‌عنوان پیکی در منحنی مدول ذخیره در آزمون دینامیکی مکانیکی به‌دست می‌آید.

با حضور الیاف میزان Tg در ماتریس PLA افزایش‌یافته است. میزان Tg در PLA خالص و استفاده از ۳۰ درصد خاک اره در حدود ۵۷ درجه سانتی‌گراد رخ‌داده که استفاده از ۳ درصد اتصال‌دهنده این دما را به ۶۶/۳ درجه سانتی‌گراد رسانده است. دمای انتقال شیشه‌ای، محدوده دمایی است که سفتی مواد را نشان می‌دهد. این ناحیه ابتدای کاهش در مدول ذخیره را نشان می‌دهد که به‌اتفاق آن پیک تانژانت دلتا به وجود می‌آید. تغییر میزان Tg به دمای بالاتر را می‌توان به کاهش تحرک زنجیره ماتریس با افزودن الیاف نسبت داد. به‌طوری‌که بالاتر از میزان Tg برای PLA خالص، مدول ذخیره چندسازه سقوط ناگهانی کرده، زیرا مولکول‌های آمورف و شیشه‌ای به سمت فاز لاستیک رفتند (Rana *et al.*, 1996). سقوط تیزی در دمای بالاتر در چندسازه نشان‌دهنده سختی این مواد با استفاده از الیاف طبیعی است. کاهش در تحرک زنجیره پلیمرها را می‌توان در ناحیه ویسکوز هم موردبررسی قرارداد که PLA خالص کمترین میزان مدول را داشته که نشان‌دهنده ویسکوزیته بالای این ماده است اما در همین ناحیه افزودن خاک اره باعث بالا رفتن مدول شده و حالت ویسکوزیته کمتری را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کاهش تحرک زنجیره‌هاست. بررسی سایر تحقیقات در این حوزه نشان داد که دمای انتقال شیشه ای با پلیمر PE تغییرات چندانی نشان نداده است (Mohanty *et al.*, 2006).

نتیجه‌گیری

– افزودن خاک اره به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی باعث افزایش در مدول‌الاستسیته کششی چندسازه ساخته‌شده با پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌اتیلن شده است.

– استفاده از خاک اره باعث کاهش در مقاومت‌کششی چندسازه‌های ساخته‌شده نسبت به پلیمرهای خالص‌شده است ولی استفاده همزمان از دو پلیمر و خاک اره باعث بهبود و افزایش در مقاومت‌کششی نسبت به سایر چندسازه-ها شده است.

– استفاده از اتصال‌دهنده MAPE به علت خاصیت تقویت‌کنندگی برهم‌کنش بین دو فاز ماتریس و پرکننده باعث بهبود در ویژگی‌های کششی نسبت به چندسازه‌های بدون اتصال‌دهنده شده است.

– در بررسی مدول ذخیره و تانژانت دلتا چندسازه‌های ساخته‌شده با PLA، PE و خاک اره حاصل از کاج تدا و استفاده از اتصال‌دهنده MAPE مشخص گردیده است که:

– با افزایش دما از ۶۰- تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد مدول ذخیره چندسازه‌های ساخته‌شده و پلیمرهای خالص کاهش‌یافته است.

– با افزودن الیاف به پلیمرهای پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌اتیلن، مدول ذخیره چندسازه‌ها افزایش خوبی را نشان داده است.

– استفاده از MAPE به علت افزایش سازگاری بین پلیمر و خاک اره باعث افزایش بیشتری در سفتی چندسازه‌ها شده است.

– افزودن الیاف به پلیمرها باعث افزایش در دمای انتقال شیشه‌ای چندسازه‌ها به سمت دماهای بالاتر شده است.

– با افزودن الیاف و اتصال‌دهنده به ساختار چندسازه‌ها مشاهده شد که پیک‌های تانژانت دلتا به سمت دماهای بالاتر و افت پیک تغییر کردند. با افزودن اتصال‌دهنده روند مذکور شدت بیشتری را نشان داده است و مشخص گردید که افزودن الیاف و به‌ویژه اتصال‌دهنده تحرک‌پذیری زنجیره مولکولی را کاهش داده است.

منابع مورد استفاده

-Ashida, M. and Noguchi T., 1984. Dynamic module for short fibre-CRcomposites. Journal of Applied Polymer Science, 29 (2):661–70.

