

## اثر پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده روی خواص فیزیکی و حرارتی چندسازه پلی لاکتیک اسید-پوسته شالی

یاشار عین‌اللهی<sup>۱</sup>، امیر هومن حمصی<sup>۲\*</sup>، حبیب‌الله خادمی‌اسلام<sup>۳</sup>، اسماعیل قاسمی<sup>۴</sup> و محمد طلایی‌پور<sup>۵</sup>

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

۲- \*استاد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

پست الکترونیک: h\_hemmasi@yahoo.com

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

۴- استاد، گروه فرایند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشگاه فرایند، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۰

### چکیده

با توجه به افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از تجمع ضایعات و زباله‌های حاوی پلیمرهای نفتی پایدار، جایگزین نمودن این پلیمرها با استفاده از پلیمرهای زیستی و اصلاح مشکلات و کمبودهای آنها در فرایند تولید در محصولات نهایی امری ضروریست. در این پژوهش به بررسی امکان تولید چندسازه پلی لاکتیک اسید-پوسته شالی با ویژگی‌های قابل قبول و همچنین تأثیر استفاده از پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده آلومینیوم تری‌هیدرات (ATH) و هیدروکسید منیزیم (MDH) بر روی خواص فیزیکی و حرارتی چندسازه تولیدی پرداخته شده است. نتایج نشان داد که دانسیته چندسازه پلی لاکتیک اسید-پوسته شالی نسبت به چندسازه‌های ساخته شده با پلیمرهای پایه نفتی پلی پروپیلن (PP) و پلی اتیلن دانسیته بالا (HDPE) بیشتر بود و افزودن پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده سبب افزایش دانسیته چندسازه شد. همچنین افزودن پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده سبب کاهش میزان جذب آب و واکنش‌پذیری آنها گردید، به طوری که از این لحاظ با نمونه‌های حاوی پلیمرهای پایه نفتی قابل مقایسه بود. نتایج آنالیز وزن‌سنجی حرارتی (TGA) نشان داد که افزودن پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده سبب کاهش دما در محل پیک‌های افت وزنی چندسازه و همچنین ملایم‌تر شدن شیب افت وزنی نسبت به افزایش دما شده است.

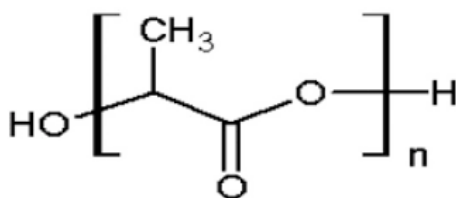
واژه‌های کلیدی: چندسازه، پلی لاکتیک اسید، پوسته شالی، آلومینیوم تری‌هیدرات (ATH)، هیدروکسید منیزیم (MDH).

### مقدمه

در سال‌های اخیر، جایگزینی و علاقه به استفاده از شیمی سبز، مواد سازگار با محیط‌زیست و اهمیت موضوع اکولوژی، همچنین کاهش استفاده از مواد و ضایعات پلاستیکی بر پایه مشتقات نفتی و مواد غیرقابل تجزیه توسعه

یافته است (Fekete et al., 2018; Suryanegara et al., 2017; Gonçalves et al., 2017). در واقع، محیط‌زیست نیازمند جایگزینی وسیع پلیمرهای مشتقات نفتی توسط پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر در ساخت محصولات مورد استفاده در فضاهای سرپوشیده می‌باشد (Basu et al.,

ساخت فیلم‌های نازک می‌گردد. اخیراً افزودن پلاستی‌سایزرها برای بهبود دادن ویژگی شکنندگی و تردی و افزایش طول پارگی یا الاستیسته PLA بررسی شده است. محققان قبلی نشان داده‌اند که افزودن پلاستی‌سایزهایی مانند پلی‌اتیلن گلاکول (PEG)، گلوکومونواسترها و استرهای اسیدی نیمه چرب بر تردی و شکنندگی چیره شده و کاربردهای PLA را توسعه می‌بخشد ( Jacobsen & Fritz, 1999; Baiardo *et al.*, 2003; Kulinski & Piorkowska, 2005).



شکل ۱- ساختار شیمیایی پلی‌لاکتیک اسید

قابلیت اشتعال و سوختن چندسازه‌ها نه تنها از نظر تئوری بلکه از جنبه عملی و کاربردی امری حائز اهمیت می‌باشد؛ بنابراین بهبود خواص کندسوزی چندسازه‌هایی که از ترکیبات سوختنی تشکیل شده‌اند، اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به نقش اساسی و رو به توسعه پلیمرها در زندگی امروزه بشر، مشکلات زیست‌محیطی، خواص فیزیکی و مکانیکی، مسائل فرایندی و عملکرد نامطلوب در برابر اشتعال به‌عنوان موانع اصلی در استفاده از آنها مطرح می‌باشد (Kord & Roohani, 2016). برای بهبود خواص مربوط به اشتعال و سوختن چندسازه‌های پلیمری، استعمال عوامل کندسوزکننده رایجی مانند آمونیوم پلی‌فسفات (APP)، پلی‌فسفات ملامین (MPP)، تری هیدرات آلومینیوم (ATH) و دی هیدروکسید منیزیم (MDH) توسعه یافته است (González *et al.*, 2012; Zaikov & Lomakin, 2002). در میان این تنوع گوناگون از کندسوزکننده‌ها، هیدروکسیدهای فلزی مانند دی هیدروکسید منیزیم و تری هیدرات آلومینیوم به دلیل ایجاد خاصیت کندسوزکنندگی

این مواد جایگزین که از منابعی تحت عنوان زیست‌توده تولید می‌شوند، به تدریج جایگزین پلاستیک‌های سنتی مبتنی بر مشتقات نفتی می‌گردند (Albertsson & Karlsson, 1994 Reddy *et al.*, 2013; Rhim *et al.*, 2013). در سال ۲۰۱۰، تولید مواد پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر در سراسر جهان تقریباً ۳۰۰،۰۰۰ تن گزارش شده است که کمتر از ۰/۲ درصد از ۱۸۱ میلیون تن کل پلاستیک تولیدی دنیا را شامل می‌شود (Madhavan *et al.*, 2010).

پلی‌لاکتیک اسید (PLA) یک پلی‌استر گرمانرم آلیفاتیک خطی است که می‌تواند به‌طور ۱۰۰ درصد از منابع تجدیدپذیری مانند ذرت استخراج شود. البته کاربرد آن در گذشته محدود به موارد اندکی مانند نخ بخیه در پزشکی بوده است، ولی امروزه این پلیمر به‌طور گسترده در بسته‌بندی، نساجی و تولید ظروف پلاستیکی کاربرد دارد. پلی‌لاکتیک اسید شباهت زیادی به پلاستیک دارد. این پلیمر گرمانرم و زیست‌تخریب‌پذیر، ترکیبی مشتق شده از منابع تجدیدشدنی از گیاهانی مانند ذرت و چغندر قند می‌باشد. این پلیمر کاربردهای گوناگونی در صنایع منسوجات پزشکی و به‌ویژه بسته‌بندی و ظروف یکبار مصرف دارد (Kord & Rohani, 2016). پلی‌لاکتیک اسید به خانواده پلی‌استرهای آلیفاتیک تعلق داشته که معمولاً از آلفا هیدروکسی اسیدها ساخته می‌شوند. این پلیمر تحت شرایط خاص خود در دستگاه‌های استاندارد تزریق پلاستیک قابل قالب‌گیری است. PLA از معدود پلیمرهایی است که می‌توان ساختار مولکولی آن را با نسبت ایزومرهای L و D کنترل کرد تا پلیمری با درجه کریستالینته بالا یا بی‌شکل با وزن مولکولی زیاد به‌دست آید. PLA به‌عنوان ماده‌ای ایمن برای مواد غذایی شناخته شده است و می‌تواند در تماس با غذا قرار گیرد. این پلیمر بدون احتیاج به وجود کاتالیزور با آب‌کافت پیوندهای استری قابل تجزیه است و سرعت تجزیه شدن آن به شکل و اندازه پلیمری، شرایط تولید، نسبت ایزومرها، دما و شرایط آب‌کافت بستگی دارد (Thomas *et al.*, 2013).

