

## بررسی ویژگی‌های چندسازه‌های زیستی خمیر کاغذ - پلی پروپیلن از باگاس خام و پیش استخراج شده با آب داغ

علیرضا سوخته‌سرایبی<sup>۱</sup>، سحاب حجازی<sup>۲\*</sup>، لعی‌ا جمال‌راد<sup>۳</sup>، محمد احمدی<sup>۴</sup> و بهنام حسینی<sup>۵</sup>

۱- دکترای صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲\* - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

پست الکترونیک: shedjazi@ut.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

۴- استادیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده محقق اردبیلی

۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۴

### چکیده

در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های پلی پروپیلن تقویت‌شده با خمیر کاغذهای شیمیایی سولفیت قلیایی - آنتراکینون، سودا - آنتراکینون، مونواتانول آمین - آنتراکینون و خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی حاصل از باگاس خام و پیش‌استخراج شده با آب داغ با استفاده از عامل جفت‌کننده مالئیک انیدرید - پلی پروپیلن به میزان ۳ درصد و نسبت ماده زمینه پلی پروپیلن به ماده تقویت‌کننده خمیر کاغذ ۵۰/۵۰ درصد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که نوع فرایند اثر معنی‌داری بر تمامی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌ها داشت. به‌طور کلی چندسازه‌های حاوی خمیر کاغذهای شیمیایی مقاومت و پایداری ابعادی بیشتر و جذب آب کمتری نسبت به نمونه حاوی خمیر کاغذهای مکانیکی داشتند. به‌طوری‌که چندسازه‌های حاوی الیاف تیمار شده با فرایندهای سولفیت قلیایی آنتراکینون و سودا بیشترین مقاومت‌های مکانیکی را از خود نشان دادند. چندسازه‌های ساخته شده از الیافی که همی سلولز آنها استخراج شده و با فرایندهای شیمیایی تیمار شده‌اند بیشترین مقاومت و پایداری ابعادی را داشتند. در کل، نتایج حکایت از بهبود ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی چندسازه‌های خمیر کاغذ-پلاستیک در مقایسه با چندسازه‌های آرد ماده لیگنوسولوزی - پلاستیک داشت.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، خمیر کاغذ، پلی پروپیلن، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

### مقدمه

در زمینه پلاستیک‌های تقویت‌شده با مواد لیگنوسولوزی سرعت در حال رشد است (Zahedi et al., 2013). امروزه از چندسازه‌های چوب پلاستیک در صنایع مختلف اعم از صنعت خودرو، ساختمان و مبلمان به مقدار بسیار زیادی استفاده می‌شود.

در سال‌های اخیر استفاده از منابع چوبی و پسماندهای کشاورزی به‌عنوان پرکننده و تقویت‌کننده پلاستیک، مورد پذیرش قرار گرفته است و تحقیقات بنیادی و کاربردی زیادی

نتیجه افزایش قابلیت حرکت الیاف در امتداد جهت تغییر شکل کششی می‌شود. Fatahi (۲۰۱۲)، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های پلی‌اتیلن تقویت‌شده با خمیرکاغذهای شیمیایی را مورد مطالعه قرار داده و اعلام کرد که به‌طور کلی چندسازه‌های حاوی خمیرکاغذهای شیمیایی مقاومت و پایداری ابعاد بیشتر نسبت به نمونه حاوی خمیر کاغذهای مکانیکی داشتند. تأثیر استخراج همی سلولز بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج حکایت از کاهش میزان جذب آب به دلیل استخراج همی سلولز داشت. البته کاهش جذب آب نیز منجر به افزایش مقاومت‌های مکانیکی چندسازه شده است (Hosseinaei et al., 2012).

هدف این پژوهش، مقایسه تأثیر استفاده از خمیرکاغذ باگاس خام و پیش‌استخراج شده با آب داغ با آرد الیاف در تولید چندسازه الیاف طبیعی و پلی‌پروپیلن و همچنین ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این چندسازه‌هاست.

## مواد و روش‌ها

### مواد

در این پژوهش از باگاس مغززدایی شده که از کارخانه پارس تهیه شده است؛ به‌عنوان ماده تقویت‌کننده لیگنوسلولزی استفاده شده است. همچنین پلی‌پروپیلن مصرفی از نوع ۱۵ ساخت شرکت کیمیا جاوید اصفهان با شاخص جریان مذاب ۳۰-۱۵ گرم بر ۱۰ دقیقه و نقطه ذوب ۱۵۰ درجه سلیسیوس به همراه جفت‌کننده مالئیک انیدرید گرافت شده با پلی‌پروپیلن نوع PP-G 101 شرکت کیمیا جاوید اصفهان تهیه شد.

### روش‌ها

#### پیش‌استخراج با آب داغ

مرحله پیش‌استخراج همی سلولز با آب داغ با نسبت مایع به جامد ۶ به ۱ در دمای ۱۶۰ درجه سلیسیوس و مدت زمان ۳۰ دقیقه در دیگ پخت گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی انجام شد.

