

بررسی مقایسه‌ای اثر باگاس و کلش برنج تیمار شده روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های تقویت‌شده با الیاف طبیعی

چکیده

در این پژوهش اثر ماده لیگنوسلولزی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ماده لیگنوسلولزی در چهار نوع آرد خمیر کاغذهای سولفیت قلیایی - آنتراکینون، مونو اتانول آمین، سودا - آنتراکینون و شیمیایی - مکانیکی با پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) مخلوط گردید و مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن به‌عنوان ماده سازگار کننده (جفت کننده) در یک سطح ثابت و برابر با ۵٪ وزنی مورد استفاده قرار گرفت. نسبت ماده زمینه (پلی‌اتیلن سنگین) به ماده لیگنوسلولزی ۶۰ به ۴۰ در نظر گرفته شد. نمونه‌های نهایی پس از ترکیب در یک اکسترودر دو ماردونه، گرانول گیری و در ادامه با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی تهیه و برای انجام آزمایش‌ها آماده شدند. مقاومت‌های مکانیکی چندسازه‌های تولیدشده شامل مدول خمشی و کششی، مقاومت خمشی و کششی، مقاومت به ضربه فاق‌دار و خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت پس از ۲۴ ساعت طبق استانداردهای ASTM اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تیمارهای شیمیایی در مقایسه با ماده لیگنوسلولزی خام به ترتیب باعث افزایش و کاهش مدول الاستیسیته خمشی در چندسازه‌های تقویت‌شده با باگاس و کلش برنج شدند. درحالی‌که تیمارهای اشاره‌شده منجر به افزایش مدول الاستیسیته کششی در چندسازه‌های تقویت‌شده با هر دو نوع ماده لیگنوسلولزی شد. مقاومت خمشی و کششی چندسازه‌های حاوی باگاس بیشتر از چندسازه‌های تقویت‌شده با کلش برنج بود و تأثیر تیمارها نیز بر روی باگاس بیشتر از کلش برنج بود. چندسازه‌های حاوی کلش برنج مقادیر مقاومت به ضربه، جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت بیشتری را در مقایسه با چندسازه‌های تقویت‌شده با باگاس از خود نشان دادند. همچنین تیمارهای انجام‌شده باعث کاهش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت در چندسازه‌های حاوی هر دو نوع ماده لیگنوسلولزی شد.

واژگان کلیدی: خمیر کاغذ، باگاس، کلش برنج، چندسازه، پلی‌اتیلن سنگین.

سید بهنام حسینی^۱

سحاب حجازی^{۲*}

لعلیا جمالی راد^۳

مینا فتاحی امین^۴

سهیلا ایزدیاری^۵

^۱ کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ دانشیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استادیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۴ کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۵ استادیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

shedjazi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۲

مقدمه

چندسازه‌های الیاف چوب - پلاستیک مخلوطی از مواد پلیمری و مواد لیگنوسلولزی هستند که تولید و استفاده از آن‌ها در بیشتر کشورها در حال گسترش است. در تهیه

این مواد مرکب انواعی از پلیمرها شامل پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌ونیل کلراید، پلی‌استر و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر استفاده از مواد لیگنوسلولزی غیرچوبی به‌عنوان تقویت‌کننده یا پرکننده پلاستیک‌ها

پلاستیک استفاده می‌گردد. مواد مرکب چوب پلاستیک نه تنها خواص مشابه مواد مرکب چوبی رایج را دارند بلکه دارای جذب آب کمتر و ثبات ابعادی بیشتر می‌باشند و نسبت به میکروارگانیزم‌ها مقاومت بیشتری دارند. ضمن اینکه در تولید آن‌ها از فرم آلدئید استفاده نمی‌شود [۸].

Razavi-Nouri و همکاران (۲۰۰۶)، خواص مکانیکی و جذب آب چندسازه‌های ذرات شلتوک برنج و پلی‌پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند. مقادیر مختلفی از شلتوک برنج (بین صفر تا ۴۰ درصد وزنی) با ماتریکس پلی‌پروپیلنی مخلوط شده و از MAPP به عنوان ماده جفت کننده استفاده شد. نتایج آنان نشان داد که مدول های خمشی و کششی در سطوح ۴۰ درصد شلتوک برنج، بالاترین مقدار بودند و مقاومت خمشی بهبود یافته و تغییر طول و انرژی در نقطه شکست کاهش پیدا کردند. همچنین میزان درصد جذب آب در سطوح بالاتر شلتوک برنج، بیشتر بوده است [۹]. Tong و همکاران (۲۰۱۳)، اثر اختلاط پوسته برنج بر پلی‌اتیلن بازیافتی سنگین را مورد بررسی قرار دادند. با افزایش ۱۰ تا ۴۰ درصد میزان پرکننده، مدول خمشی و خمشی چندسازه افزایش یافت اما مقاومت خمشی تا افزودن ۳۰ درصد پرکننده افزایش و بعد کاهش یافت. البته مقاومت به ضربه چندسازه با افزایش درصد پرکننده کاهش یافت [۱۰]. همچنین در تحقیقی Maldas و kokta (۱۹۸۹) اثر سه سازگار کننده ایزوسیانات، سیلان و مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی‌پروپیلن را در تشکیل مواد چندسازه ترموپلاستیک مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق نشان داد که به‌طور کلی چندسازه تیمار شده با سازگار کننده‌ها خواص مکانیکی مطلوب‌تری را نسبت به چندسازه‌های تیمار نشده نشان داده‌اند. البته مقدار بهبودی خواص مکانیکی به مقدار الیاف، غلظت، ساختمان شیمیایی عوامل اتصال، ترکیب اجزا پوشش، درجه پیوند زدن و به نوع تیمار مورد استفاده بستگی داشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که تیمار با ایزوسیانات و مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌پروپیلن بسیار مؤثرتر از تیمارهای سیلان و انیدرید فتالیک است [۱۱].

روش دیگر بهبود خصوصیات اتصال، استفاده از تیمار شیمیایی الیاف چوب قبل از اختلاط با پلیمر است. سازوکار این روش‌ها متفاوت بوده و به ساختار ترکیبات

مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. طیف وسیعی از مواد لیگنوسولولزی وجود دارند که می‌توانند در ساخت کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک مورد استفاده قرار گیرند [۱]. بر اساس تحقیقات و گزارش‌های انجام شده توسط Gorokhovskiy و همکاران (۲۰۰۵)، Panthapulakkal و Sain (۲۰۰۷) و Wang و همکاران (۲۰۰۷) در میان جایگزین‌های مناسب برای توسعه چندسازه‌های چوب پلاستیک استفاده از محصولات جانبی کشاورزی یا مواد ضایعاتی لیفی کشاورزی (شامل ساقه غلات، پوسته و شلتوک برنج، الیاف نارگیل، باگاس، ذرت و پوسته‌های مختلف غلات و انواع ضایعات به دست آمده از محصولات کشاورزی) مورد توجه قرار گرفته است [۲-۴]. استفاده از مواد ضایعاتی کشاورزی به عنوان یک تقویت کننده در تولید چندسازه‌های چوب پلاستیک در کشورهایی که دارای منابع چوبی کم می‌باشند، از پتانسیل بالایی برخوردار است [۳]. الیاف طبیعی در مقایسه با دیگر تقویت کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی دارای مزیت‌های فراوانی از جمله دانسیته کمتر، مقاومت و مدول ویژه بالاتر و سهولت اصلاح سطح الیاف بوده و ضمناً به‌طور گسترده‌ای در دسترس می‌باشند. همچنین این الیاف ارزان‌تر از الیاف مصنوعی بوده و می‌توانند در بسیاری از کاربردهایی که در آن‌ها صرفه‌جویی در هزینه‌بر خواص مقاومتی محصول ارجح است جایگزین الیاف مصنوعی شوند. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در خصوص استفاده از الیاف طبیعی در ساخت کامپوزیت‌ها انجام شده است. کامپوزیت‌های ساخته شده با الیاف طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در انواع کاربردهای صنعتی، به علت مقاومت بالا نسبت به وزن، جرم حجمی کم، هزینه پایین و فراورش آسان و ارزان و تجزیه پذیر بودن افزایش یافته‌اند [۵-۷]. با توجه به این‌که الیاف چوبی و پسماندهای کشاورزی، الیاف قطبی هستند ولی پلیمرها برخی قطبی (پلی‌وینیل کلراید) و برخی غیر قطبی هستند (پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن)، برای اتصال بهتر بین الیاف چوب به پلیمرهای غیر قطبی از یک ماده واسطه استفاده می‌شود. در حال حاضر در بیشتر تحقیقات از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به عنوان ماده سازگار کننده در ساخت چندسازه‌های چوب

لیگنوسولوزی استفاده گردید و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی باگاس

باگاس استفاده شده در این تحقیق از منطقه خوزستان و با همکاری کارخانه‌ی کاغذسازی پارس تهیه شد. باگاس دریافتی جهت جداسازی ناخالصی‌ها مانند سنگ‌ریزه و... الک و در هوای آزاد خشک شده تا به شرایط رطوبتی ثابت و یکسان برسند. پس از خشک شدن، آن‌ها را درون کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی کرده تا تحت تأثیر رطوبت محیط قرار نگیرند.