بهبود خاصیت انعطاف‌پذیری PLA سبب توسعه کاربرد آن به‌عنوان ماده‌ای زیست‌تخریب‌پذیر در صنایع بسته‌بندی و

& Murillo, 2018; Basu *et al.*, 2016; Nourbakhsh *et al.*, 2014).

چندسازه چوب پلاستیک (WPC) یک نیمه بیوکمپوزیت است که معمولاً از یک پلیمر مبتنی بر مشتقات نفتی غیرقابل تجزیه به عنوان ماتریس و یک ماده لیگنوسلولزی زیست تخریب پذیر به عنوان پرکننده تشکیل شده است (Mirmehdi *et al.*, 2014). در واقع، استفاده از بیوپلیمرها به عنوان ماتریس در WPC، آن را به بیوکمپوزیت کاملاً زیست تخریب پذیر تبدیل می کند. به طور متداول، چوب به عنوان منبع اصلی در تولید WPC است، با این حال می توان آن را با منابع دیگر لیگنوسلولزی مانند مواد زاید قابل بازیافت و پسماندهای کشاورزی جایگزین نمود (Fekete *et al.*, 2018; Mirmehdi *et al.*, 2014; Nourbakhsh *et al.*, 2014; Lomelí-Ramírez *et al.*, 2014). در مناطقی با مزارع کشاورزی وسیع پیش بینی می شود که سطح بالایی از تولیدات پسماندهای کشاورزی وجود داشته باشد که می تواند یک منبع بالقوه لیگنوسلولزی در تولید WPC باشد. در واقع استفاده از پسماندهای کشاورزی در صنایع لیگنوسلولزی یک راهکار مؤثر برای ایجاد توسعه پایدار در مناطقی با مزارع وسیع کشاورزی است (Mirmehdi *et al.*, 2014; Zeinaly *et al.*, 2016).

پوسته شالی یک ماده کشاورزی است که در طی فراوری برنج به مقدار زیادی تولید می شود. این محصول جانبی بی ارزش در کارخانه های تولید برنج ایجاد شده و کاربرد قابل توجهی ندارد (Torgal *et al.*, 2015; Letcher, 2012; Siddique & Cachim, 2018). پوسته برنج حاوی حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد کربن آلی با ساختار فیبر مبتنی بر سلولز است. علاوه بر این، تقریباً از ۴۰ درصد سلولز، ۳۰ درصد لیگنین و ۲۰ درصد سیلیس به شکل آمورف تشکیل شده است (Chindaprasirt *et al.*, 2007). سیلیس پوسته برنج می تواند خاصیت کندسوزی چندسازه را بهبود بخشد. بنابراین، داشتن درصد بالای سیلیس باعث می شود که پوسته برنج برای استفاده به عنوان عامل کاهنده دمای اشتعال مناسب باشد (Boateng & Skeete, 1990; Chaudhary &

بالا در چندسازه های چوب-پلاستیک و بدون تأثیر کاهشی محسوس در خواص مکانیکی آنها، برای این منظور مناسب تر می باشند. هردوی این مواد (MDH و ATH) از طریق آزادسازی آب ساختاری در نتیجه فرایند شکست حرارتی سبب کاهش دمای حریق می شوند (Arao *et al.*, 2009; Suppakarn & Jarukumjorn, 2014). همچنین استفاده از نانو پرکننده هایی مانند نانورس، نانولوله های کربنی و نانو اکسیدهای فلزی می توانند نقش مهمی در بهبود خاصیت کندسوزی نانو چندسازه حاصل داشته باشند (Kashiwaga *et al.*, 2004; Kiliaris, 2010; Laoutid *et al.*, 2010; Qinet *et al.*, 2009).

از سوی دیگر، به دلیل عدم قابلیت بازیافت ضایعات پلیمرهای نفتی، تمایل به گسترش استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر افزایش یافته است. این موضوع برای کاربردهایی که طول عمر مصرف کوتاهی دارند، از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Gross & Kalra, 2002; Thompson *et al.*, 2009). اما عملکرد نسبی ضعیف پلیمرهای زیست تخریب پذیر از جمله مهمترین موانع به کارگیری آنهاست. به عنوان مثال، PLA به عنوان پلیمری زیست تخریب پذیر از نظر پایداری حرارتی، ویژگی های فیزیکی و مکانیکی، جذب آب، نفوذناپذیری در برابر عبور گاز، مقاومت در برابر حلال و مقاومت در برابر آتش دارای محدودیت هایی است (Garlotta, 2001; Rhim *et al.*, 2009). به منظور غلبه بر این مشکلات می توان به راهکارهایی همانند استفاده از پلاستی سائزرها، ترکیب با سایر پلیمرها، بهینه سازی فرایند و استفاده از افزودنی های مناسب اشاره کرد (Kord & Roohani, 2016).

اخیراً، جایگزینی بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر مانند پلیمرهای گرمنازرم نشاسته، پلی لاکتیک اسید، استات سلولز، پلی کاپرولاکتون و غیره، برای تولید چندسازه های زیست تخریب پذیر و سازگار با محیط زیست، با پلیمرهای مبتنی بر مشتقات نفتی غیرقابل تجزیه مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن و پلی وینیل کلراید توسط بسیاری از محققان مورد استقبال قرار گرفته است (Klysov, 2007; Guzmán &

از کارخانه‌های برنج گیلان تهیه گردید و توسط آسیاب آزمایشگاهی آرد شد و توسط الک‌های مش ۴۰ و ۶۰ مورد غربالگری قرار گرفت. ذرات باقیمانده روی الک مش ۶۰ جمع‌آوری و در دمای  $2 \pm 103$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند.

پرکننده‌های معدنی کندسوز شامل: ۱- پرکننده هیدروکسید منیزیم (MDH) از شرکت ایران کیمیا پویش بسیار (کد MH 615) با چگالی ۲/۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، اندازه ذرات ۲ میکرومتر و افت حرارتی ۳۰ درصد تهیه شد. ۲- پرکننده آلومینیوم تری‌هیدرات (ATH) همچنین از شرکت ایران کیمیا پویش بسیار (کد MH 302) با چگالی ۲/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، اندازه ذرات ۲ میکرومتر و افت حرارتی ۳۴ درصد استفاده گردید.

نانو پرکننده‌ها شامل: ۱- نانو رس (Cloisite 20A) محصول شرکت ساترن آمریکا با دانسیته ۱/۷۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۳۸ درصد افت حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. ۲- نانو پودر هیدروکسید منیزیم از شرکت آمریکایی هاستون با دانسیته ۲/۳۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۳۰ درصد کاهش حرارتی استفاده شد.