شود (Tavasoli et al., 2011). الیاف لیگنوسلولزی نسبت به الیاف مصنوعی ارزان‌تر می‌باشد (Kord et al., 2009). سالانه حجم زیادی از باگاس سوزانده می‌شود که استفاده از باگاس در تولید فرآورده‌هایی با ارزش افزوده بیشتر مانند کاغذ، تخته خرده چوب و چندسازه‌های الیاف طبیعی-پلاستیک می‌تواند یک راه‌حل مناسب از معضل امحاء باگاس و استفاده بهینه از یک ماده لیگنوسلولزی با ارزش باشد (Foroozfar et al., 2011). مطالعات ویژگی‌های چندسازه‌های چوب-پلاستیک بیشتر پیرامون استفاده از آرد مواد لیگنوسلولزی انجام شده است؛ اما امروزه استفاده از الیاف خمیرکاغذ به جای آرد مواد لیگنوسلولزی در تولید چندسازه چوب - پلاستیک به دلیل افزایش ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. Ichazo و همکاران (۲۰۰۰)، در تحقیقی تأثیر تیمار قلیایی را بر رفتار مکانیکی و چندسازه‌های پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با الیاف طبیعی را بررسی کردند. تیمار استیلایسیون مقاومت و مدول کششی چندسازه‌های ساخته شده را افزایش می‌دهد. الیاف خمیرکاغذ کرافت رنگ‌بری شده به‌عنوان ماده تقویت‌کننده با پلی‌پروپیلن در فرایند اختلاط واکنش نشان می‌دهد که منجر به افزایش پیوند هیدروژنی فیبریل‌ها با یکدیگر و بهبود ویژگی‌های مکانیکی چندسازه شده است (Beg et al., 2008). Lai و همکاران (۲۰۰۵)، با تیمار شیمیایی الیاف به بررسی خصوصیات مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از الیاف نارگیل پرداختند. نتایج آنان نشان داد با افزایش الیاف مقاومت کششی و خمشی کاهش و مدول کششی و خمشی و ضریب سختی راکول<sup>۱</sup> افزایش یافته است، به‌گونه‌ای که با مصرف ۲۵ درصد الیاف، مدول کششی ۱۵ درصد بالاتر از تیمار بدون الیاف بوده است. Li و همکاران (۲۰۰۷)، اعلام کردند که پیش‌تیمار قلیایی با NaOH سبب حذف لیگنین، موم و روغن‌های سطح خارجی الیاف، پلیمریزاسیون مجدد سلولز و همچنین کوتاه شدن طول زنجیره‌های کریستالی می‌شود. به علاوه پیش‌تیمار قلیایی سبب حذف نسبی همی سلولزها، کاهش دانسیته و سختی نواحی بین الیاف و در

1- rockwell hardness index

## تولید خمیرکاغذ

در این تحقیق از چهار فرایند سولفیت قلیایی-آنتراکینون، سودا-آنتراکینون، مونواتانول‌آمین-آنتراکینون و فرایند شیمیایی- مکانیکی<sup>۱</sup> برای تولید الیاف از باگاس استفاده شده است. برای تعیین مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذهای تهیه شده از روش آزمون T236 om-99 استاندارد TAPPI استفاده شد. سپس باگاس خام و پیش استخراج شده و همچنین خمیرکاغذ حاصل از باگاس خام و پیش استخراج شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن قرار داده شدند و در ادامه به آرد تبدیل شد. برای تهیه آرد با اندازه مورد نیاز از الک ارتعاشی با مش ۴۰ و ۶۰ استفاده شد. در ادامه خمیرکاغذها و باگاس خام در دمای ۱۰۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت در آون قرار داده شدند تا نمونه‌ها به حداقل میزان رطوبتی خود برسند.

## روش و شرایط ساخت نمونه

الیاف برای رسیدن به رطوبت ثابت در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. رطوبت اولیه به کمتر از یک درصد کاهش یافت. مقدار الیاف برابر ۵۰ درصد وزن چندسازه و مقدار MAPP به میزان ۳ درصد در نظر گرفته شد. هر تیمار را به‌طور جداگانه توسط دستگاه اکسترودر مدل Colin-Zk50 با سرعت ۷۰ دور در دقیقه و نقاط دمایی به ترتیب ۱۵۰، ۱۵۵، ۱۶۰، ۱۶۰ و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد ترکیب و پس از سرد شدن آنها، توسط دستگاه آسیاب خرد شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون نگهداری شدند، در مرحله بعدی توسط دستگاه تزریق با شرایط دمایی ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت بارگیری ۴۵ rpm فشار ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و زمان خنک کردن ۸۰ ثانیه به نمونه‌های قابل اندازه‌گیری تبدیل شدند.

## اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی

برای تعیین مقاومت به کشش، خمش و ضربه نمونه‌ها از دستگاه Instron 4476 طبق دستورالعمل ASTM-D638M-89 (آزمون کشش) و ASTM-D790 (آزمون خمش) با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری مقاومت به ضربه از دستگاه SANTAM SIT-20D مطابق با دستورالعمل ASTM-D256 استفاده شده است. به منظور ارزیابی مقاومت به سایش چندسازه‌های تولید شده از دستگاه Pinodisk ساخت کشور ژاپن استفاده شد که میزان فشار اعمال شده در هنگام سایش ۳ بار بوده است.

## اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی

برای اندازه‌گیری عامل زاویه تماس از دستگاه زاویه‌سنج<sup>۲</sup> مدل PGX-Goniometer ساخت کشور سوئیس استفاده شد. حجم هر قطره آب برابر ۳/۵ میکرولیتر و مدت زمان مورد اندازه‌گیری نیز ۱۸۰ ثانیه با ۵ تکرار بر روی هر نمونه در نظر گرفته شد. برای تعیین عامل جذب آب در نمونه‌های ساخته شده مورد آزمایش، از یک دوره زمانی ۲۴ ساعت بهره گرفته شد که میزان جذب آب نمونه‌ها با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم محاسبه شد. عامل میزان واکشیدگی ضخامت در مرکز و لبه‌ها اندازه‌گیری شد؛ برای اندازه‌گیری ضخامت از کولیس استفاده شده است.

## تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در صورت معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها از روش گروه‌بندی چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شده است.

## نتایج

در این تحقیق برای انجام مرحله پیش‌استخراج از دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه و نسبت

2- Goniometer

1 -CMP

با درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه با قلیائیت فعال ۱۶ درصد و نسبت وزنی سولفیت به هیدروکسید سدیم ۵۰/۵۰ محقق شده است. در این تحقیق، فرایند سودا-آنتراکینون بهینه در شرایط دمایی ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۹۰ دقیقه با قلیائیت ۲۰ درصد فرایند CMP بهینه در درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه با قلیائیت ۱۶ درصد حاصل شد. البته در تمامی فرایندها به نسبت ۰/۱ درصد وزن خشک ماده اولیه آنتراکینون افزوده شده است. نتایج تیمار بهینه فرایندها در جدول ۱ ارائه شده است.