تهیه و آماده‌سازی کلس برنج

نمونه‌های ساقه برنج مورد آزمایش از مزارع شمال کشور تهیه شد. ابتدا برگ و خاشاک نمونه‌ها جدا گردیده و سپس جهت انجام آزمایش‌ها و انجام عملیات پخت به قطعاتی به طول پنج تا هفت سانتیمتر تبدیل گردیدند و برای رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی و تغییر میزان رطوبت داخل کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شدند. سپس مقدار رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در طول آزمایش‌ها پس از برداشت، درب کیسه‌ها بسته می‌شد تا مقدار رطوبت نمونه‌ها تغییر نکند.

پلی‌اتیلن سنگین^۱

پلی‌اتیلن سنگین به‌عنوان ماده زمینه این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. پلی‌اتیلن مصرفی از نوع ۵۲۵۱۸ بوده است که از شرکت پتروشیمی جم تهیه گردید. خواص این پلیمر در جدول ۱ آورده شده است.

شیمیایی مورد استفاده بستگی دارد [۱۲]. البته در اثر اصلاح شیمیایی الیاف چوبی چندین ویژگی برتر به‌طور هم‌زمان با یک تیمار به دست می‌آیند، مانند کاهش جذب آب [۱۳-۱۴]، افزایش دوام زیستی [۱۵] و افزایش خواص مکانیکی [۱۶]. برخی از مهم‌ترین تیمارهای شیمیایی عبارت‌اند از: مرسرزاسیون، تیمار ایزوسیانات، استیلزاسیون، تیمار پرمنگنات، تیمار سایلانی، بنزیلاسیون و تیمار پروکسید که باعث بهتر شدن ویژگی‌های الیاف چوبی و کامپوزیت‌های ساخته شده با آن می‌شود. Wang و همکاران (۲۰۰۵) الیاف کتان را توسط تیمارهای قلیایی، پروکسید و بنزیلاسیون اصلاح کردند و به بررسی اثر این اصلاحات شیمیایی روی ویژگی‌های کامپوزیت پلیمر تقویت شده با الیاف کتان پرداختند، آنان مشاهده کردند که این اصلاحات شیمیایی باعث بهبود در چسبندگی بین سطحی پلیمر و الیاف کتان می‌شود. آنان همچنین الیاف کتان را با بنزیل کلرید تیمار کردند و از آن در ساخت کامپوزیت الیاف کتان- پلی‌اتیلن استفاده نمودند. نتایج آنان ۰ درصد بهبود در مقاومت کششی و ۳۳ درصد بهبود در جذب رطوبت بود. فرآیندهای مختلف خمیرکاغذسازی معمولاً از مواد و روش‌های شیمیایی استفاده می‌کنند [۱۷]. از این رو می‌توان این فرآیندها را به‌عنوان دسته‌ای دیگر از روش‌های تیمار شیمیایی طبقه‌بندی نمود. Shakeri و Hashemi (۲۰۰۲) فرآورده چندسازه الیاف خمیرکاغذ - پلی‌پروپیلن سنگین (HDPE)، با استفاده از الیاف دو نوع خمیرکاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) و خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) در چهار سطح ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی با پلی‌اتیلن سنگین را بررسی کرده و اعلام نمودند که افزایش مقدار الیاف از هر دو نوع خمیرکاغذ، طول شکست در نقطه گسیختگی را کاهش داده و مدول الاستیسته را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که تیمارهای حاوی خمیرکاغذ CMP خواص مکانیکی بهتری نسبت به تیمارهای حاوی خمیرکاغذ NSSC دارند [۱۸].

هدف از این بررسی مقایسه اثر باگاس و کلس برنج بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های الیاف طبیعی - پلاستیک است. برای این منظور، از چهار فرآیند مختلف کاغذسازی به‌عنوان تیمار و برای هر دو نوع ماده

^۱ High density polyethylene (HDPE)

جدول ۱ - ویژگی‌های پلی‌اتیلن سنگین استفاده‌شده در ساخت چندسازه‌های زیستی

نام گرید	ویژگی‌ها	ویژگی‌ها
شاخص جریان مذاب	دانسیته	نقطه نرم شوندگی (درجه
(گرم/۱۰ دقیقه)	(گرم/سانتی‌متر مکعب)	سلسیوس)
۱۸	۰/۹۵۲	۱۲۲

ماده سازگار کننده PE-G 101 به‌عنوان ماده سازگار کننده به میزان پنج درصد استفاده شد. ویژگی‌های این ماده در جدول ۲ ذکر شده است.

ماده سازگار کننده از مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن (MAPE) پودری شکل تولیدشده توسط شرکت کیمیا جاوید سپاهان با نام تجاری

جدول ۲ - ویژگی‌های ماده سازگار کننده استفاده‌شده در ساخت چندسازه‌های زیستی

نام تجاری	شکل ظاهری	ماده پایه	میزان مالیک انیدرید (درصد)
PE-G 101	پودر	پلی‌اتیلن	۰/۸-۱/۲

باگاس بوده اما برای کلش برنج زمان پخت ۳۰ و ۴۵ دقیقه و نسبت مایع پخت به الیاف ۴ به ۱ در نظر گرفته شد.

تهیه خمیر کاغذ با فرآیند سودا - آنتراکینون

پخت سودا - آنتراکینون در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و به میزان ۰/۱ درصد وزنی آنتراکینون برای هر دو نوع الیاف لیگنوسولوزی انجام گرفت. قلیابیت ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد به مدت ۶۰، ۷۵ و ۹۰ دقیقه برای باگاس در نظر گرفته شد. پخت کلش برنج با قلیابیت ۱۴ و ۱۶ درصد و طی مدت‌زمان ۴۵ دقیقه صورت گرفت.

تهیه خمیر کاغذ با فرآیند CMP

پخت باگاس با روش CMP در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه با میزان هیدروکسید سدیم و سولفیت سدیم به ترتیب ۴ و ۱۰ درصد صورت گرفت. همچنین پخت کلش برنج در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۵ و ۶۰ دقیقه و با میزان هیدروکسید سدیم و سولفیت سدیم ۱۵ و ۸ درصد انجام شد.

آماده‌سازی خمیرها برای ساخت چندسازه

تهیه خمیر کاغذ با فرآیند سولفیت قلیایی - آنتراکینون

به جهت تولید خمیر کاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون با در نظر گرفتن مقدار رطوبت باگاس و کلش برنج، مقدار ۵۰ گرم ماده خشک درون یکی از سیلندرهاى دایجستر قرار داده شد و به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۶۰ و ۱۷۵ درجه سلسیوس با قلیابیت فعال ۱۶ درصد بر مبنای NaOH در نسبت‌های $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaOH}$ ۲۰/۸۰، ۳۰/۷۰، ۴۰/۶۰، ۵۰/۵۰، ۶۰/۴۰، ۷۰/۳۰، ۸۰/۲۰ عمل پخت بر روی باگاس انجام گرفت. شرایط پخت کلش برنج مشابه باگاس و در زمان‌های ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه بوده است. قابل ذکر است نسبت مایع پخت به باگاس ۶ به ۱ و مایع پخت به کلش برنج ۴ به ۱ بوده است. همچنین آنتراکینون به میزان ۰/۱ درصد مقدار ماده خشک در هر یک از پخت‌ها اضافه گردید.

تهیه خمیر کاغذ با فرآیند مونو اتانول آمین

در این فرآیند از نسبت‌های مختلف مونو اتانول آمین و آب با نسبت‌های مختلف ۷۵/۲۵، ۵۰/۵۰، ۲۵/۷۵ و ۱۰/۹۰ درصد استفاده شد. مدت‌زمان پخت ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت به باگاس ۶ به ۱ در نظر گرفته شده است. دمای پخت و نسبت‌های مونو اتانول آمین به آب برای کلش برنج مشابه

چوب گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران آسیاب شدند. جهت تهیه الیاف با اندازه موردنیاز از الک ارتعاشی با مش ۴۰ و ۶۰ استفاده شد.

تهیه و ساخت چندسازه‌ها

در ابتدا ماده زمینه، ماده تقویت‌کننده و ماده سازگار کننده مطابق با ترکیب تعیین شده در جدول ۳ وزن شده و سپس در کیسه‌های جداگانه آماده گردید. قابل ذکر است که نسبت ماده زمینه به ماده تقویت‌کننده ۶۰ به ۴۰ (درصد) بوده است.