#### روش‌ها

برای تولید پلیمر گرمانرم PLA، ابتدا گرانول‌های PLA با میزان ۵ درصد وزنی پلاستی‌سایزر PEG (بر مبنای وزن PLA) به آرامی توسط مخلوط‌کننده مخلوط شدند. سپس مخلوط آماده شده با استفاده از دستگاه اکسترودر دوماردن همسوگرد مدل Werner & Pfleiderer ZSK-25 دارای ۱۰ ناحیه (شامل ۶ ناحیه حرارتی) برای تولید پلیمر گرمانرم PLA قابل استفاده مخلوط و تحت عملیات حرارتی و مکانیکی قرار گرفت. دمای مناطق حرارتی به ترتیب از سمت ورودی اکسترودر ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۱۵، ۱۲۰، ۱۲۵ و ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شده بود. سرعت چرخش ماردون‌ها ۵۰ دور در دقیقه و میزان تغذیه بر اساس سرعت چرخش تنظیم شد. در نهایت، رشته‌های باریک پلیمر گرمانرم PLA خارج شده به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق خنک

(Jollands, 2004; Choi *et al.*, 2006). تخمین زده می‌شود که تولید جهانی برنج ۷۰۰ میلیون تن باشد و پوسته برنج حدود ۲۰ درصد از وزن برنج را با توجه به چگالی آن که حدود ۹۰-۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است، تشکیل دهد (Siddique & Cachim, 2018).

در این تحقیق به بررسی تولید چندسازه چوب پلاستیک (WPC) با استفاده از پلیمر پلی‌لاکتیک اسید به‌عنوان ماتریس بیوپلیمر و پوسته برنج به‌عنوان پرکننده لیگنوسلولزی پرداخته شده است. همچنین اثرهای افزودن برخی از پرکننده‌های مواد معدنی و نانو پرکننده به‌عنوان مواد کندسوز کننده بر خواص فیزیکی و حرارتی نمونه‌های تولیدی بررسی شده است.

#### مواد و روش‌ها

مواد:

پلی‌لاکتیک اسید (PLA) مورد استفاده، محصول شرکت اتریشی CHEMIE KAS GmbH و دارای دانسیته  $1.25 \text{ g/cm}^3$  و شاخص ذوب  $6-7 \text{ gr/10min}$  بود. پلاستی‌سایزر مورد استفاده در این تحقیق پلی‌اتیلن گلایکول (PEG) درجه ۱۰۰۰ و محصول شرکت Merck آلمان بود.

پلیمرهای ترموپلاستیک مورد استفاده در تولید نمونه‌های شاهد شامل موارد زیر بود.

- ۱- پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) نوع G5218، با شاخص جریان مذاب ۱۸ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، محصول شرکت پتروشیمی تبریز؛
- ۲- پلی‌پروپیلن (PP)، با ضریب جریان مذاب ۲۵ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب، محصول شرکت پتروشیمی اراک؛
- ۳- سازگار کننده پلی‌پروپیلن گرافت شده با مالئیک انیدرید (MA-g-PP)، با شاخص جریان مذاب ۱۳ گرم در ده دقیقه و دانسیته ۰/۹۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب، محصول شرکت آریا پلیمر.

پوسته شالی استفاده شده به‌عنوان پرکننده لیگنوسلولزی

از سمت ورودی ۱۴۵، ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۵ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شده بود. ماردون‌ها با سرعت ۸۰ دور در دقیقه چرخش داشتند و میزان تغذیه بر اساس سطح چرخش تنظیم شده بود. مخلوط همگن شده خروجی از انتهای قالب (قطر ۳۰ میلی‌متر) به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند تا خنک شوند و بعد توسط دستگاه خردکن به ذرات کوچک (قطر ۲-۳ میلی‌متر) تبدیل شدند.

شده و بعد توسط خردکن به شکل گرانول‌های با طول تقریبی ۵ میلی‌متر خرد شدند. مواد تهیه شده مطابق جدول ۱ مخلوط شده و مخلوط حاصل برای تهیه گرانول‌های PLA-پوسته شالی، توسط اکسترودر دو ماردون ناهمسوگرد مدل Dr. Collin Engelhardt GmbH D8510 Furth با ۱۰ ناحیه (شامل ۶ ناحیه حرارتی) ترکیب شدند. دمای نواحی حرارتی به ترتیب

جدول ۱- درصد ترکیبات تشکیل دهنده چندسازه در تیمارهای مختلف

کد تیمار	PLA (%)	آرد پوسته شالی (%)	نوع پرکننده معدنی	مقدار پرکننده معدنی (%)	نوع نانوپرکننده	مقدار نانوپرکننده (%)
P1	۶۷*	۳۰	-	۰	-	۰
P2A5	۶۷	۲۵	ATH***	۵	-	۰
P3A10	۶۷	۲۰	ATH	۱۰	-	۰
P4M5	۶۷	۲۵	MDH****	۵	-	۰
P5M10	۶۷	۲۰	MDH	۱۰	-	۰
P6AM5	۶۷	۲۵	ATH + MDH	۵	-	۰
P7AM10	۶۷	۲۰	ATH + MDH	۱۰	-	۰
P8M8NM2	۶۷	۲۰	MDH	۸	NMDH	۲
P9M6NM4	۶۷	۲۰	MDH	۶	NMDH	۴
P10M8NC2	۶۷	۲۰	MDH	۸	N-Clay	۲
P11M6NC4	۶۷	۲۰	MDH	۶	N-Clay	۴
P12A8NC2	۶۷	۲۰	ATH	۸	N-Clay	۲
P13A6NC4	۶۷	۲۰	ATH	۶	N-Clay	۴
PP**	۶۷	۳۰	-	-	-	۰
HDPE**	۶۷	۳۰	-	-	-	۰

\*: به تمامی تیمارها مقدار ۳ درصد ماده جفت کننده مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن اضافه گردید.

\*\* در کد تیمار PP و HDPE میزان ۶۷ درصد به ترتیب مربوط به گرانول پلی‌پروپیلن و گرانول پلی‌اتیلن دانسیته بالاست.

\*\*\* Aluminium Three Hydrate - \*\*\*\* Magnesium Di-Hydroxide

حرارتی نمونه‌ها، طبق استاندارد ASTM E113، آنالیز وزن‌سنجی حرارتی (TGA) انجام شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد و بعد گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

### نتایج

در جدول ۲ میانگین خصوصیات فیزیکی چندسازه‌های ترموپلاستیک PLA-پوسته شالی و همچنین چندسازه‌های ترموپلاستیک شاهد ساخته شده با پلیمرهای پایه نفتی PP و HDPE، شامل دانسیته، جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامتی بعد از غوطه‌وری ۲ و ۲۴ ساعت تخته‌های حاصل از تیمارهای مختلف ذکر شده است.

گرانول‌های PLA-پوسته شالی تهیه شده در داخل شابلون ریخته شد و تحت پرس حرارتی (مدل Toyoseiki mini test press) با دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، پانلهایی با ضخامت ۴ میلی‌متر تهیه گردید. هنگامی که دهانه پرس بسته شد، پانل‌ها به مدت ۱ دقیقه تحت فشار ۲۵۰ بار در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بلافاصله پس از باز کردن دستگاه پرس داغ، پانل‌ها به مدت ۵ دقیقه تحت فشار ۳۰ بار در پرس سرد (با جریان آب سرد) قرار گرفتند تا تثبیت و خنک شوند. کلیه مراحل ساخت چندسازه‌ها در آزمایشگاه پلاستیک پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد.