-Bledzki, A.K. and Jaszkiewicz, A., 2010. Mechanical performance of biocomposites based on PLA and PHBV reinforced with natural fibres – A comparative study to PP. Composites Science and Technology, 70 (10): 1687–1696.

-Boubekeur, B., Belhaneche- Bensemra, N. and Massardier, V., 2015, Valorization of waste jute fibers in developing low-density polyethylene /poly lactic acid bio-based composites. Journal of Reinforced Plasticsand Composites, 38(4):649-661.

-Bleach, N.C., Nazhat, S.N, Tanner, K.E., Kellomaki, M. and Törmälä P., 2002. Effect of filler content on mechanical and dynamic mechanical properties of particulate biphasic calcium phosphate–polylactide composites. Biomaterials, 23(7):1579–85.

-Felix, J.M, and Gatenholm, P., 1991. The nature of adhesion in composites ofmodified cellulose fibres& polypropylene. Journal of Applied Polymer Science, 42 (3):609–620.

-George, J., Bhagawan, S.S. and Thomas, S., 1996. Therogravimetric & dynamic mechanical thermal analysis of pineapple fibre reinforced polyethylene composites. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 47 (4): 1121–40.

-Guo, W. and Ashida, M., 1993. Dynamic viscoelasticities for short fiber-thermoplastic elastomer composites. Journal of Applied Polymer Science, 50 (8): 1435-1443

-Graupner N., 2008, Application of lignin as natural adhesionpromoter in cotton fiber-reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites. Journal of Materials Science; 43 (15): 5222–5229.

-Huda, M., Mohanty, A. and Drzal, L., (2005b). GreenComposites from Recycled Cellulose and Poly (lactic acid):Physico-mechanical and Morphological PropertiesEvaluation. Journal of Material Science, 40 (16): 4221 –4229.

-Huda, M.S., Drzal, L,T. and Misra, M., 2005. A Study on Biocomposites from Recycled Newspaper Fiber and Poly(lactic acid). Journal of Industrial&Engineering Chemistry, 44 (15): 5593-5601.

-Huda, M. S., Drzal, L. T., Mohanty, A. K. and Misra, M., 2006. Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: a comparative study. Composites Science Technology, 66 (11-12):1813–1824.

-Huda, M.S., Drzal, L.T., Mohanty, A.K. and Misra, M., 2008. Effect of fiber surface-treatments on the

Science and Technology, 63 (2): 283-293.
-Rana, A. K., Mitra, B. C. and Banerjee, A. N., 1999. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: dynamic mechanical study. Journal of Applied Polymer Science, 71(4):531–539.
-Romanzini, D., Lavoratti, A., Ornaghi, H.L., Amico, S.C. and Zattera, A.J., 2013. Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ ramie polymer composites. Materials & Design, 47 (3) 9–15.
-Saba, N., Paridah, M.T. and Jawaid, M., 2015. Mechanical properties of kenaffibre reinforced polymer composite: a review, Construction and Building Materials, 76 (1) 87–96.
-Saba, N., Jawaid M., Alothman, O.Y. and Paridah, M.T., 2016. A review on dynamic mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites. Construction and Building Materials, 106 (2):149–159.
-Sreekala, M.S. and Thomas, S.G.G., 2005. Dynamic mechanical properties of oil palm fiber/ phenol formaldehyde and oil palm fiber/glass hybrid phenol formaldehyde composites. Polymer Composites, 26 (3): 388–400
-Song, Y., Liu, J., Chen, S., Zheng, Y., Ruan, S. and Bin, Y., 2013. Mechanical Properties of Poly (Lactic Acid)/ Hemp Fiber Composites Prepared with a Novel Method. Journal of Polymers and the Environment, 21 (4): 1117-1127
-Sis, A.L.M., Ibrahim, N.A. and Yunus, W.M., 2013. Effect of (3- aminopropyl) trimethoxysilane on mechanical properties of PLA/PBAT blend reinforced kenaf fiber. Iranian Polymer Journal, 22 (2): 101–108.
-Taib, R.M., Ramarad, S., Ishak, Z.A.M. and Todo, M., 2010. Properties of kenaf fiber/polylactic acid biocomposites plasticized with polyethylene glycol. Polymer Composites, 31(7):1213–1222.
-Wambua, P., Iven, J. and Verpoest, I., 2003. Natural Fibers: Can They Replace Glass in Fibers Reinforced Plastics, Composites Science and Technology, 63(3): 1259-1264.
-Yu, T., Jiang, N. and Li, Y., 2014. Study on short ramie fiber/poly (lactic acid) composites compatibilized by maleic anhydride. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 64:139–146.