جهت تعیین مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیر کاغذهای تهیه شده از روش آزمون 99 om-236 استاندارد TAPPI استفاده شد. از آنجایی که هدف مقایسه پتانسیل خمیر کاغذهای مختلف جهت تولید چندسازه‌های زیستی بوده است، سعی شده است که خمیر کاغذهای با اعداد کاپای یکسان جهت تولید چندسازه استفاده شوند. برای آسیاب کردن خمیر کاغذ حاصله از روش‌های مختلف کاغذسازی، باگاس و کلش برنج (نمونه شاهد) در ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شدند و در ادامه نمونه‌ها به وسیله آسیاب آزمایشگاهی موجود در کارگاه صنایع

جدول ۳ - مشخصات تیمارها (ترکیبات موجود در چندسازه‌ها)

کد تیمار *	آرد کلش برنج (درصد)	خمیر کلش برنج (درصد)	آرد باگاس (درصد)	خمیر باگاس (درصد)	مالنیک اندرید پلی اتیلن (درصد)	پلی اتیلن سنگین (درصد)
PE	-	-	-	-	-	۱۰۰
PE/B	-	-	۴۰	-	۵	۵۵
PE/AS-AQ	-	-	-	۴۰	۵	۵۵
PE/SODA-AQ	-	-	-	۴۰	۵	۵۵
PE/MEA	-	-	-	۴۰	۵	۵۵
PE/CMP	-	-	-	۴۰	۵	۵۵
PE/R	۴۰	-	-	-	۵	۵۵
PE/SODA-AQ	-	۴۰	-	-	۵	۵۵
PE/ASAQ	-	۴۰	-	-	۵	۵۵
PE/MEA	-	۴۰	-	-	۵	۵۵
PE/CMP	-	۴۰	-	-	۵	۵۵

* PE: پلی اتیلن سنگین، B: باگاس، AS-AQ: الیاف تیمار شده با روش سولفیت قلیایی - آنتراکینون، SODA-AQ: الیاف تیمار شده با روش سودا MEA: الیاف تیمار شده با متواتانول آمین، CMP: الیاف تیمار شده با روش شیمیایی - مکانیکی، R: کلش برنج

دستگاه تزریق^۱ با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. سپس این ماده به درون یک قالب بسته با فشار ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع تزریق شد و شکل نمونه موردنظر آماده گردید. پس از سرد شدن ماده، قالب پس از ۷۵ ثانیه باز شده و نمونه از قالب خارج شد. در این تحقیق از دستگاه تزریق پژوهشگاه پلیمر ایران که دارای سرعت بارگیری ۴۵ دور در دقیقه است استفاده گردیده است. کلیه نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM تولید شدند. قبل از انجام آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی، نمونه‌های ساخته شده برای رسیدن به رطوبت تعادل، به مدت ۲

ترکیبات آماده شده مطابق با جدول ۳ در اکسترودر دو ماریپچه غیر همسوگرد Collin، ساخت کشور آلمان، ۱۹۹۹، سرعت دوران 60 rpm دمای نواحی اکسترودر ۱۷۰-۱۶۰ درجه سلسیوس واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، مخلوط شد. در ادامه بعد از مرحله اکسترودر کردن، گرانول سازی صورت گرفت تا بتوان نمونه‌ها را در دستگاه قالب‌گیری تزریقی وارد نمود. به منظور گرانول کردن نمونه‌ها از دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت WIESER مدل WGLS 200/200 ساخت کشور آلمان واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده گردید. برای تهیه نمونه‌های آزمون از

^۱ Injection

هفته در اتاق کلیمای استاندارد (دمای ۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) قرار گرفتند.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون کشش مطابق با آیین‌نامه D638M-89 استاندارد ASTM بر روی نمونه‌ها و به منظور تعیین مقاومت و مدول الاستیسیته یانگ آن‌ها انجام گردید. نوع M-I نمونه دمبلی شکل، انتخاب و آزمون کشش به وسیله دستگاه آزمون کشش Instron مدل 4486 مجهز به سیستم جمع‌آوری کامپیوتری اطلاعات و ظرفیت سلول بار ۱۰ و ۳۰ کیلو نیوتن بر روی نمونه‌ها انجام گردید. با نصب کرنش‌سنج و تعیین سرعت بارگذاری هشت میلی‌متر/دقیقه سیستم به صورت Crosshead سه نمونه از هر ترکیب مورد آزمون قرار گرفتند. آزمون خمش مطابق با آیین‌نامه D790 استاندارد ASTM به روش سه‌نقطه بر روی نمونه‌ها به منظور تعیین مقاومت و مدول الاستیسیته آن‌ها انجام گردید. آزمون خمش به وسیله دستگاه Instron 4486 انجام گردید. طول دهانه ۸۰ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۸ میلی‌متر/دقیقه انتخاب شد. قابل ذکر است که مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی در این آزمون گزارش گردید. آزمون مقاومت به ضربه فاق‌دار با استفاده از آیین‌نامه D256 استاندارد ASTM با دستگاه آزمون مقاومت به ضربه (Izod) دیجیتالی از نوع پاندولی مدل SANTAM SIT-20 D ساخت کشور ایران انجام شد. آزمون سختی با استفاده از آیین‌نامه D2240 استاندارد ASTM با استفاده از دستگاه آزمون سختی مدل SANTAM, SHD-05 ساخت کشور ایران انجام شد. انجام کلیه آزمون‌های مکانیکی بر روی چندسازه‌های چوب-پلاستیک تولیدشده در این تحقیق طبق شرایط استاندارد و در آزمایشگاه مکانیک چوب و فرآورده‌های مرکب گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه

تهران انجام شد.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

میزان جذب آب نمونه‌ها با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم محاسبه گردید.

آزمون واكشیدگی ضخامت هم‌زمان با آزمون جذب آب مورد بررسی قرار گرفت و به دنبال اندازه‌گیری جذب آب نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت، میزان واكشیدگی ضخامت در مرکز نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضخامت از کولیس دیجیتالی استفاده گردید و پس از تعیین بعد واكشیده شده، از فرمول ۲، میزان واكشیدگی ضخامت به دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری اثرات مستقل و متقابل عوامل متغیر با استفاده از طرح آزمایشات فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی متعادل و با استفاده از تکنیک تجزیه واریانس صورت گرفت. مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS ویرایش ۹/۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

از آنجایی که هدف از این تحقیق مقایسه عملکرد خمیرکاغذهای مختلف جهت تولید نمونه‌های چوب پلاستیک و مشخص کردن اثر لیگنین و همی سلولز بر روی نمونه‌ها است، بنابراین مبنای انتخاب بهینه فرآیندها عدد کاپای برابر گذاشته شد و از میان شرایط متعدد پخت، شرایط جدول ۴ و ۵ برای دو نوع الیاف باگاس و کلش برنج انتخاب شدند.

¹ ANOVA

² Duncan's multiple range test (DMRT)

جدول ۴ - مشخصات تیمارهای بهینه انتخاب شده جهت تولید چندسازه‌های زیستی از باگاس

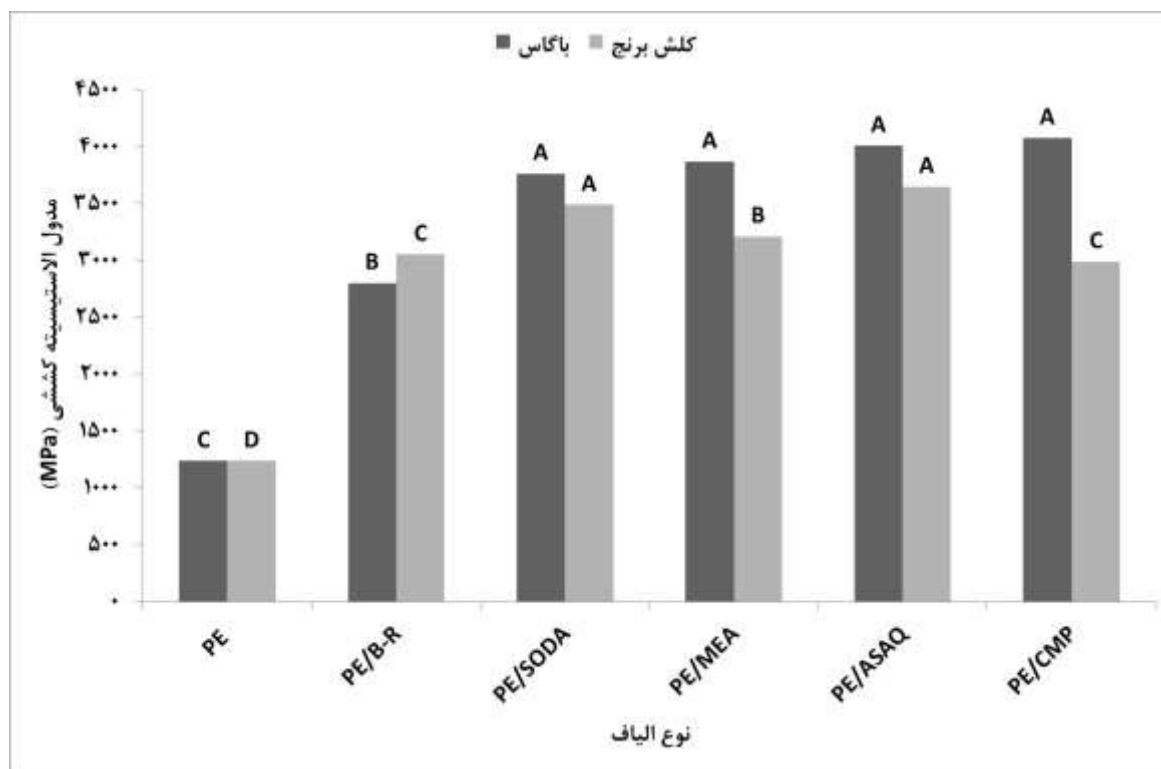
کاپا	بازده کل (درصد)	زمان (دقیقه)	تیمارها باگاس
۱۲/۳	۶۲/۱۶		سولفیت قلیایی - آنتراکینون ۱۶ درصد (نسبت هیدروکسید سدیم به سولفیت سدیم ۵۰ به ۵۰)
۱۲/۵	۷۶/۸	۹۰	مونو اتانول آمین ۷۵ درصد
۱۱/۴۵	۶۱/۴۴		سودا ۲۰ درصد
-	۸۶/۴	۳۰	شیمیایی - مکانیکی (نسبت سدیم هیدروکسید به سولفیت سدیم ۴ به ۱۰)

جدول ۵ - مشخصات تیمارهای بهینه انتخاب شده جهت تولید چندسازه‌های زیستی از کلس برنج