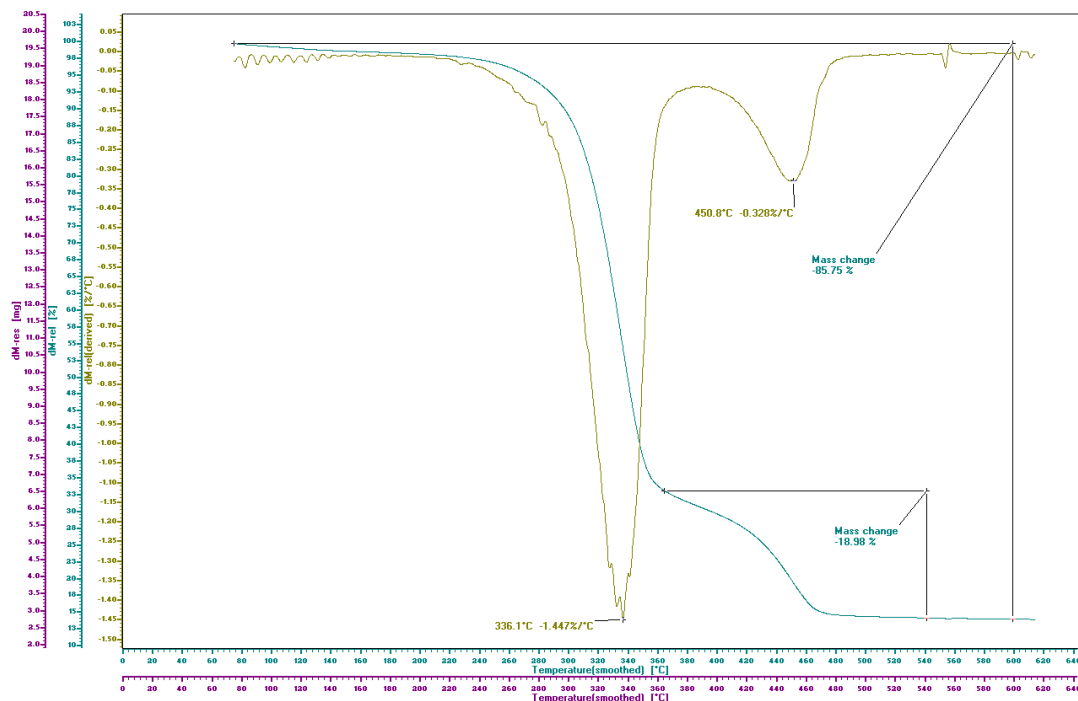
دانسیته نمونه‌ها پس از وزن و اندازه‌گیری حجم محاسبه شدند. خصوصیات جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامتی نمونه‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب براساس استاندارد ASTM D570 تعیین شدند. برای ارزیابی ویژگی‌های

جدول ۲- خواص فیزیکی پانلهای چندسازه PLA-پوسته شالی

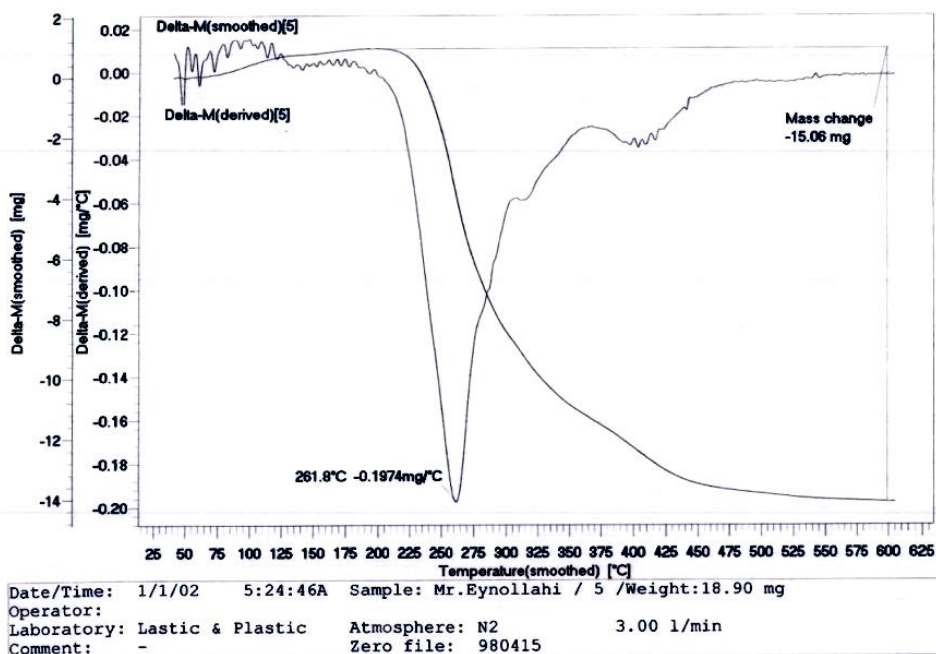
کد تیمار	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	جذب آب ۲ ساعت (%)	واکنش‌پذیری ضخامت ۲ ساعت (%)	جذب آب ۲۴ ساعت (%)	واکنش‌پذیری ضخامت ۲۴ ساعت (%)
P1	۱/۱۶ <sup>d</sup>	۰/۵۲ <sup>a</sup>	۷/۲۵ <sup>a,b</sup>	۱/۸۳ <sup>a</sup>	۱۵/۵۰ <sup>a</sup>
P2A5	۱/۲۲ <sup>c</sup>	۰/۳۴ <sup>b</sup>	۵/۲۵ <sup>e</sup>	۱/۲۲ <sup>d</sup>	۶/۵۰ <sup>e</sup>
P3A10	۱/۲۴ <sup>b,c</sup>	۰/۳۲ <sup>b,c</sup>	۴/۷۵ <sup>f</sup>	۱/۰۳ <sup>e</sup>	۴/۷۵ <sup>f</sup>
P4M5	۱/۲۱ <sup>c</sup>	۰/۲۳ <sup>d</sup>	۶/۵۰ <sup>c</sup>	۱/۳۱ <sup>c</sup>	۱۲/۷۵ <sup>b</sup>
P5M10	۱/۳۰ <sup>a</sup>	۰/۲۰ <sup>d</sup>	۵/۷۵ <sup>d</sup>	۱/۳۲ <sup>c</sup>	۱۰/۰۰ <sup>c</sup>
P6AM5	۱/۲۰ <sup>c</sup>	۰/۳۴ <sup>b</sup>	۶/۰۰ <sup>d</sup>	۱/۲۴ <sup>c,d</sup>	۸/۲۵ <sup>d</sup>
P7AM10	۱/۲۳ <sup>b,c</sup>	۰/۲۹ <sup>c</sup>	۵/۵۰ <sup>d,e</sup>	۱/۲۸ <sup>c</sup>	۱۰/۵۰ <sup>c</sup>
P8M8NM2	۱/۲۵ <sup>b</sup>	۰/۲۷ <sup>c,d</sup>	۷/۲۵ <sup>a,b</sup>	۱/۴۶ <sup>b</sup>	۱۱/۵۰ <sup>c</sup>
P9M6NM4	۱/۲۲ <sup>c</sup>	۰/۳۵ <sup>b</sup>	۸/۰۰ <sup>a</sup>	۱/۵۳ <sup>b</sup>	۱۳/۰۰ <sup>b</sup>
P10M8NC2	۱/۲۲ <sup>c</sup>	۰/۳۱ <sup>c</sup>	۷/۵۰ <sup>a</sup>	۱/۴۴ <sup>b</sup>	۱۰/۷۵ <sup>c</sup>
P11M6NC4	۱/۲۵ <sup>b</sup>	۰/۳۰ <sup>c</sup>	۷/۰۰ <sup>b</sup>	۱/۳۵ <sup>c</sup>	۹/۷۵ <sup>c,d</sup>
P12A8NC2	۱/۲۵ <sup>b</sup>	۰/۲۹ <sup>c</sup>	۵/۲۵ <sup>e</sup>	۱/۰۵ <sup>e</sup>	۸/۰۰ <sup>d,e</sup>
P13A6NC4	۱/۲۴ <sup>b,c</sup>	۰/۳۱ <sup>c</sup>	۴/۵۰ <sup>f</sup>	۱/۰۷ <sup>e</sup>	۵/۵۰ <sup>f</sup>
PP	۰/۸۹ <sup>f</sup>	۰/۲۶ <sup>c,d</sup>	۵/۲۵ <sup>e</sup>	۰/۵۹ <sup>f</sup>	۵/۵۰ <sup>f</sup>
HDPE	۰/۹۳ <sup>e</sup>	۰/۳۹ <sup>b</sup>	۶/۷۵ <sup>b,c</sup>	۱/۰۶ <sup>e</sup>	۷/۰۰ <sup>e</sup>