مایع به ماده اولیه ۶ به ۱ انجام شده است. همچنین برای تولید خمیرکاغذ از باگاس خام و پیش استخراج شده استفاده و با روش‌های سولفیت قلیایی-آنتراکینون، فرایند مونو اتانول آمین-آنتراکینون، فرایند سودا-آنتراکینون و فرایند شیمیایی-مکانیکی انجام شده است. قابل ذکر است که معیار بهینه بودن در تمامی فرایندها، عدد کاپا کمتر می‌باشد که بهینه فرایندها برای باگاس خام و پیش استخراج شده در فرایند مونو اتانول آمین در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۰ دقیقه با مقدار ۷۵ درصد مونو اتانول آمین و در فرایند سولفیت قلیایی-آنتراکینون

جدول ۱- نتایج بهینه فرایندهای خمیرکاغذ سازی

نسبت L/D	عدد کاپا	بازده کل (درصد)	نوع فرایند	کد تیمار
۲۹/۲۳	۶۰	۹۳	آرد باگاس پیش استخراج شده	تیمار-۲
۴۳/۹۲	۱۲/۵	۷۶/۸	خمیرکاغذ مونو اتانول آمین	تیمار-۳
۲۸/۱۶	۱۲/۳	۷۲	خمیرکاغذ مونو اتانول آمین حاصل از باگاس پیش استخراج شده	تیمار-۴
۴۲/۳۴	۱۱/۴۵	۶۱/۵	خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون	تیمار-۵
۵۹/۴۶	۱۱/۴۵	۶۱/۴۴	خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از باگاس پیش استخراج شده	تیمار-۶
۳۸/۸۵	۱۲/۳۴	۵۷/۲۲	خمیرکاغذ سولفیت قلیایی-آنتراکینون	تیمار-۷
۳۹/۴۷	۱۲/۷	۶۲/۷	خمیرکاغذ سولفیت قلیایی-آنتراکینون حاصل از باگاس پیش استخراج شده	تیمار-۸
۲۹/۱۵	-	۸۶/۴	خمیر CMP	تیمار-۹
۲۷/۲۹	-	۷۹/۶۸	خمیر CMP حاصل از باگاس پیش استخراج شده	تیمار-۱۰

تجزیه و تحلیل آماری تأثیر نوع الیاف ساخته شده با الیاف تیمار شده و نشده باگاس در جدول ۲ ارائه شده است. طبق جدول ۲، تأثیر نوع فرایند بر مدول کششی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار مدول کششی مربوط به چندسازه حاصل از الیاف سولفیت قلیایی-آنتراکینون پیش استخراج شده (تیمار ۸) و کمترین مقدار آن مربوط به باگاس تیمار نشده و پلیمر (تیمار ۱) می‌باشد.

قابل ذکر است در این مقاله کد تیمار ۱- مربوط به چندسازه حاصل از آرد باگاس خام و کد تیمار ۱۱- مربوط به نمونه شاهد (پلیمر) می‌باشد.

#### خواص مکانیکی

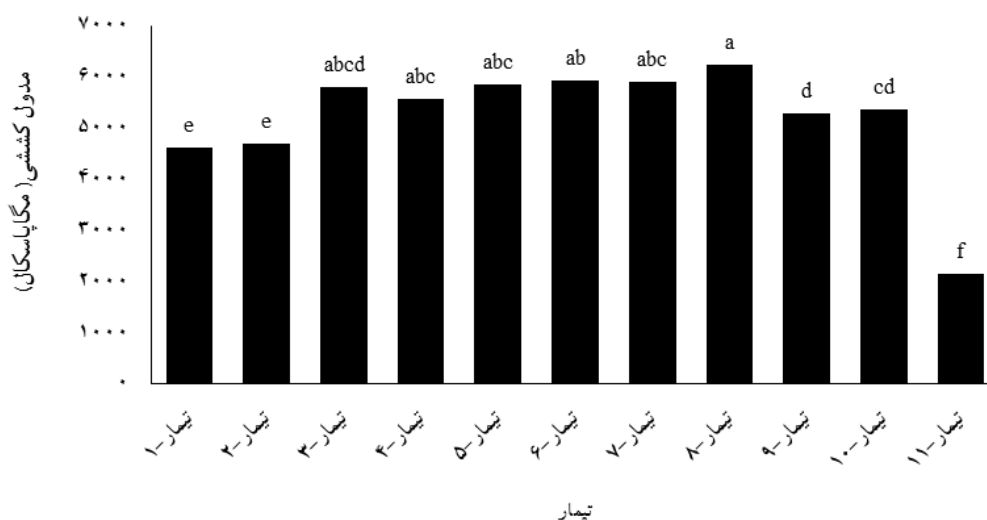
نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی چندسازه‌های الیاف سلولزی- پلی پروپیلنی که با استفاده از الیاف با مقدار لیگنین مشابه ساخته شده‌اند در شکل‌های ۱-۶ خلاصه شده‌اند. هریک از این مقادیر، میانگین چهار اندازه‌گیری از چهار نمونه چندسازه می‌باشد که

جدول ۲- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر نوع الیاف بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه الیاف سلولزی - پلی پروپیلن

(مقدار F و سطح معنی دار)

ویژگی	مدول کششی	مدول خمشی	مقاومت کششی	مقاومت خمشی	مقاومت به ضربه	مقاومت به سایش
متغیر						
نوع فرایند	*۹/۳۸	*۳/۴۸	*۱۲۲/۸۹	*۴/۹۹	*۲۰۸/۴۴	*۵/۹۹