کاپا	بازده کل (درصد)	زمان (دقیقه)	تیمارهای کلس برنج
۲۰	۵۰	۹۰	سولفیت قلیایی - آنتراکینون ۱۶ درصد (نسبت هیدروکسید سدیم به سولفیت سدیم ۲۰ به ۸۰)
۱۸	۵۵/۲۵	۳۰	مونو اتانول آمین ۵۰ درصد
۱۹	۴۹/۸	۴۵	سودا ۱۶ درصد
-	۸۵	۳۰	شیمیایی - مکانیکی (نسبت سدیم هیدروکسید به سولفیت سدیم ۸ به ۱۵)

در فرآیندهای نام‌برده، تقریباً باهم برابر است و در چندسازه‌های تولیدی، از نظر مدول الاستیسیته کششی بین خمیرکاغذهای شیمیایی و مکانیکی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. از سوی دیگر تیمار حاوی باگاس خام / پلیمر دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به پلیمر و همچنین سایر روش‌های خمیرکاغذ سازی است. افزودن الیاف تیمار شده و تیمار نشده باعث افزایش مدول الاستیسیته در چندسازه‌ها شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار مدول الاستیسیته کششی مربوط به چندسازه حاوی الیاف فرآیند خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) ($4076/2$ MPa) و کمترین مقدار آن مربوط به پلیمر ($1235/4$ MPa) است. شکل ۱ بیان می‌دارد که در مدول الاستیسیته کششی فرآیندهای خمیرکاغذ سازی CMP، MEA، AS-AQ و SODA-AQ تفاوت معنی‌داری برای باگاس وجود ندارد. به بیان دیگر میزان مدول الاستیسیته



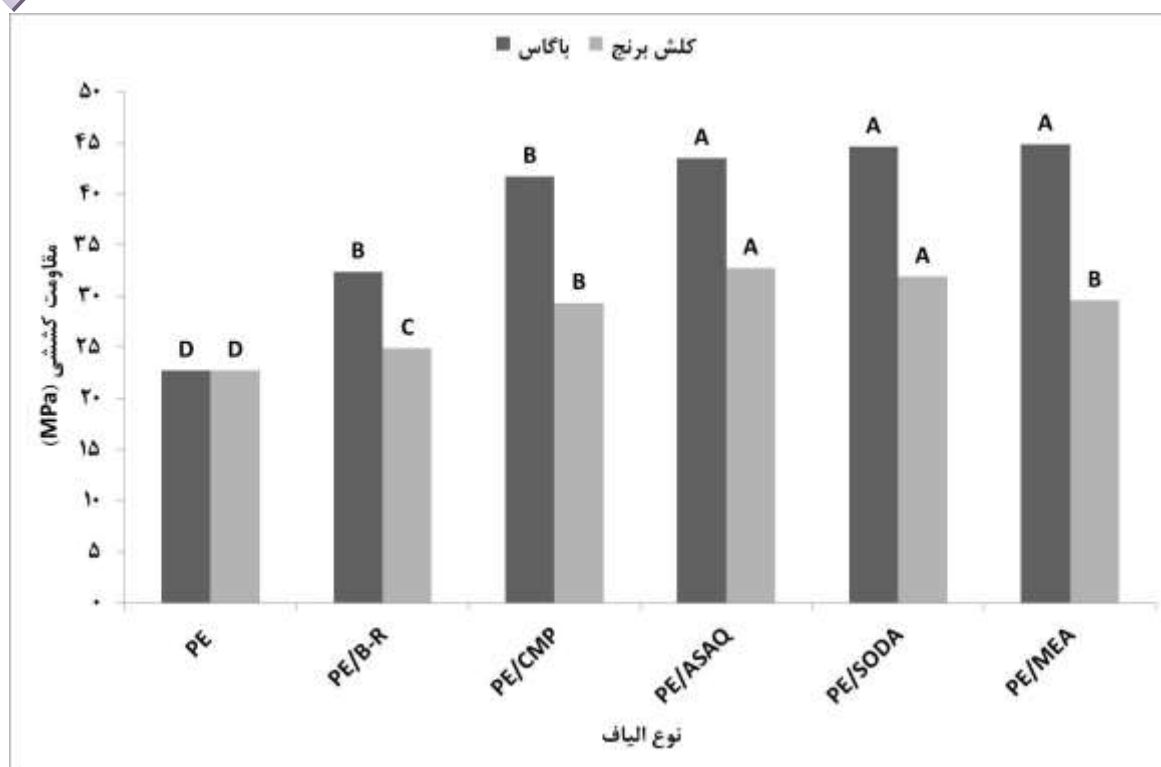
شکل ۱- اثر نوع الیاف بر مدول الاستیسیته کششی

داشتند، مقدار مدول الاستیسیته کششی را در صورت استفاده از ۶۰ درصد پلیمر، ۱۰۰۷ MPa گزارش کردند. این ویژگی با افزودن ۳ و ۵ درصد ماده جفت کننده به ترتیب به ۷۴۹/۶ MPa و ۱۱۸۶/۶ تغییر یافت [۲۱]. سازگارکننده های شیمیایی نظیر پلی پروپیلن مالئیک دار و پلی اتیلن مالئیک دار دارای مولکول‌های دو کار کردند، اول واکنش آن‌ها با گروه‌های هیدروکسیل سلولز که منجر به کاهش قطبیت الیاف شده و آن را به ماده زمینه که غیر قطبی است، شبیه می‌سازد و دوم واکنش با گروه‌های عملکردی ماتریس پلیمری [۲۲].

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان مقاومت کششی مربوط به چندسازه حاوی الیاف تهیه شده با فرآیند MEA و با میزان ۴۴/۸۷ MPa و کمترین آن مربوط به چندسازه پلی اتیلنی بدون الیاف و با میزان ۲۲/۷۱ MPa است. چندسازه‌های دارای الیاف باگاس حاصل از فرآیندهای MEA، SODA-AQ و AS-AQ به ترتیب بیشترین میزان مقاومت کششی را در مقایسه با باگاس خام / پلیمر و همچنین پلیمر خالص از خود نشان دادند اما بین سه فرآیند اشاره شده اختلاف معنی‌داری از لحاظ مقاومت کششی مشاهده نمی‌گردد. بیشترین مقدار مقاومت کششی چندسازه‌های حاوی کلش برنج با تیمار سولفیت قلیایی - آنتراکینون و به میزان ۳۲/۷۴ MPa حاصل شد. لازم به ذکر است که بین تیمارهای ASAQ و SODA و همچنین CMP و MEA تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

با توجه به شکل ۱ و مقادیر مدول الاستیسیته کششی کلش برنج مشخص می‌شود که میان تیمارهای سولفیت قلیایی و سودار اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. همچنین میان چندسازه‌های حاوی الیاف تیمار شده به روش CMP و چندسازه‌های فاقد الیاف تیمار شده (کلش برنج) هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری در مورد مدول الاستیسیته دیده نشد. بیشترین مقدار مدول الاستیسیته کششی کلش برنج مربوط به چندسازه حاوی الیاف فرآیند خمیرکاغذ سولفیت قلیایی - آنتراکینون (ASQA) (۳۶۴۸/۶ MPa) و کمترین مقدار آن مربوط به CMP (۳۰۰۸/۶ MPa) است (شکل ۱).

Li و همکاران (۲۰۰۷) مقدار مدول را برای چندسازه حاوی خمیرکاغذ کرافت رنگ‌بری شده برابر با ۳۰۰۰ MPa گزارش کردند و اعلام کردند که دفیبره شدن الیاف منجر به نرم شدن و افزایش سطح مشترک الیاف و ماده زمینه شده و برهمکنش و اختلاط بهتر این اجزا و در نتیجه افزایش مدول الاستیسیته کششی را باعث می‌شود [۱۹]. همچنین افزایش مدول الاستیسیته کششی می‌تواند مربوط به اختلاط بهتر الیاف در ماده زمینه بوده که در اثر تمیز شدن سطح الیاف و حذف ناخالصی‌ها و افزایش زبری سطح و در نتیجه بهبود برهمکنش مکانیکی اجزا و همچنین دفیبره شدن الیاف طی فرآیند تیمار اتفاق می‌افتد [۲۰]. همچنین Ghofrani و همکاران (۲۰۱۲) طی بررسی که روی ساخت چندسازه‌های چوب پلاستیک با استفاده ضایعات پلی اتیلنی و پوسته‌ی شلتوک برنج