\*: حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

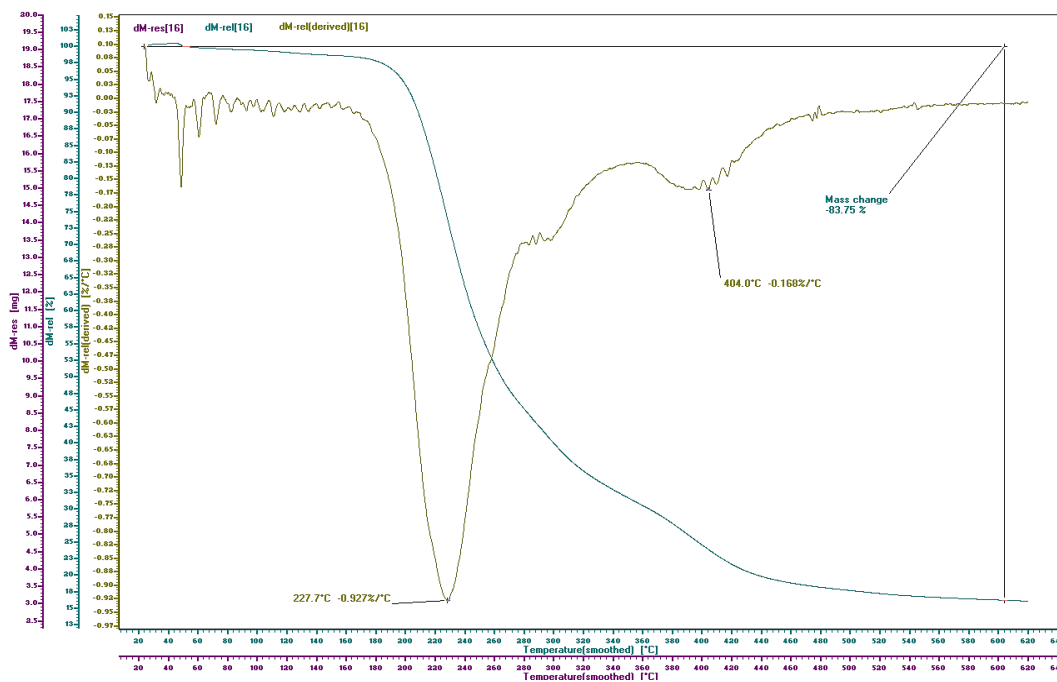
رفتار حرارتی چندسازه‌های ترموپلاستیک PLA-پوسته شالی با استفاده از آنالیز وزنی-حرارتی (TGA) تعیین شدند و منحنی TGA به‌دست‌آمده از آنالیز چندسازه‌ها در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است.



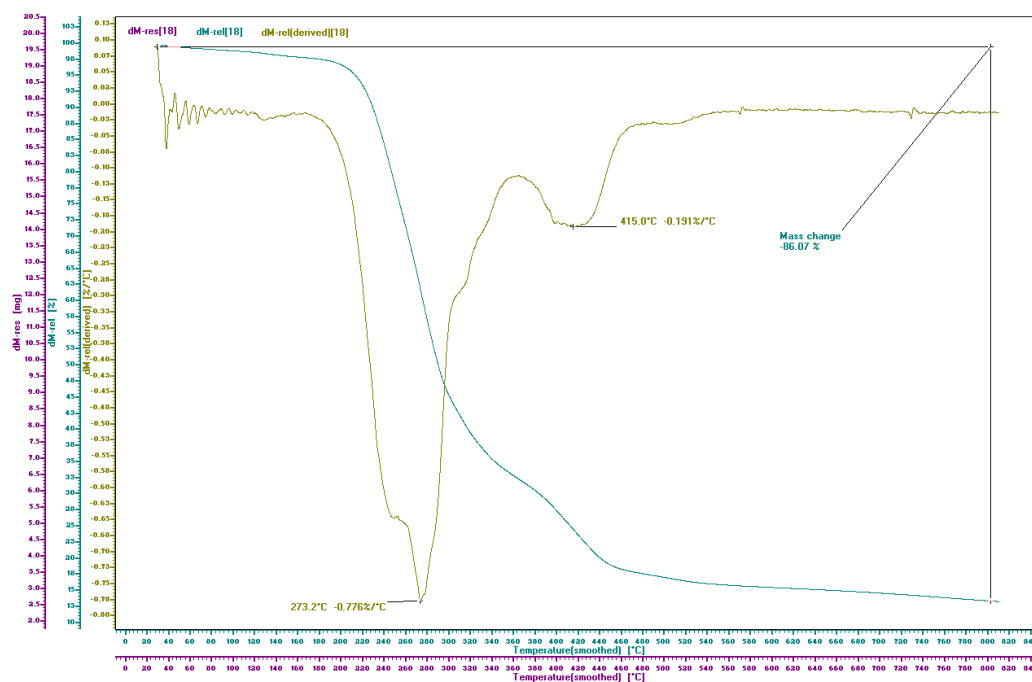
شکل ۲- آنالیز TGA تیمار کد P1 (چندسازه PLA-پوسته شالی فاقد پرکننده معدنی)



شکل ۳- آنالیز TGA تیمار کد P5M10 (چندسازه PLA-پوسته شالی حاوی ۱۰ درصد کندسوزکننده MDH)



شکل ۴- آنالیز TGA تیمار کد P9M6NM4 (چندسازه PLA-پوسته شالی حاوی ۶ درصد کندسوز کننده MDH + ۴ درصد نانو MDH)



شکل ۵- آنالیز TGA تیمار کد P11M6NC4 (چندسازه PLA-پوسته شالی حاوی ۶ درصد کندسوز کننده MDH + ۴ درصد نانورس)



## بحث

همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، دانسیته تخته‌ها در نتیجه افزودن پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده افزایش یافته، در حالی که وجود نانوپرکننده‌ها هیچ تأثیری در مقادیر دانسیته ندارد. دانسیته چندسازه‌ها به دانسیته اجزای آنها مرتبط است (Thomas et al., 2013). در اینجا، دانسیته بیشتر پرکننده‌های مواد معدنی در مقایسه با دانسیته پرکننده لیگنوسلولزی، تراکم و دانسیته بالاتری را از چندسازه‌های حاوی پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده نتیجه داده است.