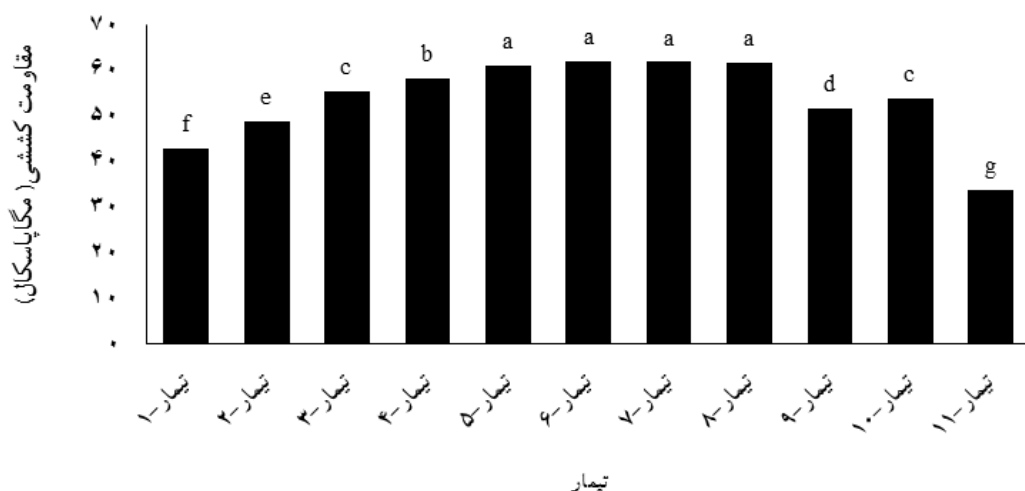
\*: معنی دار در سطح ۹۵ درصد



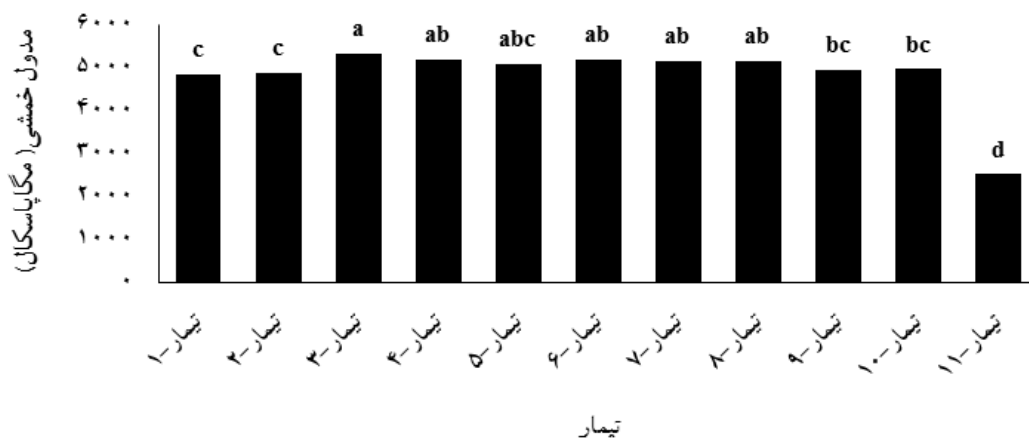
شکل ۱- تأثیر نوع الیاف بر مدول کششی

آنتراکینون (تیمار ۷) و کمترین مربوط به چندسازه‌های حاوی الیاف تیمارنشده و پلیمر می‌باشد. تأثیر نوع الیاف بر مدول خمشی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. بدین معنی که با انجام تیمارهای شیمیایی متفاوت اختلاف معنی‌داری در مقادیر مدول خمشی مشاهده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود میان چندسازه حاوی الیاف تیمارنشده باگاس با سایر چندسازه‌های حاوی الیاف حاصل از فرایندهای شیمیایی تفاوت معنی‌داری دیده می‌شود؛ اما بین تیمارهای شیمیایی این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. به‌طوری‌که نمونه مونو اتانول آمین دارای بیشترین (تیمار ۳) و نمونه باگاس تیمارنشده و پلیمر دارای کمترین مدول خمشی بوده‌اند.

با توجه به جدول ۲، تأثیر نوع الیاف بر مقاومت کششی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. بدین معنی که با انجام تیمارهای شیمیایی متفاوت اختلاف معنی‌داری را در مقادیر مقاومت کششی می‌توان دید. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، چندسازه حاوی الیاف تیمارنشده باگاس (شاهد) دارای اختلاف معنی‌داری با سایر چندسازه‌ها بوده و پایین‌ترین سطح مقاومت کششی را از خود نشان می‌دهد. این در حالی است که میان ترکیب‌های حاوی الیاف تیمارنشده با روش‌های سولفیت قلیایی - آنتراکینون و سودا (تیمارهای ۵ و ۷) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است ولی بین دیگر تیمارها این اختلاف معنی‌دار می‌باشد. در ضمن بیشترین مقدار مربوط به تیمار سولفیت - قلیایی



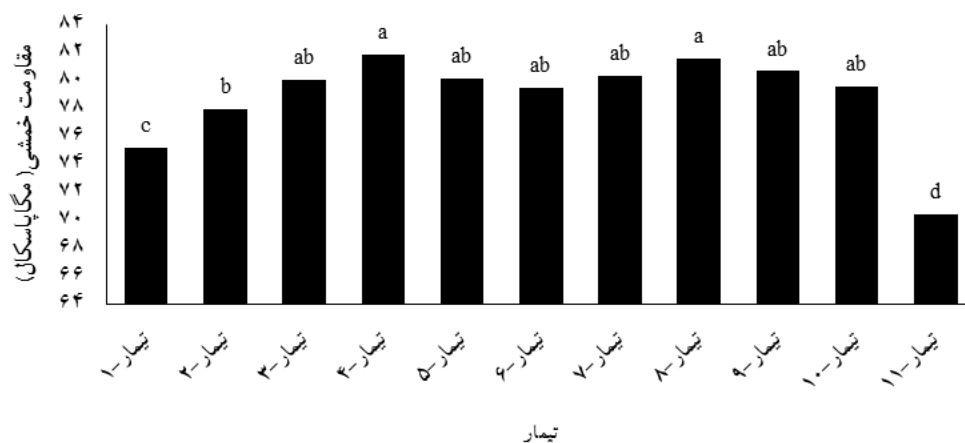
شکل ۲- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت کشتی