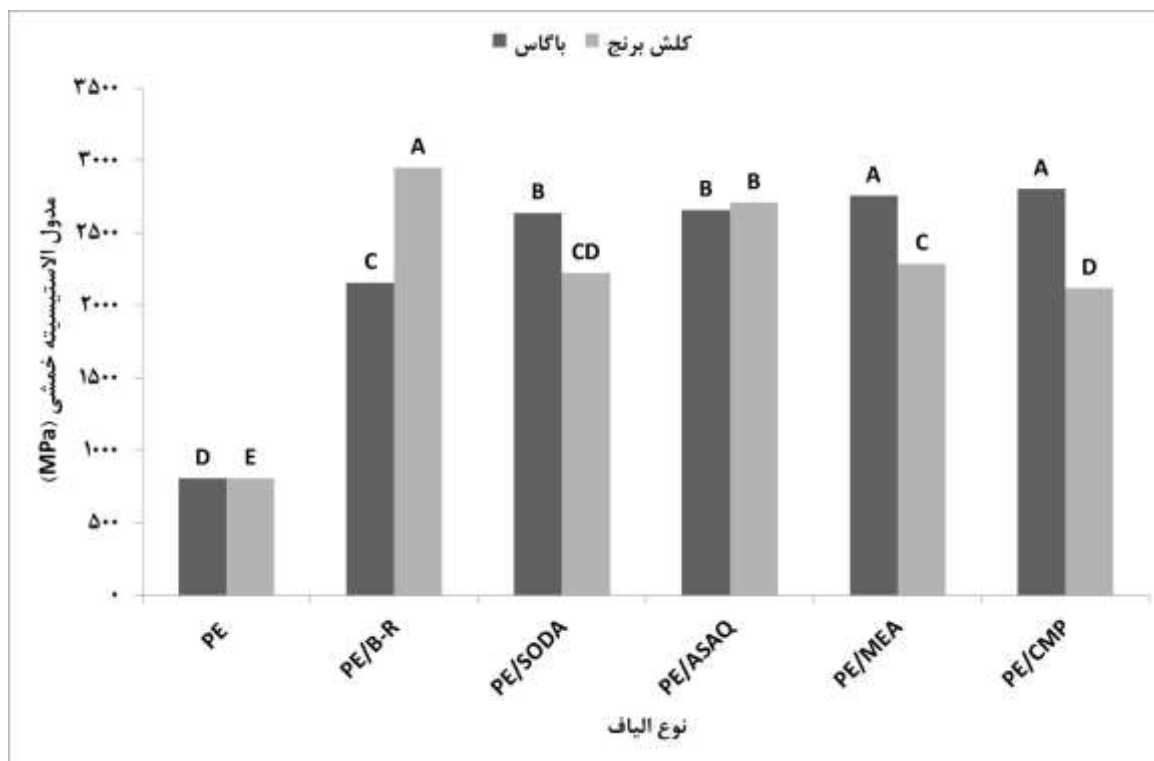


شکل ۲- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت کششی

پلی اتیلنی خالص می‌باشند. شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که چندسازه حاوی کلش برنج تیمار نشده دارای بیشترین مقدار مدول الاستیسیته خمشی (۲۹۵۳ MPa) است و تیمارهای شیمیایی کلش برنج برخلاف باگاس، باعث کاهش مدول الاستیسیته خمشی می‌شود. Mishra و همکاران (۲۰۰۱) گزارش دادند که در تیمارهای قلیایی که با غلظت بیشتر از ۵ درصد هیدروکسید سدیم انجام می‌شوند الیاف شکسته و ضعیف بیشتری ایجاد می‌شوند و در نتیجه مقاومت‌های مکانیکی کاهش می‌یابد [۲۳].

Li و همکاران (۲۰۰۷) برای مدول الاستیسیته خمشی چندسازه‌های تقویت‌شده با خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری شده مقدار ۳۳۰۰ MPa را گزارش کردند [۱۹]. به‌طور کلی تیمارهای قلیایی مقداری از لیگنین، واکس و روغن‌های پوشاننده سطح خارجی دیواره الیاف و نیز سلولزهای دی پلیمر شده و کریستال‌های با طول کوتاه را برمی‌دارد [۲۴]. این رویداد باعث در معرض قرارگیری بیشتر بخش‌های واکنش‌دهنده سلولز می‌گردد و در نتیجه مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابد.

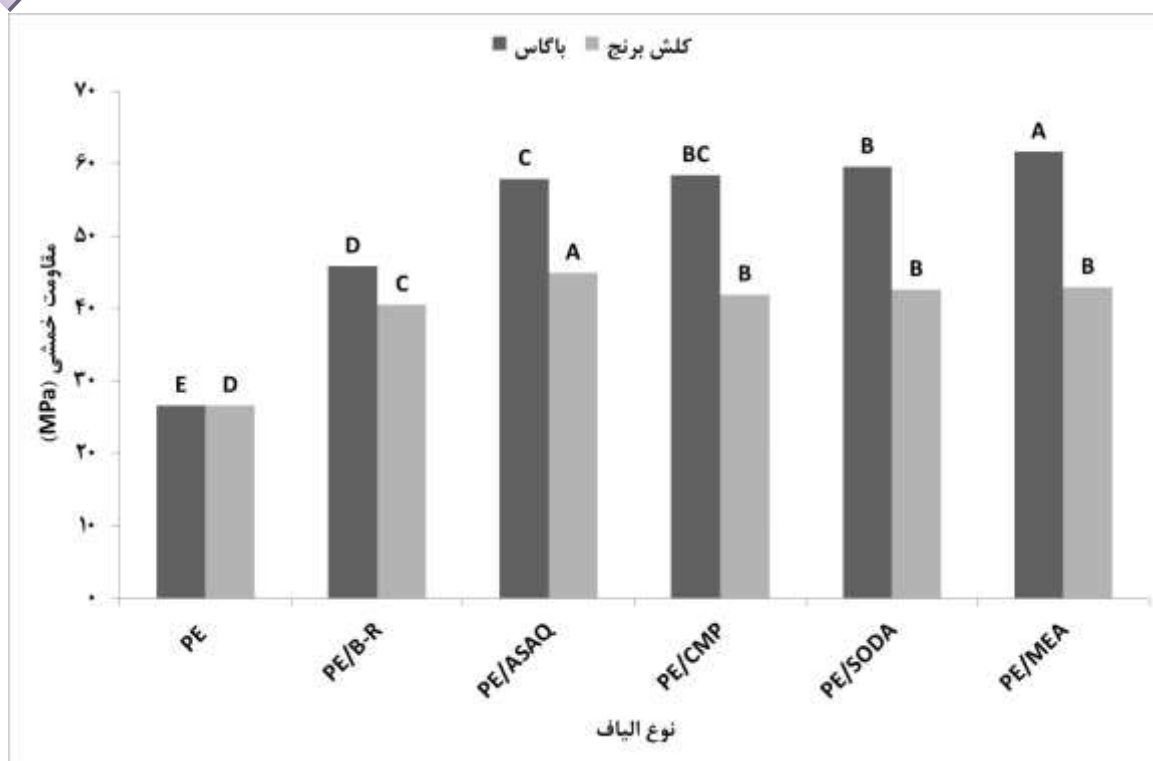
بر طبق شکل ۳ بیشترین میزان مدول الاستیسیته خمشی متعلق به چندسازه حاوی الیاف تیمار شده به روش CMP و با میزان ۲۸۰۳/۸۹ MPa است. در حالی که کمترین مقدار مدول الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه پلی اتیلنی با میزان ۸۰۶/۳ MPa است. از سوی دیگر این شکل بیان می‌دارد که افزودن الیاف به چندسازه پلی اتیلنی باعث افزایش مدول الاستیسیته خمشی می‌گردد به نحوی که الیاف خام باگاس و به‌ویژه الیاف تیمار شده باعث افزایش چشمگیری در نتایج مدول الاستیسیته خمشی شده است. در این میان عملکرد الیاف تیمار شده با روش‌های مختلف خمیر و کاغذسازی نسبت به الیاف باگاس خام بالاتر بوده است. الیاف حاصل از روش‌های فرآیندهای AS-AQ و SODA-AQ نیز دارای مقادیر مدول الاستیسیته خمشی مشابه یکدیگر می‌باشند. البته با این تفاوت که الیاف تیمار شده با هر یک از این چهار فرآیند دارای مقادیر مدول الاستیسیته خمشی بیشتری در مقایسه با چندسازه‌های دارای الیاف باگاس تیمار نشده و



شکل ۳- اثر نوع الیاف بر روی مدول الاستیسیته خمشی

Li و همکاران (۲۰۰۷) مقدار مقاومت خمشی را برای خمیرکاغذ کرافت رنگ‌بری شده به‌عنوان تقویت‌کننده در چندسازه ۷۸ MPa گزارش کردند [۱۹]. همچنین Ghofrani و همکاران (۲۰۱۲) طی بررسی‌های انجام‌شده روی چندسازه‌های حاوی ۶۰ درصد ضایعات پلی‌اتیلن و ۴۰ درصد شلتوک برنج، مقدار مقاومت خمشی را ۴ MPa و ۵۲/۱۴ گزارش کردند [۲۱]. با توجه به شکل ۴ و همچنین نتایج محققان اشاره‌شده، استفاده از تیمارهای قلیایی باعث افزایش معنی‌دار مقاومت‌های مکانیکی شد. تیمار قلیایی منجر به افزایش درصد آمورف سلولز نسبت به کریستالین شده است. تیمار قلیایی دو اثر بر روی الیاف باقی می‌گذارد، نخست موجب افزایش زبری سطح و در نتیجه بهبود اتصال مکانیکی می‌شود و سپس موجب افزایش مقدار سلولز در معرض درروی سطح الیاف و در نتیجه افزایش مقدار بخش‌های واکنش‌زا می‌شود [۲۵].

شکل ۴ اثر نوع الیاف را بر روی مقاومت خمشی چندسازه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ بیشترین میزان مقاومت خمشی (۶۱/۶ MPa) مربوط به چندسازه دارای الیاف تیمار شده با فرآیند MEA و کمترین مقاومت خمشی (۲۶/۵۵ MPa) مربوط به نمونه پلی‌اتیلنی است. الیاف تیمار نشده و تیمار شده‌ی باگاس تا حدود زیادی باعث افزایش مقاومت خمشی می‌گردند. در این بین، الیاف حاصل از فرآیندهای خمیرکاغذ سازی در مقایسه با الیاف باگاس خام، دارای مقاومت خمشی بالاتری هستند. بهترین عملکرد در میان تیمارهای شیمیایی کلش برنج مربوط به چندسازه دارای الیاف تیمار شده به روش ASAQ و با مقدار ۴۴/۸۷ MPa است. تیمارهای شیمیایی انجام‌شده بر روی هر دو نوع الیاف سبب افزایش مقاومت خمشی شده اما نوع این تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارد.