نتایج نشان داد که میزان دانسیته چندسازه PLA-پوسته شالی بیشتر از ۱ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و نسبت به نمونه‌های کنترل ساخته شده با پلیمرهای پایه نفتی PP و HDPE دانسیته بیشتری داشت. دانسیته بیشتر چندسازه‌های ساخته شده با پلیمر PLA مربوط به دانسیته بیشتر این پلیمر نسبت به پلیمرهای PP و HDPE می‌باشد (Thomas et al., 2013). به نحوی که جایگزینی بخشی از پرکننده لیگنوسلولزی با پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده سبب افزایش اندک دانسیته چندسازه‌ها شده است (جدول ۲). در واقع دانسیته نهایی یک چندسازه به میزان قابل توجهی متأثر از دانسیته اجزای تشکیل دهنده آن است (Thomas et al., 2013).

نتایج حاصل از جذب آب نمونه‌ها پس از ۲ و ۲۴ ساعت نشان داد که چندسازه PLA-پوسته شالی دارای خواص قابل قبولی از لحاظ نفوذپذیری نسبت به آب می‌باشد، زیرا در تمام تیمارها میزان جذب آب اندک بوده و قابل قیاس با پانل‌های شاهد ساخته شده با پلیمرهای نفتی بود (جدول ۲). جذب آب چندسازه‌ها با جایگزین کردن بخشی از سهم پرکننده لیگنوسلولزی با پرکننده‌های معدنی کاهش یافت. در این رابطه، افزودن پرکننده‌های نانو تأثیر کمتری داشت. حلالیت کم تری‌هیدرات آلومینیوم و هیدروکسید منیزیم در آب (به ترتیب ۰/۰۰۱ گرم در لیتر و ۰/۰۰۶۴ گرم در لیتر) باعث کاهش میزان جذب آب چندسازه‌های PLA-پوسته شالی شد. کاهش میزان درصد پرکننده لیگنوسلولزی در چندسازه از طریق جایگزینی آن با

پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده سبب کاهش نقاط فعال جاذب آب (گروه‌های هیدروکسیل موجود در پرکننده‌های لیگنوسلولزی) در چندسازه شده و میزان جذب آب کاهش می‌یابد. همچنین اتصال بهینه پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده با پلیمر زمینه به کاهش جذب آب چندسازه کمک خواهد کرد (Hamid et al., 2012).

مقدار واکنش‌دهی چندسازه تقریباً با میزان جذب آب اجزای تشکیل دهنده آن از رطوبت محیط بستگی دارد و پایداری ابعاد چندسازه عمدتاً به درجه تر شدن آن وابسته است (Stepito, 2003; Wilpiszewska and Spychai, 2006). در واقع، جذب آب کم این چندسازه به دلیل خاصیت آبگریزی PLA دور از انتظار نبود و میزان کم آب جذب شده ناشی از پرکننده لیگنوسلولزی موجود در این چندسازه می‌باشد (Kalagar et al., 2015). واکنش‌دهی ضخامتی نمونه‌ها پس از غوطه‌وری ۲ و ۲۴ ساعت در آب قابل قبول بود، به طوری که در بیشتر تیمارها در محدوده واکنش‌دهی ضخامتی نمونه‌های شاهد که از پلیمرهای پایه نفتی PP و HDPE ساخته شده بود، قرار داشت (جدول ۲). این خاصیت معمولاً رفتاری مشابه با خاصیت جذب آب دارد و نفوذ آب به بافت چندسازه باعث ایجاد فاصله بین اجزای سازه می‌شود و به همین ترتیب تورم ایجاد می‌کند (Lomelí-Ramírez et al., 2014; Kenechi et al., 2016).

در چندسازه‌های ترموپلاستیک PLA-پوسته شالی، بیشترین میزان واکنش‌دهی ضخامت مربوط به نمونه فاقد پرکننده معدنی بود (کد تیمار P1) که میزان آن پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به ترتیب ۷/۲۵ درصد و ۱۵/۵۰ درصد بود (جدول ۲). اثر جایگزینی بخشی از پرکننده لیگنوسلولزی با پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده بر روی میزان واکنش‌دهی ضخامت مثبت بوده، به طوری که در هر دو مورد پرکننده‌های ATH و MDH میزان واکنش‌دهی ضخامت کاهش یافت. همچنین وجود پرکننده‌های مواد معدنی نانو بر پایداری ابعاد نمونه‌ها تأثیر مثبت داشتند. در حقیقت، انحلال‌ناپذیری پرکننده‌های معدنی کاربردی در آب

کاهش وزنی میزان تخریب در پیک دوم که مربوط به پرکننده لیگنوسلولزی بود گردید. همچنین میزان دما در نقطه اوج هر دو پیک به دلیل آزاد شدن آب در کندسوز کننده‌ها کاهش یافت. به طوری که میزان دما در پیک‌های اول و دوم چندسازه‌های حاوی کندسوز کننده به ترتیب تا ۵۰ و ۱۱۰ درجه کاهش یافت. در واقع، هر دو پرکننده معدنی کندسوز کننده ATH و MDH با تجزیه در هنگام گرم شدن آب ساختاری خود را آزاد نموده و سبب کاهش دمای شعله می‌شوند، این یک فرایند اندوترمیک است که گرما را از آتش می‌گیرد (Kutz, 2017; Hamid et al., 2012). به طوری که کاهش دمای تجزیه حرارتی در نوک پیک منحنی به دلیل بخارهای آب آزاد شده از پرکننده‌های کندسوز می‌باشد. علاوه بر این، به دلیل کاهش مقدار پرکننده لیگنوسلولزی در ترکیب، میزان کاهش وزن در پیک دوم به همان میزان جایگزینی کاهش یافت (شکل‌های ۲ تا ۵).

پس از ترکیب نانو پرکننده‌ها (نانورس و نانو هیدروکسید منیزیم)، نانو چندسازه‌ها در مرحله اول میزان کاهش وزنی کمتری داشته و شیب افت وزنی ملایم‌تر شده است، این موضوع نشان‌دهنده افزایش سطح پایداری دمایی نانو چندسازه‌هاست. یافته‌های مشابهی نیز برای نانو چندسازه‌های حاوی نانو سپیلیولیت گزارش شده است (Chivrac et al., 2010; Ren et al., 2018). پراکنش نانو پرکننده‌های معدنی در ماتریس باعث افزایش پیچیدگی منافذ و مسیرهای انتشار گاز احتراق در چندسازه و همچنین تشکیل عایق زغالی در سطح ماده می‌شوند. پایداری حرارتی بالاتر همچنین می‌تواند ناشی از تعامل شدید بین نانوذرات و ماتریس پلیمر باشد (Alexandre and Dubois, 2000). هنگامی که پرکننده‌های نانو مواد معدنی به خوبی در ماتریس چندسازه پراکنده شوند، عوامل ممانعتی آتش که باعث بهبود پایداری حرارتی می‌شود، چشمگیر و غالب خواهد بود (Bordes et al., 2009; Chrissafis and Bikiaris, 2011).