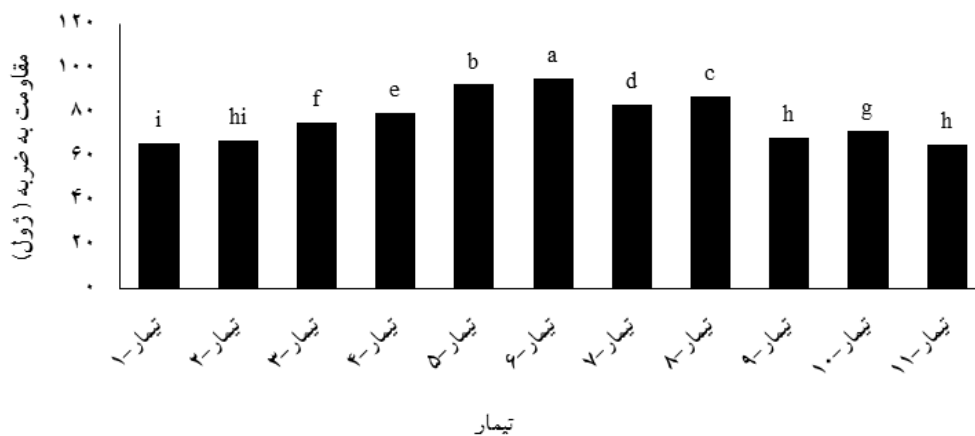
شکل ۳- اثر نوع الیاف بر روی مدول خمشی

به ترتیب در الیاف تیمار شده با مونو اتانول آمین پیش استخراج شده (تیمار ۴) و نمونه تیمار نشده باگاس و پلی پروپیلن دیده شد. تأثیر نوع الیاف بر مقاومت به ضربه در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار نشان داده شد. با توجه به شکل ۵، بیشترین میزان مقاومت به ضربه مربوط به تیمار سودا پیش استخراج شده (تیمار ۶) و کمترین میزان مقاومت به ضربه مربوط به نمونه حاصل از باگاس تیمار نشده و پلیمر می باشد.

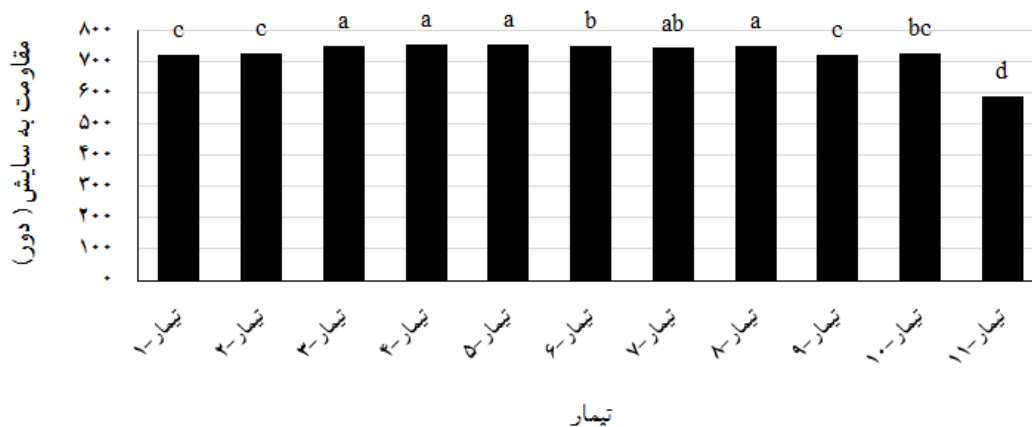
طبق جدول ۲، تأثیر نوع تیمار بر مقاومت خمشی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار می باشد. شکل ۴ نشان می دهد که تیمار قلیایی منجر به افزایش مقاومت خمشی چندسازه ها شده است و این اختلاف بین نمونه های تیمار شده و تیمار نشده معنی دار است ولی این افزایش مقاومت بین فرایندهای شیمیایی و تیمارهای شیمیایی- مکانیکی ناچیز است و اختلاف آن معنی دار نمی باشد. مطابق شکل ۴ بیشترین و کمترین مقاومت خمشی



شکل ۴- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت خمشی



شکل ۵- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت به ضربه



شکل ۶- اثر نوع الیاف بر روی مقاومت به ساییش خواص فیزیکی چندسازه‌ها

اختلاف معنی‌داری بین پلیمر و تیمارهای مختلف وجود دارد، یعنی نوع تیمار بر روی مقاومت به سایش تأثیرگذار بوده است اما در بین تیمارهای حاصل از خمیرکاغذهای شیمیایی اختلاف معنی‌دار دیده نشده است.

با توجه به جدول ۲، تأثیر نوع الیاف بر مقاومت به سایش در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. بدین معنی که در بین تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. با توجه به شکل ۶،

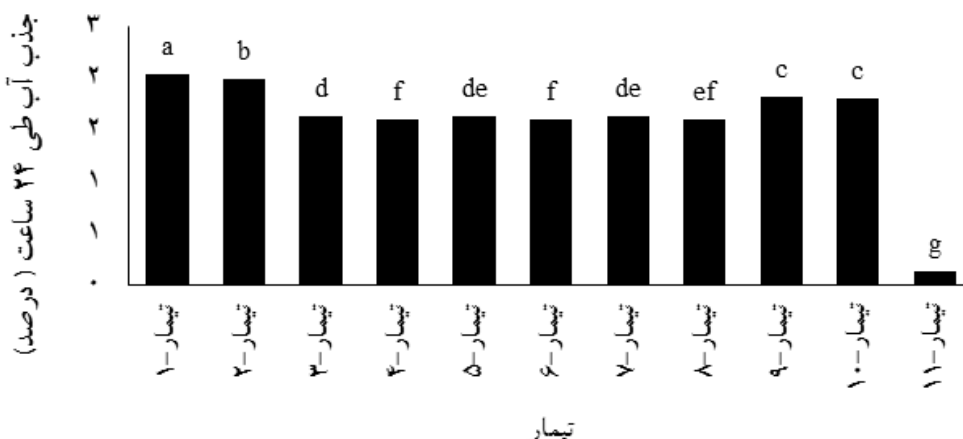
جدول ۳- تجزیه و تحلیل آماری تأثیر نوع الیاف بر ویژگی‌های فیزیکی چندسازه الیاف سلولزی- پلی پروپیلن (مقدار F و سطح معنی‌دار)

ویژگی	واکسیدگی ضخامت (۲۴ ساعت)	جذب آب (۲۴ ساعت)	زاویه تماس
نوع فرایند	*۲۵۰۸۷/۹۶	*۳۴۵/۳۵	*۷۶/۹۴

\*: معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

به نمونه باگاس تیمارنشده و کمترین میزان جذب در طی ۲۴ ساعت مربوط به تیمار مونو اتانول آمین پیش استخراج شده (تیمار ۴)، تیمار سولفیت قلیایی پیش استخراج شده (تیمار ۸) و تیمار سودا پیش استخراج شده (تیمار ۶) بوده است.