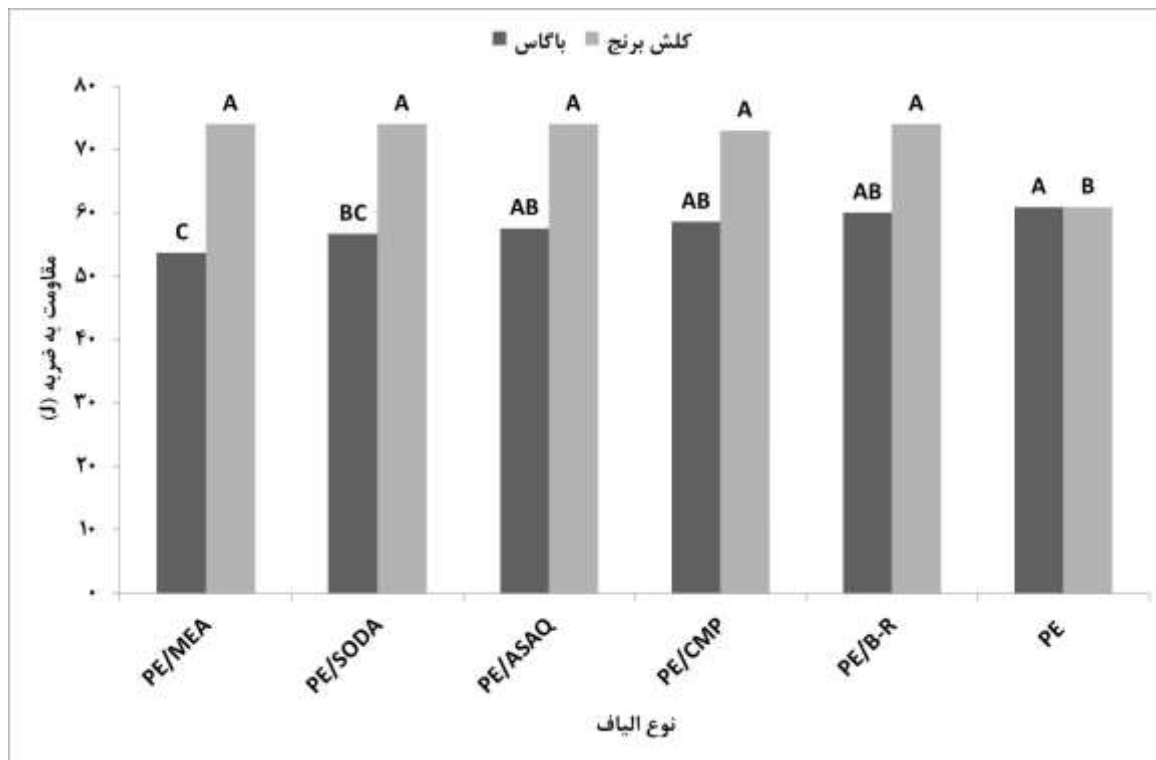
شکل ۴- اثر نوع الیاف روی مقاومت خمشی

برنج به روش‌های MEA، SODA، ASAQ و چندسازه تیمار نشده کلس برنج اختصاص یافت. چندسازه حاوی کلس برنج تیمار شده به روش CMP با یک واحد کاهش در مقاومت به ضربه، اختلاف معنی‌داری را با سایر روش‌های خمیر - کاغذسازی نشان نداد.

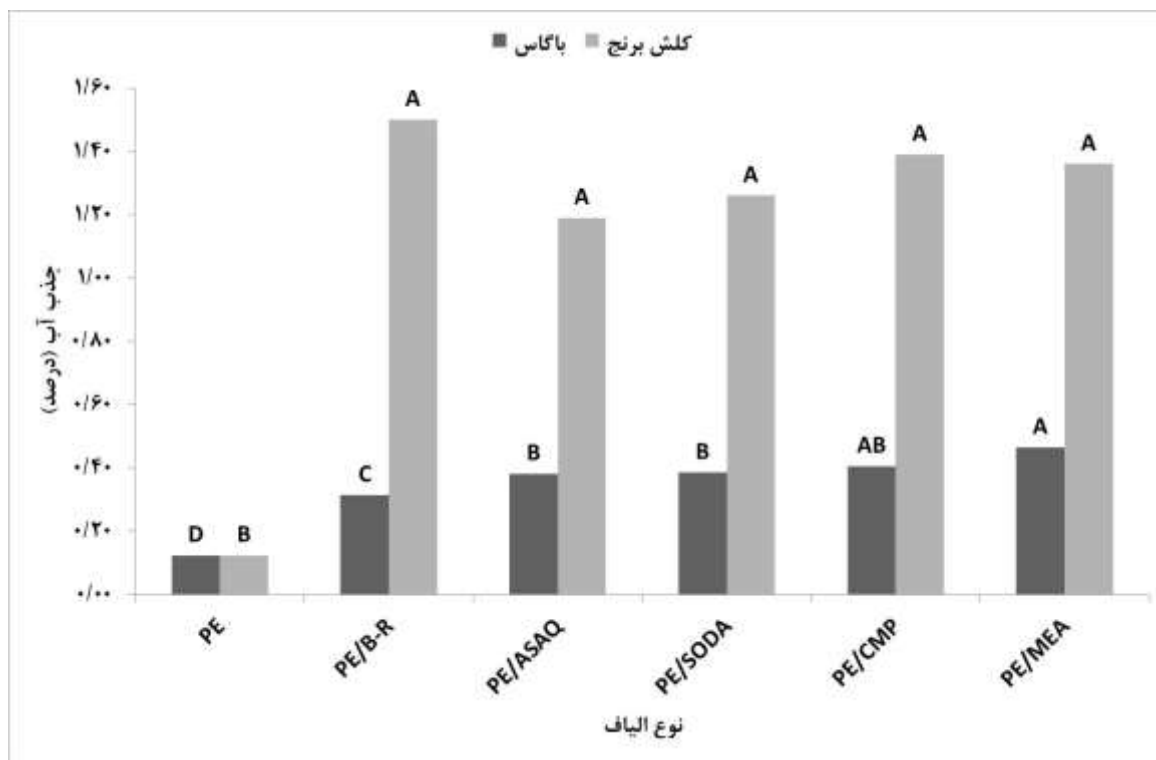
شکل ۶ نشان‌دهنده‌ی اثر نوع الیاف بر روی جذب آب چندسازه‌ها پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری است. با توجه به شکل (قسمت باگاس)، بیشترین میزان جذب آب (۰/۴۶ درصد) مربوط به چندسازه دارای الیاف باگاس تیمار شده با فرآیند MEA و کمترین میزان جذب آب با مقادیر ۰/۱۲ و ۰/۳۱ به ترتیب مربوط به نمونه پلی‌اتیلنی و چندسازه دارای الیاف تیمار نشده باگاس است. چندسازه‌های دارای الیاف تیمار شده به روش SODA- AQ و AS-AQ نتایج یکسانی (۰/۳۸ درصد) در جذب آب پس از ۲۴ ساعت از خود نشان دادند. شکل ۶ همچنین نشان می‌دهد که با افزودن کلس برنج، جذب آب نمونه‌ها به‌طور فراوانی افزایش می‌یابد. به‌نحوی که بیشترین مقدار جذب آب (۱/۵ درصد) در چندسازه حاوی کلس برنج تیمار نشده مشاهده شد و کمترین میزان (۱/۱۹ درصد) نیز مربوط به چندسازه دارای الیاف کلس برنج تیمار شده

شکل ۵ اثر نوع الیاف را بر روی مقاومت به ضربه چندسازه‌های تولیدشده نشان می‌دهد. با توجه به ستون‌های باگاس شکل، بیشترین مقدار مقاومت به ضربه (۶۰/۸۸ J) مربوط به نمونه‌ی پلی‌اتیلنی و کمترین میزان مقاومت به ضربه (۵۳/۶۶ J) مربوط به چندسازه حاوی الیاف باگاس تیمار شده با فرآیند MEA است. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف باگاس به هر دو صورت تیمار نشده و تیمار شده، دارای اثر منفی بر مقاومت به ضربه چندسازه‌ها است و باعث کاهش مقادیر مقاومت به ضربه می‌گردد. باین‌وجود کمترین افت در میزان مقاومت به ضربه پس از نمونه پلی‌اتیلنی مربوط به چندسازه‌های حاوی الیاف باگاس تیمار نشده (۶۰ J) و تیمار شده به روش CMP (۵۸/۵۵ J) است. چندسازه‌های دارای الیاف تیمار نشده باگاس و الیاف تیمار شده با روش‌های CMP و AS-AQ دارای مقادیر مشابه مقاومت به ضربه می‌باشند و بین این مقادیر اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد. برخلاف چندسازه‌های حاوی باگاس، با افزودن الیاف کلس برنج به چندسازه‌ها مقاومت به ضربه به‌طور چشمگیری افزایش یافت. بیشترین میزان مقاومت به ضربه (۷۴ J) به چندسازه‌های تیمار شده با الیاف کلس

به روش ASAQ است. با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که در مجموع کلش برنج جذب آب بیشتری در مقایسه با باگاس دارد.