و عدم جذب آب توسط آنها منجر به کاهش مقادیر واکنشیدگی ضخامتی نمونه‌ها شده است (Stepto, 2003; Wilpiszewska and Sychai, 2006). از سوی دیگر، پرکننده‌های معدنی و به ویژه نانوپرکننده‌ها منافذ چندسازه‌ها را پر کرده و همچنین بین اجزای سازه اتصالات بیشتری ایجاد خواهند کرد، در نتیجه سبب کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامتی چندسازه می‌شوند (Ren et al., 2018). همچنین کاهش میزان نقاط فعال جاذب آب موجود در پرکننده‌های لیگنوسلولزی از طریق جایگزینی آن با پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده و اتصال بهتر پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده با پلیمر زمینه سبب کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامتی چندسازه می‌شوند (Hamid et al., 2012).

علاوه بر این نتایج نشان داد که بین دو نوع پرکننده‌های ATH و MDH، میزان بهبود ثبات ابعادی و کاهش واکنشیدگی ضخامت در تیمارهای دارای پرکننده MDH کمتر بود، همچنین استفاده از نانو پرکننده MDH نیز اثر کمتری در کاهش واکنشیدگی ضخامتی نمونه‌ها نسبت به نانورس داشت (جدول ۲). علت را می‌توان در انحلال پذیری کمتر ATH و نانورس و همچنین همبستگی بیشتر آنها در ماتریس پلیمر PLA دانست.

همان‌طور که از رفتار حرارتی چندسازه‌های ترموپلاستیک PLA-پوسته شالی در منحنی‌های وزنی-حرارتی TGA مشخص است، کاهش وزن در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مربوط به از دست دادن آب در نمونه‌هاست (MohdZain et al., 2016). تمام منحنی‌های TGA تیمارهای چندسازه ترموپلاستیک PLA-پوسته شالی شامل دو پیک افت وزنی می‌باشند. پیک اول و شدید افت وزنی مربوط به تخریب و تجزیه پلیمر ترموپلاستیک PLA بوده و پیک دوم که شدت کمتری دارد، مربوط به تخریب و پیرولیز پرکننده لیگنوسلولزی است (Qin, 2005; Olivato et al., 2015; Ren et al., 2018).

جایگزینی قسمتی از پرکننده لیگنوسلولزی با پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده ATH یا MDH باعث

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد که چندسازه پلی لاکتیک-پوسته شالی دارای خواص فیزیکی قابل قبول و کم و بیش مشابه با چندسازه‌های ساخته شده با پلیمرهای پایه نفتی PP و HDPE بود. جدا از دانسیته بیشتر چندسازه پلی لاکتیک-پوسته شالی، میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت این چندسازه قابل مقایسه با نمونه‌های شاهد PP-پوسته شالی و HDPE-پوسته شالی بودند. افزودن پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده سبب افزایش دانسیته چندسازه و کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت آنها گردید. نتایج آنالیز حرارتی-وزنی نمونه‌ها نشان داد که افزودن پرکننده‌های معدنی کندسوز کننده ATH یا MDH باعث کاهش میزان تخریب وزنی در پیک دوم که مربوط به پرکننده لیگنوسلولزی بود گردید، همچنین میزان دما در نقطه اوج هر دو پیک به دلیل آزاد شدن آب در کندسوز کننده‌ها کاهش یافت. پس از ترکیب نانو پرکننده‌ها (نانورس و نانو هیدروکسید منیزیم)، نانو چندسازه‌ها در مرحله اول میزان کاهش وزنی کمتری داشته و شیب افت وزنی ملایم‌تر شده است، این موضوع نشان‌دهنده افزایش سطح پایداری دمایی نانو چندسازه‌هاست.

## منابع مورد استفاده

- 1738.
- Basu, A., Nazarkovsky, M., Ghadi, R., Khan, W. and Domb, A.J., 2016. Poly (lactic acid) - based nanocomposites. *Polymers for Advanced Technologies*. 12p.
  - Boateng A.A. and Skeete, D.A., 1990. Incineration of rice hull for use as a cementitious material: the guyana experience. *Cement and Concrete Research*, 20(5): 795-802.
  - Bordes, P., Pollet, E. and Avérous, L., 2009. Nano-bio-composites: Biodegradable polyester/nanoclay systems. *Prog. Polym. Sci.*, 34, 125-155.
  - Chaudhary, D. and Jollands, M., 2004. Characterization of rice hull ash. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(1): 1-8.
  - Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsaowaphak, A., and Cao, H.T., 2007. Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 21, 1356-1361.
  - Chivrac, F., Pollet, E., Schmutz, M. and Avérous, L., 2010. Starch nano-bio-composites based on needle-like sepiolite clays. *Carbohydrate Polymers*, 80, 145-153.
  - Choi, N.W., Mori, I. and Ohama, Y., 2006. Development of rice husks-plastics composites for building materials. *Waste Management*, 26(2): 189-194.
  - Chrissafis, K. and Bikiaris, D., 2011. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers. *Thermochim. Acta*, 523, 1-24.
  - Fekete, E., Kun, D. and Móczó, J., 2018. Thermoplastic Starch/Wood Composites: Effect of Processing Technology, Interfacial Interactions and Particle Characteristics. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 62(2): 129-136.
  - Garlotta, D., 2001. A literature review of poly (lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2): 63-84.
  - Gonçalves, C., Gonçalves, I.C., Magalhães, F.D. and Pinto, A.M., 2017. Poly (lactic acid) Composites Containing Carbon-Based Nanomaterials: A Review. *Polymers* 2017, 9, 269-303.
  - González, A., Dasari, A., Herrero, B., Plancher, E., Esteban, A., Lim, S.H., and Santarén J., 2012. Fire retardancy behavior of PLA based nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 97: 248-256.
  - Gross, R.A., and Kalra, B., 2002. Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297(5582): 803-807.
  - Guzmán, M. and Murillo, E.A., 2018. Structural, thermal, rheological, morphological and mechanical
  - Albertsson, A.C. and Karlsson, S., 1994. Chemistry and biochemistry of polymer biodegradation. In: *Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers* (Ed.: G.J.L. Griffin). Blackie, Glasgow, 794p.
  - Alexandre, M. and Dubois, P., 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: Preparation, properties and uses of a new class of materials. *Mater. Sci. Eng. R Rep.*, 28, 1-63.
  - Arao, Y., Nakamura, S., Tomita, Y., Takakuwa, K., Umemura, T. and Tanaka, T., 2014. Improvement on fire retardancy of wood flour/polypropylene composites using various fire retardants. *Polymer Degradation and Stability*, 100(1): 79-85.
  - Baiardo, M., Frisoni, G., Scandola, M., Rimelen, M., Lips, D., Ruffieux, K. and Wintermantel, E., 2003. Thermal and mechanical properties of plasticized poly (L-lactic acid). *J. Appl. Polym. Sci.*, 90, 1731-