طبق جدول ۳، اثر نوع الیاف بر روی جذب آب در طی ۲۴ ساعت غوطه‌وری بین تیمارهای مختلف در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. شکل ۷ نشان‌دهنده اختلاف بین تیمارهای مختلف می‌باشد. بیشترین میزان جذب آب مربوط

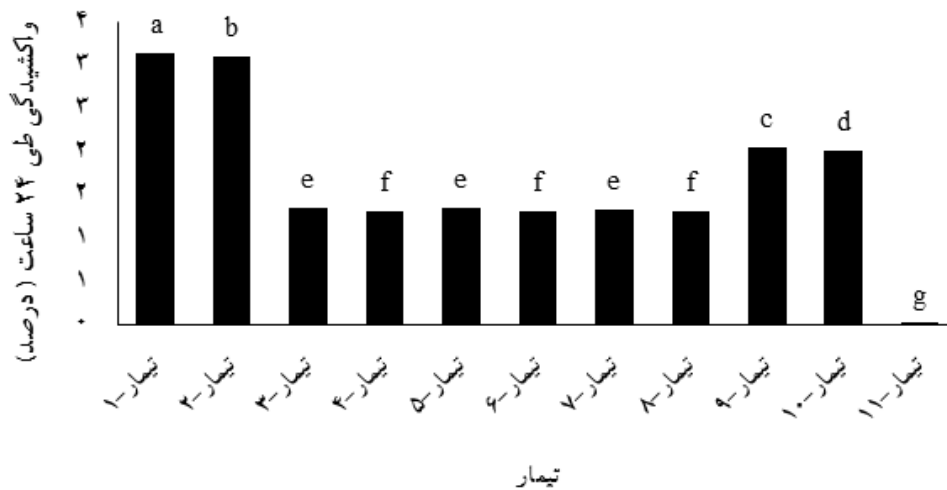


شکل ۷- اثر نوع الیاف بر روی جذب آب در طی ۲۴ ساعت

استخراج شده (تیمار ۸) کمترین واکسیدگی ضخامت را در ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب داشتند که این اختلاف طبق جدول ۳ بین تیمارهای مختلف معنی‌دار بوده است.

طبق شکل ۸، چندسازه‌های حاوی الیاف باگاس تیمارنشده بیشترین و چندسازه‌های حاوی خمیرکاغذ سولفیت قلیایی- آنتراکینون پیش استخراج شده، مونو اتانول آمین پیش استخراج شده و سولفیت قلیایی- آنتراکینون پیش

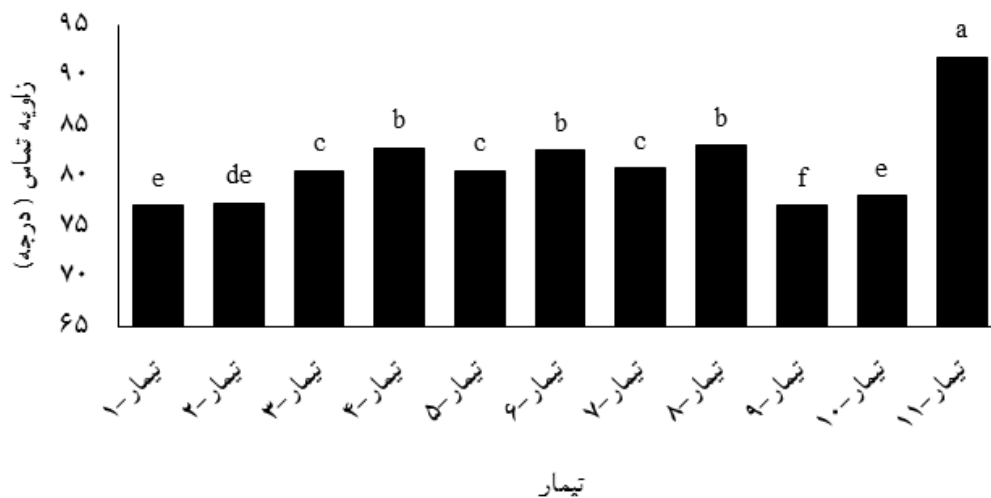




شکل ۸- اثر مستقل نوع الیاف بر روی واکسیدگی ضخامت در ۲۴ ساعت غوطه‌وری

پلیمر خالص و تیمار مونو اتانول آمین پیش استخراج شده (تیمار ۴) و کمترین میزان تماس زاویه مربوط به باگاس تیمار نشده و خمیرکاغذ CMP (تیمار ۹) می‌باشد.

با توجه به جدول ۳، تأثیر نوع الیاف بر فاکتور زاویه تماس در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان داده است. با توجه به شکل ۹، بیشترین میزان زاویه تماس مربوط به



شکل ۹- اثر نوع الیاف بر روی زاویه تماس

نتایج حاصل بیشترین مدول کششی مربوط به چندسازه ساخته شده با الیاف تیمار شده به روش سولفیت قلیایی- آنتراکینون حاصل از باگاس پیش استخراج شده به مقدار ۶۲۸۵/۵ مگاپاسکال و کمترین آن در میان الیاف مربوط به

#### بحث

به طور کلی استفاده از تیمار شیمیایی می‌تواند منجر به بهبود ویژگی‌های الیاف لیگنوسلولزی شده و در نهایت مقاومت چندسازه‌های الیاف طبیعی را افزایش دهد. طبق

سطح موجود برای برهم‌کنش الیاف- ماده زمینه نیز منجر به بهبود خواص چندسازه‌ها می‌گردد. چندسازه‌های حاوی الیاف تیمارنشده مقاومت‌های کششی کمتری در مقایسه با سایر الیاف از خود نشان دادند. همچنین تیمار سولفیت قلیایی نسبت به سایر تیمارها در تقویت مقاومت کششی مؤثرتر واقع شده است (Sobczak et al., 2009).