شکل ۵ - اثر مستقل نوع الیاف بر مقاومت به ضربه

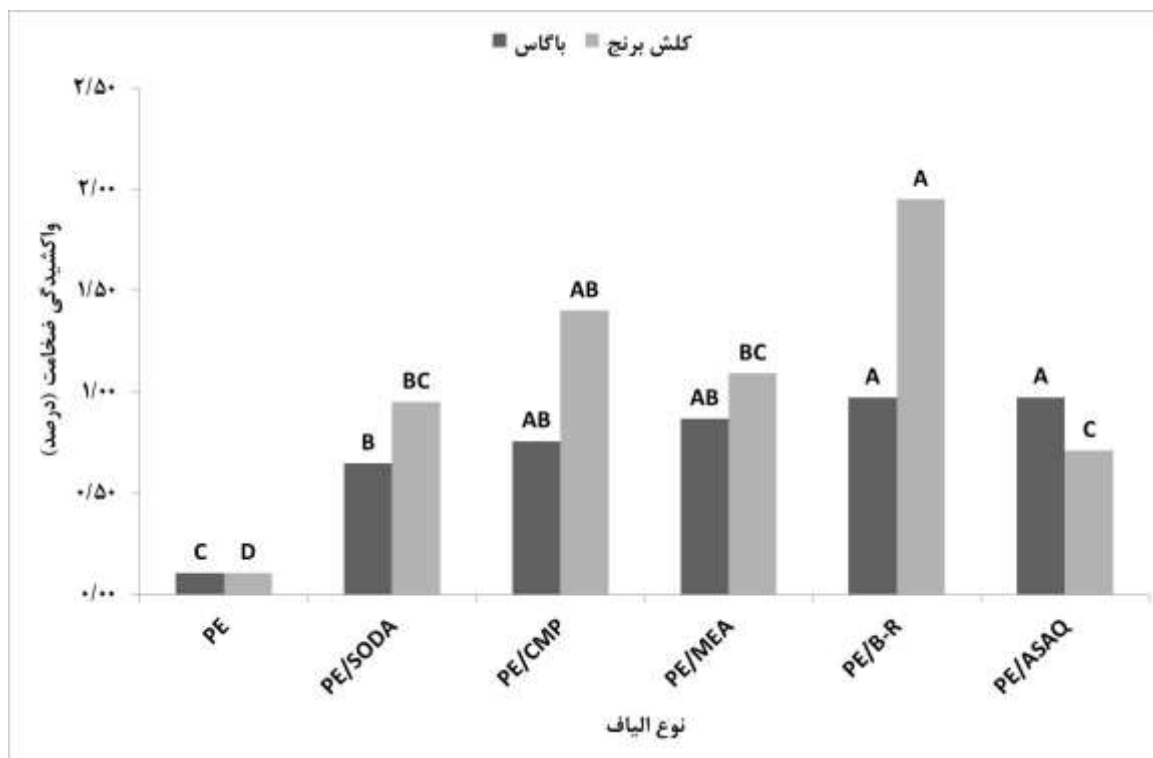


شکل ۶ - اثر نوع الیاف بر روی جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری

چندسازه دارای الیاف باگاس تیمار شده با فرآیند AS-AQ و چندسازه دارای الیاف باگاس تیمار نشده (B/PE) و کمترین میزان واکسیدگی ضخامت (۰/۱۰ درصد) مربوط به نمونه پلی اتیلنی است. چندسازه‌های دارای الیاف تیمار شده به روش‌های MEA و CMP دارای نتایج مشابه در واکسیدگی ضخامت می‌باشند. چندسازه حاوی الیاف باگاس تیمار شده با فرآیند SODA-AQ بعد از نمونه پلی اتیلنی، کمترین میزان واکسیدگی ضخامت (۰/۶۴ درصد) را نشان داد. چندسازه‌های حاوی کلش برنج در مجموع واکسیدگی ضخامت بیشتری در مقایسه با نمونه‌های حاوی باگاس نشان دادند. بیشترین مقدار واکسیدگی ضخامت در چندسازه‌ی حاوی کلش برنج تیمار نشده، به میزان ۱/۹۵ درصد ثبت شد. این در حالی است که چندسازه دارای الیاف تیمار شده به روش ASAQ کمترین میزان واکسیدگی ضخامت (۰/۷۱ درصد) را نشان داد (شکل ۷).

دسترس‌پذیری الیاف چوبی و میزان جذب آب آن‌ها عامل مهمی در جذب آب چندسازه است. هنگامی که چسبندگی مناسبی بین الیاف و ماده زمینه وجود داشته باشد امکان نفوذ آب به ناحیه سطح مشترک و الیاف کمتر خواهد بود و در نتیجه جذب آب الیاف و تأثیر منفی آن بر خواص مکانیکی چندسازه نیز کمتر خواهد بود. ویژگی‌های شیمیایی الیاف از نظر جذب آب نیز عامل مؤثر دیگری است. تیمار حذف همی سلولز سبب کاهش آب‌دوستی الیاف و در نتیجه کاهش جذب آب آن‌ها می‌شود. در اثر جذب آب علاوه بر تخریب ناحیه سطح مشترک، الیاف چوب نیز دچار تغییر شده و در نتیجه توانایی انتقال تنش الیاف و تحمل بار چندسازه کاهش می‌یابد [۲۶].

شکل ۷ نشان‌دهنده‌ی اثر نوع الیاف بر روی واکسیدگی ضخامت چندسازه‌ها پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری است. با توجه به شکل (نتایج باگاس) بیشترین میزان واکسیدگی ضخامت (۰/۹۷ درصد) مربوط به



شکل ۷- اثر نوع الیاف بر روی واکسیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری

۴/۸۷ درصد گزارش کردند [۲۱]. در مجموع چندسازه‌های دارای الیاف تیمار شده مقادیر واکسیدگی ضخامت کمتری در مقایسه با چندسازه‌های حاوی الیاف تیمار نشده

Ghofrani و همکاران (۲۰۱۲) میزان واکسیدگی ضخامت چندسازه‌های حاوی پلی اتیلن ضایعاتی و پوسته شلتوک برنج را پس از ۲ و ۲۴ ساعت به ترتیب ۳/۴۷ و

داشتند. رفتار جذب آب در مواد مرکب از طریق مکانیسم جذب دیواره سلولی الیاف طبیعی و فرآیند مویبندی که از طریق خلل و فرج موجود در حدفاصل ماده لیفی و ماتریس عمل می‌کند، اتفاق می‌افتد. با افزایش سازگاری در اثر تیمار شیمیایی خلل و فرج بین آرد پوسته برنج و پلی‌اتیلن سنگین کم شده و با تشکیل اتصالات قوی امکان نفوذ آب به درون منطقه بین فازی کم می‌گردد [۲۷].

نتیجه‌گیری

نتایج مدول الاستیسیته کششی نشان داد که به‌طور کلی تیمار شیمیایی الیاف با روش‌های مختلف خمیر - کاغذسازی باعث افزایش مدول الاستیسیته کششی می‌شود. این تحقیق اثبات نمود که تیمارهای شیمیایی بر روی باگاس مؤثرتر از کلش برنج بوده اما کلش برنج تیمار نشده در مقایسه با باگاس تیمار نشده عملکرد مطلوب‌تری را نشان داد. تیمارهای شیمیایی برای هر دو نوع الیاف (باگاس و کلش برنج) باعث افزایش مقاومت کششی شد اما در مجموع بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. نتایج مقاومت کششی برخلاف مدول الاستیسیته کششی، نشان داد که الیاف باگاس (تیمار شده و نشده) عملکرد مطلوب‌تری در مقایسه با کلش برنج دارد. نتایج مدول الاستیسیته خمشی نشان داد که چندسازه حاوی کلش برنج مدول الاستیسیته خمشی بالاتری نسبت به چندسازه حاوی باگاس دارد و تیمارهای شیمیایی برای باگاس مؤثرتر بوده و به افزایش مدول الاستیسیته خمشی منجر شده است، درحالی‌که همین تیمارها سبب کاهش مدول الاستیسیته خمشی در چندسازه‌های حاوی کلش برنج شده است. نتایج مقاومت خمشی نشان داد که با افزودن الیاف (باگاس و کلش برنج) به پلی‌اتیلن، مقاومت خمشی افزایش می‌یابد و با تیمارهای شیمیایی، مقاومت خمشی بیشتر می‌شود. درنهایت، چندسازه‌های حاوی الیاف باگاس (تیمار شده و نشده) عملکرد بهتری در مقایسه با چندسازه‌های الیاف کلش برنج نشان دادند. افزودن باگاس و الیاف تیمار شده‌ی آن سبب کاهش مقاومت به ضربه چندسازه شد. از سوی دیگر، افزودن کلش برنج و الیاف تیمار شده‌ی آن منجر به افزایش قابل‌توجه مقاومت به ضربه شد. تفاوت معنی‌داری در