- Sahagun, T.S., 2014. Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II-Structure and properties. *Carbohydrate Polymers* 102, 576-583.
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N.R. and John, R.P., 2010. An Overview of the Recent Developments in Polylactide (PLA) Research. *Bioresource Technology*, 101, 8493-8501.
- Mirmehdi, S.M., Zeinaly, F. and Dabbagh, F., 2014. Date palm wood flour as filler of linear low-density polyethylene. *Composites: Part B*, 56, 137-141.
- MohdZaina, A.H., Kahara, A.W.M. and Noriman N.Z., 2016. Chemical-Mechanical Hydrolysis Technique of Modified Thermoplastic Starch for Better Mechanical Performance. *Procedia Chemistry*, 19, 638-645.
- Nourbakhsh, A., Ashori, A. and Kazemi Tabrizi, A., 2014. Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. *Composites: Part B*, 56, 279-283.
- Olivato, J.B., Marini, J., Pollet, E., Yamashita, F., Grossmann, M.V.E. and Avérous, L., 2015. Elaboration, morphology and properties of starch/polyester nano-biocomposites based on sepiolite clay. *Carbohydrate Polymers*, 118, 250-256.
- Qin, H., Zhang, S., Zhao, C., Hu, G. and Yang, M., 2005. Flame retardant mechanism of polymer/clay nanocomposites based on polypropylene. *Polymer*, 46: 8386-8395.
- Reddy, M.M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S.K. and Mohanty, A.K., 2013. Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. *Prog. Polym. Sci.*, 38(10-11):1653-1689.
- Ren, J., Dang, K.M., Pollet, E. and Avérous, L., 2018. Preparation and Characterization of Thermoplastic Potato Starch/Halloysite Nano-Biocomposites: Effect of Plasticizer Nature and Nanoclay Content. *Polymers*, 10, 808, p. 15.
- Rhim, J.W., Hong, S.I., and Ha, C.S., 2009. Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films. *LWT- Food Science and Technology*, 42: 612-617.
- Rhim, J.W., Park, H.M. and Ha, C.S., 2013. Bio-Nanocomposites for Food Packaging Applications. *Progress in Polymer Science* 38, 1629-1652
- Siddique, R. and Cachim, P., 2018. Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications (1st ed.). Woodhead Publishing, Amsterdam. p. 640.
- Stepho, R.F.T., 2003. The processing of starch as a properties of thermoplastic starch obtained by using hyperbranched polyester polyol as plasticizing agent. *DYNA*, 85(206): 178-186.
- Hamid, M.R.Y., Ghani, M.H.A., Ahmad, S. 2012. Effect of antioxidants and fire retardants as mineral fillers on the physical and mechanical properties of high loading hybrid biocomposites reinforced with rice husks and sawdust. *Industrial Crops and Products*, 40: 96-102.
- Jacobsen, S., Fritz, H.G., 1999. Plasticizing polylactide- the effect of different plasticizers on the mechanical properties. *Polym. Eng. Sci.*, 39(7): 1303-1310.
- Kalagar, M., Baziyar, B., Khademi Eslam, H., Ghamsi, E. and Hemmasi, A.H., 2015. The investigation on composites produced using polylactic acid/wheat straw fibers treated with silane. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(2): 207-219.
- Kashiwagia, T., Grulke, E., Hilding, J., Groth, K., Harris, K., Butlera, K., Shields, J., Kharchenko, S., and Douglas J., 2004. Thermal and flammability properties of polypropylene/ carbon nanotube nanocomposites. *Polymer*, 45: 4227-4239.
- Kenechi, N.O., Linus, C. and Kayode, A., 2016. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication- A Review. *American Journal of Materials Synthesis and Processing*, 1(3): 32-36.
- Kiliaris, P., Papaspyrides, C.D., 2010. Polymer/layered silicate nanocomposites: an overview of flame retardancy. *Progress in Polymer Science*, 35: 902-958.
- Klyosov, A.A., 2007. *Wood-Plastic Composites*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 698p.
- Kord, B., and Roohani, M., 2016. Thermal properties and fire behavior of PLA nanocomposite films. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 23(2): 185-201.
- Kulinski, Z., Piorkowska, E., 2005. Crystallization, structure and properties of plasticized poly (Llactide). *Polymer*, 46, 10290-10300.
- Kutz, M., 2017. *Applied Plastics Engineering Handbook. Processing, Materials, and Applications* (2nd ed.). William Andrew Publishing, Norwich. 784p.
- Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopezcuesta, J., Dubois, P., 2009. New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites. *Material Science Engineering*, 63(3): 100-125.
- Letcher, T., 2012. *Comprehensive Renewable Energy* (1st ed.). Elsevier, New York. 422p.
- Lomelí-Ramírez, M.G., Kestur, S.G., Manríquez-González, R., Iwakiri, S., Muniz, G.B. and Flores-

- Philosophical Transactions of the Royal Society B, 364(1526): 2153–2166.
- Torgal, F.P., Lourenco, P., Labrincha, J., Chindapasirt, P. and Kumar, S., 2015. Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks (1st ed.). Woodhead Publishing, Amsterdam. 548p.
- Wilpiszewska, K. and Sychai, T., 2006. Heat plasticisation of starch by extrusion in the presence of plasticizers. *International Polymer Science and Technology*, 33(10): 53-58.
- Zaikov, G.E., and Lomakin, S.M., 2002. Ecological issue of polymer flame retardancy. *Journal of Applied Polymer Science*, 86(5): 2449-2462.
- Zeinaly, F., Saraeian, A.R., Aryaie Monfared M.H. and Kazemi Tabrizi, A., 2016. Investigating the effect of using oxygen delignification process on bagasse soda pulp properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(2): 261-279.
- thermoplastic. *Macromol. Symp.* 201, 203-212.
- Suppakarn, N. and Jarukumjorn, K., 2009. Mechanical properties and flammability of sisal/PP composites: Effect of flame retardant type and content. *Composites: Part B*, 40(7): 613-618.
- Suryanegara, L., Nugraha, R.A. and Achmadi, S.S., 2017. Improvement of thermal and mechanical properties of composite based on polylactic acid and microfibrillated cellulose through chemical modification. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 223 012032.
- Thomas, S., Mathew, A.P., Visakh, P.M., 2013. *Advances in Natural Polymers: Composites and Nanocomposites.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 424p.
- Thompson, R.C., Moore, C.J., Saal, F.S.V., and Swan, S.H., 2009. *Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends.*

## The effect of using flame retardant mineral fillers on physical and thermal properties of poly lactic acid-rice husk composite

Y. Einollahi<sup>1</sup>, A.H. Hemmasi<sup>2\*</sup>, H. Khademi Eslam<sup>3</sup>, E. Ghasemi<sup>4</sup> and M. Talaeipour<sup>5</sup>

1- PhD. Candidate, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2\*-Corresponding author, Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: h\_hemmasi@yahoo.com

3-Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Professor, Iran Polymer and Petrochemical Institute, P. O. Box: 14965/115, Tehran, Iran.

5-Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: Nov., 2020 Accepted: May, 2021

### Abstract

In respect to increase the environmental pollutants initiating from agglomerating rubbish and wastes containing stable petroleum-based polymers, the substitution of these polymers with bio-polymers and solving their problems and the production process as well as the final products is an important topic. In this study, the possibility of the production of polylactic acid (PLA)-rice husk composite, and the effect of using flame retardant mineral fillers of aluminum three hydrates (ATH) and magnesium di-hydroxide (MDH) on physical and thermal properties of the composite were investigated. Results indicated that the density of PLA-rice husk composite was higher than petroleum-based polymers composites (PP/HDPE-rice husk composites); and flame retardant mineral fillers addition led to an increase in the composite density. Also, flame retardant mineral fillers addition decreased the composite water absorption and thickness swelling, in a way that they were comparable with petroleum-based polymers composites. Results of thermal gravimetric analysis (TGA) showed that flame retardant mineral fillers addition also decreased the temperature of the composite weight loss curve peaks, and the weight loss rate against temperature rising.

**Keywords:** Composite, Poly lactic acid, Rice husk, Aluminum three hydrates (ATH), Magnesium di-hydroxide (MDH).