بیشترین مدول خمشی مربوط به تیمار سودا حاصل از باگاس پیش استخراج شده با مقدار ۵۱۷۹/۳۸ مگاپاسکال و کمترین مدول خمشی در میان الیاف نمونه حاوی الیاف تیمارنشده باگاس و نمونه پلی پروپیلن به ترتیب ۴۸۵۰/۵۶ مگاپاسکال و ۲۵۰۴/۵ مگاپاسکال را داشت؛ که به ترتیب ۶/۷۱ درصد و ۱۰۶/۸۰ درصد افزایش مشاهده می‌شود. Beg و همکاران (۲۰۰۳)، مدول خمشی چندسازه‌های حاوی ۴۰ درصد الیاف حاصل از فرایند کرافت و ۴ درصد مالئیک انیدرید را ۳۳۰۰ مگاپاسکال گزارش کردند. علاوه بر این، بیشترین مقاومت خمشی در چندسازه‌های حاوی الیاف تیمارنشده سولفیت قلیایی - آنتراکینون حاصل از باگاس پیش استخراج با مقدار ۸۱ مگاپاسکال است که نسبت به نمونه شاهد به میزان ۶۹/۳۵ مگاپاسکال، ۱۶/۷۹ درصد افزایش نشان داده است. اگرچه تیمار قلیایی منجر به افزایش مقاومت خمشی چندسازه‌ها شده است، ولی سایر تیمارها نیز با شدت کمتری توانسته‌اند در بهبود مقاومت خمشی چندسازه‌ها مؤثر واقع شوند.

در این تحقیق، تیمار سودا حاصل از باگاس پیش استخراج شده بیشترین مقاومت به ضربه را با مقدار ۹۵/۱۲ ژول نسبت به نمونه شاهد با میزان ۶۵ ژول، یعنی ۴۴/۶۷ درصد از خود افزایش نشان داد. مقاومت به ضربه بدون فاق نشان‌دهنده مقاومت ماده در برابر ایجاد شکست است؛ بنابراین بالا بودن این مقاومت نشان‌دهنده انرژی جذب‌شده بیشتر است (Elyasi et al., 2012). مقاومت به ضربه چندسازه‌ها متأثر از فاکتورهای متعددی نظیر سفتی تقویت‌کننده، ماهیت منطقه لایه مرزی<sup>۱</sup> و

باگاس تیمارنشده به مقدار ۴۶۰۴/۶ و پلی پروپیلن به مقدار ۱۹۱۶/۹ مگاپاسکال می‌باشد که نسبت به باگاس تیمارنشده و پلی پروپیلن به ترتیب ۳۶/۵۱ درصد و ۱۲۷/۸۹ درصد افزایش مدول کششی را از خود نشان داده است. Fatahi (۲۰۱۲)، بیشترین مقدار مدول کششی مربوط به چندسازه حاوی الیاف تیمارنشده با روش سولفیت قلیایی را ۳۴۵۶/۵ مگاپاسکال اعلام کرد. افزایش مدول الاستیسیته مربوط به اختلاط بهتر الیاف در ماده زمینه بوده که در اثر حذف ناخالصی‌ها و افزایش زبری سطح و در نتیجه بهبود برهم‌کنش مکانیکی اجزا و همچنین دفیبره شدن الیاف طی فرایند تیمار اتفاق می‌افتد (Lee et al., 2009). همچنین 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 باعث افزایش مدول الاستیسیته می‌شود (Lix et al., 2007). بیشترین مقاومت کششی نیز در چندسازه تولیدشده با خمیرکاغذ سودا حاصل از باگاس پیش استخراج شده به‌عنوان فاز تقویت‌کننده به مقدار ۶۲/۲۳ مگاپاسکال و کمترین آن در میان الیاف در نمونه باگاس تیمارنشده با ۴۲/۶۶ مگاپاسکال و پلی پروپیلن به مقدار ۳۳/۰۱ مگاپاسکال مشاهده شد که به ترتیب ۴۵/۵۱ درصد و ۸۸/۵۱ درصد افزایش داشته است. Saiful Islam و همکاران (۲۰۱۲)، گزارش کردند که اثر پیش تیمار قلیایی با محلول ۵ درصد NaOH منجر به افزایش ۲۰ درصدی مقاومت کششی چندسازه‌ها شده است. به دلیل تیمار قلیایی، همی سلولزها و لیگنین حذف شده و منطقه فیبریل داخلی تراکم خود را از دست داده و پیوندهای الیاف-الیاف کمتر شده، در نتیجه فیبریل‌ها قادر به آرایش مجدد می‌شوند. به طوری که این فیبریل‌ها در جهت نیروی کششی آرایش می‌یابند و منجر به توزیع بهتر بار بین فیبریل‌ها می‌شود (Li et al., 2009). مقاومت مکانیکی چندسازه‌ها تابعی از مقاومت اجزاء تشکیل‌دهنده آنها و مقاومت سطح اتصال این اجزاء می‌باشد. فیبریله شدن الیاف که در اثر تیمار شیمیایی رخ می‌دهد منجر به افزایش نسبت طول به قطر الیاف می‌گردد. همچنین جدا شدن پیوند الیاف و در نتیجه افزایش

عامل مؤثر دیگری می‌باشد (Fallah et al., 2011). تیمار حذف همی سلولز سبب کاهش آب دوستی 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، در نتیجه توانایی انتقال تنش الیاف و تحمل بار چندسازه کاهش می‌یابد (Chow et al., 2007). همی سلولزها نقش اساسی در جذب رطوبت و واکنشیدگی ابعاد در مواد لیگنوسلولزی دارند؛ که خروج همی سلولز در تمامی تیمارها باعث کاهش جذب رطوبت شده است؛ بنابراین می‌توان گفت که عملکرد تیمار شیمیایی در کاهش جذب رطوبت مثبت تلقی می‌شود (Hosseinaei et al., 2012). همچنین در واکنشیدگی ضخامت نیز نمونه تیمارنشده باگاس با مقدار ۳/۱۴ درصد در ۲۴ ساعت بیشترین میزان واکنشیدگی را داشته و کمترین تغییر بعد ضخامت در نمونه حاصل از سولفیت قلیایی - آنتراکینون حاصل از باگاس پیش استخراج شده به مقدار ۱/۳۱ درصد مشاهده شد که ۱۳۹/۶۹ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است. نمونه‌های چوب-پلاستیک حاصل از فرایندهای شیمیایی به دلیل حذف شدن همی سلولز و بلورینگی بیشتر از خود تغییرات کمتری را نسبت به نمونه باگاس تیمارنشده و تیمار CMP حاصل کرد. به علت حضور زیاد همی سلولزها در فرایند CMP و همین‌طور بلورینگی ضعیف در CMP، این فرایند تغییر ابعاد بیشتری را در بین الیاف تیمارنشده نشان داد. لازم به یادآوری است که در نمونه پلی‌پروپیلن و تیمار خمیرکاغذ مونواتانول آمین - آنتراکینون حاصل از پیش استخراج بیشترین زاویه تماس به ترتیب برابر ۹۰/۷۵ درجه و ۸۲/۷۵ درجه و کمترین زاویه تماس مربوط به نمونه باگاس تیمارنشده به مقدار ۷۶/۷۵ درجه بوده است. در مجموع، می‌توان گفت که تیمار شیمیایی بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌ها نه فقط از طریق برهم‌کنش الیاف - ماده زمینه بلکه از طریق تغییر خواص شیمیایی الیاف اثر مطلوب داشته است. از آنجایی که همی سلولز در تیمارهای شیمیایی به مقدار زیادی حذف