افزایش و کاهش مقاومت به ضربه در چندسازه‌های حاوی الیاف باگاس و کلش برنج (تیمار شده و نشده) مشاهده نشد و فقط افزودن الیاف باگاس و کلش برنج سبب کاهش و افزایش مقاومت به ضربه شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، کمترین میزان جذب آب بعد از نمونه‌های پلی‌اتیلنی مربوط به چندسازه‌های حاوی الیاف باگاس تیمار نشده است. در توضیح علت این امر می‌توان به اثر افزایش سطح ویژه و کاهش مقدار لیگنین بر اثر فرآیندهای خمیرکاغذ سازی اشاره نمود. به‌طوری‌که با استفاده از روش‌های مختلف خمیرکاغذ سازی، پالایش الیاف و استفاده از مواد شیمیایی، سطح ویژه الیاف افزایش می‌یابد و این موضوع باعث افزایش دسترسی مولکول‌های آب به الیاف باگاس می‌شود. از سوی دیگر با حذف لیگنین، موجبات دسترسی بیشتر مولکول‌های آب به الیاف فراهم می‌گردد و در نتیجه الیاف تیمار شده با فرآیندهای خمیرکاغذ سازی در مقایسه با الیاف تیمار نشده ظرفیت جذب آب بیشتری پیدا می‌کنند. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق حاکی از ظرفیت بالای جذب آب الیاف کلش برنج در مقایسه با باگاس بود. از سوی دیگر، تیمارهای انجام‌شده بر روی الیاف منجر به افزایش جذب آب در چندسازه‌های حاوی باگاس و کاهش جذب آب در چندسازه‌های دارای کلش برنج گردید. بررسی نتایج واکشیدگی ضخامت نشان داد که چندسازه‌های حاوی الیاف تیمار نشده (باگاس و کلش برنج) بیشترین مقدار واکشیدگی ضخامت را دارا می‌باشند. درحالی‌که تیمار الیاف با روش‌های مختلف خمیر - کاغذسازی منجر به کاهش واکشیدگی ضخامت چندسازه‌های می‌شود. درنهایت بهترین روش تیمار (کمترین میزان واکشیدگی ضخامت) برای الیاف باگاس روش SODA (۶۴ درصد) و برای کلش برنج روش ASAQ (۷۱ درصد) مشخص شد.

منابع

- [1] Kord, B., Kord, B., Purabasi, S. and Kyayefar, A. 2010. The Effect of Content and Type of Reinforced Lignocellulosic Material on the Physical and Mechanical Characteristics Wood-Plastic Composite. *Journal of Sciences and Technical of Natural Resources*, 20(3):57-68. (In Persian).
- [2] Gorokhovskiy, A.V., Escalante-Garcia, J.I., Gashnikova, G.Yu., Nikulina, L.P. and Artemenko, S.E., 2005. Composite materials based on wastes of flat glass processing. *Waste Management*. 25(7):733-736.
- [3] Panthapulakkal, S. and Sain, M., 2007. Agro-residue reinforced high-density polyethylene composites: fiber characterization and analysis of composite properties. *Composites Part A*. 38(6):1445-1454.
- [4] Wang, Y.C., Wong, P.M.H. and Kodur, V., 2007. An experimental study of the mechanical properties of fibre reinforced polymer (FRP) and steel reinforcing bars at elevated temperatures. *Composite Structures*. 80(1):131-140.
- [5] Allahdadi, M., Hejazi, S., Jonoobi, M., Abdolkhani, A. and Jamalirad, L., 2016. Effect of Bagasse Chemical Pulping and Coupling Agent on the Physical - Mechanical Properties of Composites Based on Bagasse pulp/Low density polyethylene. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 7(3):349-362. (In Persian).
- [6] Mechraoui, A., Riedl, B. and Rodrigue, D., 2007. The effect of fibre and coupling agent content on the mechanical properties of hemp/polypropylene composites. *Composite Interfaces*, 14(7-9):837-848.
- [7] Arbelaiz, A., Fernandez, B., Cantero, G., Llano-Ponte, R., Valea, A. and Mondragon, I., 2005. Mechanical properties of flax fibre/polypropylene composites. Influence of fibre/matrix modification and glass fibre hybridization. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 36(12):1637-1644.
- [8] Najafi, S., Tajvidi, M. and Hamidina, E., 2007. "Effect of temperature, plastic type and virginity on the water uptake of sawdust/plastic composites." *Holz Roh Werkst*, 65:377-382.
- [9] Razavi-Nouri, M., Jafarzadeh, F., Oromiehie, A. and Langroudi, A.E., 2006. Mechanical properties and water absorption behavior of chopped rice husk- filled polypropylene composites. *Iranian polymer Jour*, 9:757-766. (In Persian).
- [10] Tong, J.Y., Royan, N.R.R., Ng, Y.C., Ghani, M.H.A. and Ahmad, S., 2013. Study of the mechanical and morphology properties of recycled HDPE composite using rice husk filler. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014:1-6.
- [11] Maldas, D. and kokta, B. R., 1989. Improving Adhesion of wood fiber with polystyrene by the chemical Treatment of fiber with a coupling Agent and the Influence on the Mechanical properties of composites. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 3(7):529-539.
- [12] Hill, C., 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley and Sons Ltd, 260 p.
- [13] Rowell, R.M., 1975. Chemical modification of wood: Advantages and disadvantages, *Proceedings Am. Wood Preservers Association*, 1-10.
- [14] Militz, H. and Beckers, E.P.J., 1994. Process for acetylating solid wood. *European Patent Application*, 85850268.5.
- [15] Evans, P.D., Wallis, A.F.A. and Owen, N.L., 2000. Weathering of chemically modified of scote pine acetylated to different weight gains. *Wood science and technology*, 34(2):151-165.
- [16] Kord, B. and Taghizadeh Haratbar, D., 2014. Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 29(7): 979-992.

- [17] Wang, L.K., Wang, L., Chen, Y. and Zhang, C.H., 2005. Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/Nano clay composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(11):1890-1896.
- [18] Shakeri, A. and Hashemi, S.A., 2002. The physical properties and topography of the composite material made using paper fibers and high density polyethylene. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 9(1):171-182.
- [19] Li, x., Tabi, L.G. and Panigrahi, S., 2007. Chemical treatment of natural fiber for Use natural fiberreinforced composites: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15:25-33.
- [20] Lee, Y.H., Sain, M., Kuboki, T. and Park, C.B., 2009. Extrusion foaming of nano-clay filled wood fiber composites for automotive applications. *Journal of Material and Manufacturing*, 1:641-647.
- [21] Ghofrani, M., Pishan, S., Mohammadi, M. R. and Omid, H., 2012. A study on rice husk/recycled high density polyethylene composites-their physical and mechanical properties. *Environmental Sciences*, 9(1):99-112.
- [22] Najafi, A., 2015. Chemical treatment of rice husk with acetic acid as substitute for MAPE in rice husk/high density polyethylene composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(3):443-456. (In Persian).
- [23] Mishra, S., Misra, M., Tripathy, S. S., Nayak, S. K. and Mohanty, A. K., 2001. Graft Copolymerization of Acrylonitrile on Chemically Modified Sisal Fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 286(2):107-113.
- [24] Kokot, S. and S. Stewart, 1995. An Exploratory Study of Mercerized Cotton Fabrics by DRIFT Spectroscopy and Chemometrics. *Textile Research Journal*, 65(11), PP: 643-651.
- [25] Garcia-Jaldon, C., Dupeyre, D. and Vignon, M. R., 1998. Fibres from semi-retted hemp bundles by steam explosion treatment. *Biomass Bioenergy*, 14:251-260.
- [26] Chow, C.P.L., Xing, X.S. and Li, R.K.Y., 2007. Moisture absorption studies of sisal fiber reinforced polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 67:306-313.
- [27] Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson S., 2004. Comparison of water absorption in natural cellulosic fiber from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Composites: part A*, 35:1267-1276.

Comparative investigation of treated bagasse and rice straw on physical and mechanical properties of natural fiber reinforced composites (NFRC)

Abstract

This study investigated the effects of lignocellulosic materials (bagasse and rice straw) and four pulping processes as fiber's treatment on physical and mechanical properties of natural fiber reinforced composites. Lignocellulosic material in form of pulp flour (alkaline sulfite anthraquinone, soda anthraquinone, monoethanolamine, and chemical-mechanical pulping), 5 wt.% maleic anhydride polyethylene as coupling agent and high-density polyethylene (HDPE) were used to produce bio-composites by injection molding process. Polymer-to-fibers ratio for all reinforced composites was 60:40 wt.%. Mechanical properties including tensile properties, flexural properties, notched Izod impact strength and physical properties such as water absorption and thickness swelling were evaluated according to ASTM standards. The results showed that treated fibers compared to untreated fibers led to an increase and a decrease of flexural modulus in bagasse and rice straw reinforced composites, respectively. On the other hand, these treatments increased tensile modulus of both bagasse and rice straw reinforced composites. The results indicated that flexural and tensile strength of bagasse composites were significantly higher than rice straw composite. In contrast, rice straw composites showed higher impact strength, water absorption (WA), and thickness swelling (TS) in comparison with the bagasse reinforced composites. The four pulping processes decreased WA and TS of both lignocellulosic composites.

Keywords: pulp, bagasse, rice straw, composite, HDPE.

S. B. Hosseini¹
S. Hedjazi^{2*}
L. Jamalirad³
M. Fatahi Amin⁴
Soheila Izadyar⁵

¹ MSc Graduate, Department of wood and paper science and technology, University of Tehran, Karaj, Iran

² Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

⁴ MSc, Department of wood and paper science and technology, University of Tehran, Karaj, Iran

⁵ Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
shedjazi@ut.ac.ir

Received: 2017/01/15
Accepted: 2017/03/12