properties of laminated bio composites from poly(lactic acid) (PLA) and kenaf fibers. Composites Science Technology, 68 (2):424–432.
-Jawaid, M. and Khalil, H.P.S.A., 2011. Effect of layering pattern on the dynamic mechanical properties and thermal degradation of oil palm-jute fibers reinforced epoxy hybrid composite, BioResources 6 (3) 2309–2322.
-Liang, Z., Pan, P., Zhu, B., Dong, T. and Inoue, Y., 2010. Mechanical and thermal properties ofpoly (butylene succinate)/plant fiber biodegradable composite. Journal of Applied Polymer Science, 115(6): 3559–3567.
-Ibrahim, N. A., Yunus, W., Othman, M., Abdan, K. and Hadithon, K. A., 2010. Poly (Lactic Acid) (PLA)-reinforced KenafBast Fiber Composites: The Effect of Triacetin, Journal of Reinforced plastics and composites, 29 (7): 1099-1111
-Jacob, M., Francis, B., Thomas, S. and Varughese, K.T., 2006 Dynamical mechanical analysis of sisal/oil palm hybrid fiber-reinforced natural rubber composites, Polymer Composites, 27 (6) 671–680.
-Mohanty, S., Verma, S.K. and Nayak, S.K., 2006. Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites. Composites Science and Technology, 66(3-4) 538–547.
-Nayak, S. K., Mohanty, S. and Samal, S. K., 2009. Influence of short bamboo/glass fiber on the thermal, dynamic mechanical and rheological properties of polypropylene hybrid composites. Materials Science and Engineering: A, 523 (1-2): 32–38.
-Ochi, S., 2008. Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/ PLA composites. Mechanics of Materials, 40(4–5): 446–452
-Oksman, K., Skrifvars, M. and Selin, J. F., 2003. Natural fibers as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. Composites Science Technology, 63(9):1317–1324.
-Pan, P., Zhu, B., Kai, W., Serizawa, S., Iji, M. and Inoue, Y., 2007. Crystallization behavior and mechanical properties of bio-based green composites based on poly (L-lactide) and kenaf fiber. Journal of Applied Polymer Science, 105(3):1511–20.
-Pothan, L. A., Oommen, Z. and Thomas, S., 2003. Dynamic mechanical analysis of banana fiber reinforced polyester composites. Composites

Comparison of tensile properties and mechanical-dynamic analysis of poly-lactic acid / poly-ethylene reinforced with natural fibers

H. Aibaghi esfahani[1*], M. Kalagar[2] and H. Sepahri Rad[3]

1*-Corresponding Author, Faculty Member, Department of Architecture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran, Email: Aibaghi.esfahani@gmail.com
2- Ph.D., wood and paper industry, research and innovation center of ETKA organization, Tehran, Iran
3- Faculty Member, Department of Architecture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

Received: Jan., 2018 Accepted: April, 2018

Abstract

In this study, the tensile and dynamic-mechanical properties of composites made using poly-lactic acid polymer (PLA) and high density polyethylene (HDPE) as matrix and sawdust (30%) as reinforcement were investigated. Maleic anhydride bonded with polyethylene (MAPE) (30%) was used to enhance the bonding. The addition of sawdust increased the stiffness of composites while the use of this material reduced the tensile strength of composites. The highest tensile properties (elastic modulus and tensile strength) were related to poly lactic acid/ polyethylene/ sawdust/ coupling agent composites. The addition of natural fibers to both matrices (PLA and MAPE) increased the composite storage modulus compared to pure polymers, while the modulus of storage in pure polyethylene and its composite was higher. Simultaneous use of two polymers at an equal ratio (33.5% by weight) and saw dust in the composite have generated the stiffness between the composites made with single polymers. The use of natural fibers reduced the mobility of the molecular chain and shifted the temperature of the composite to higher temperatures, which eventually moved the corresponding corners to the right and lower. However, in some cases, the transmission of pixels has not followed the normal process. The addition of the coupling agent (MAPE) improved bonding between two phases in all composites and ultimately increased stiffness.

Keywords: Composites, sawdust, poly lactic acid, polyethylene, tensile properties, dynamic-mechanical analysis.