عملکرد اصطکاکی<sup>۱</sup> که منجر به بیرون آمدن الیاف از ماده زمینه می‌شود، می‌باشد. البته ماهیت منطقه لایه مرزی در تعیین سفتی چندسازه‌ها بی‌نهایت مهم است. همچنین، اندازه ذرات، شکل و خواص سطحی الیاف نیز بر روی آن مؤثر می‌باشند (Bledzki et al., 2010). در این تحقیق تأثیر نوع تیمار بر مقاومت به سایش در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین مقاومت به سایش مربوط به تیمار سودای پیش استخراج شده با میزان ۷۵۴/۷۵ دور و کمترین مربوط به نمونه پلیمر با میزان ۵۸۷ دور می‌باشد. Mysamy و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر طول الیاف را بر روی مقاومت به سایش چندسازه ساخته شده از الیاف آگاو را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که چندسازه ساخته شده از الیاف با طول بیشتر، مقاومت به سایش بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها از خود نشان داد. در تیمار پلیمر پدیده ذوب شدن و جریان‌پذیری پلیمر در برابر سایش به عنوان نیروهای غالب می‌باشند. درحالی‌که در چندسازه چوب-پلاستیک سازوکار لایه‌لایه شدن ماتریس پلیمر و الیاف در برابر نیروهای سایش هم دخیل می‌باشد (Aurrekoetxea et al., 2008). بیشترین میزان جذب آب مربوط به نمونه باگاس تیمارنشده در مدت ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب ۲/۰۲ درصد و کمترین میزان جذب آب در ترکیب حاوی الیاف تیمارنشده با روش سودا حاصل از باگاس پیش استخراج شده به مقدار ۱/۵۹ درصد می‌باشد که در مدت ۲۴ ساعت به میزان ۲۷/۰۴ درصد نسبت به نمونه باگاس تیمارنشده کاهش نشان داده است. البته دسترس‌پذیری الیاف چوبی عامل مهمی در جذب آب چندسازه می‌باشد. هنگامی که چسبندگی مناسبی بین الیاف و ماده زمینه وجود داشته باشد امکان نفوذ آب به ناحیه سطح مشترک و الیاف کمتر خواهد بود، در نتیجه جذب آب الیاف و تأثیر منفی آن بر خواص مکانیکی چندسازه نیز کمتر خواهد بود (Fuentes et al., 2007). ویژگی‌های شیمیایی الیاف از نظر جذب آب نیز

- Chow, C.P.L., Xing, X.S. and Li, R., 2007. Moisture absorption studies of sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 67(2):306–313.
- Elyasi, A., Doosthoseini, K. and Layeghi, M., 2011. Effect of nano-clay on applied properties of porous wood-plastic composites. M.Sc. Thesis, Departemant of wood and paper science and industries, Faculty of of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, 87.
- F.Moghadam, P. and Mohebbi, B., 2012. Water absorption and dimensional stability of polypropylene/acetylated wood fiber. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 18(4): 29-43.
- F.Talavera, F.J., S.Guzman, J.A, Richter, H.G., S.Duenas, R. and Quirate, J.R., 2007. Effect of production variables on bending properties, water absorption and thickness swelling of bagasse/plastic composite boards. *Industrial Crops and Products*, 26(1):1-7.
- Fatahi, M., Hedjazi, S., Jamalirad, L. and Tajvidi, M., 2012. Evaluating of physical and mechanical properties of polyethylene composites reinforced with rice straw chemical and mechanical pulp. M.Sc. Thesis, Departemant of wood and paper science and Industries, Faculty of of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, 96.
- Froozanfar, R., Sukhtesarie, A. and Noroozi, E., 2011. The managment of leavings in cellulosic industries (case study). The 5th National Conference & Exhibition on Environmental Engineering, Nov. 19-23, Tehran.
- Hosseinaei, O., Wang, S., Enayati. A.A. and G.Rials, T., 2012. Effects of hemicellulose extraction on properties of wood flour and wood-plastic composites. *Composites Journal: Part A*, 43 (2) 686–694.
- Ichazo, MN., Albano, C. and Gonzalez J., 2000. Behavior of polyolefine belends with acetylated sisal fibers. *Poymer International*, 49: 1409-1416.
- Kord, B., 2009. Improvement of practical properties of wood polymer composite with nanoclay particles. *Journal of Materials Engineering*, 1(4): 369-377.
- Lai, Y. and Sapuan, S.M., 2005. Mechanical and properties of coconut Coir Fiber-Reinforced polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 44(2):619-632.
- 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(1):641-647.

شده است، این تیمارها زاویه تماس بیشتری نسبت به باگاس تیمارنشده از خود نشان دادند. به طور کلی نتایج نشان می دهد که بین افزایش جذب آب و کاهش خواص مکانیکی رابطه مستقیمی وجود دارد و افزایش جذب آب منجر به کاهش خواص مکانیکی نمونه ها می شود. در مورد چگونگی اثر جذب آب بر خواص مکانیکی باید گفت جذب آب توسط الیاف چوبی در چندسازه ها باعث واکنش الیاف چوبی و در نتیجه ایجاد تنش در ناحیه سطح مشترک می شود که منجر به جداشدگی الیاف از ماده زمینه و در نتیجه کاهش خواص مکانیکی به دلیل کاهش انتقال تنش از ماده زمینه به الیاف در هنگام آزمون کششی می شود (Sreekala *et al.*, 2002). در پایان لازم به توضیح است که تیمار سودای پیش استخراج شده (تیمار ۶) به عنوان بهترین تیمار معرفی می گردد.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از زحمات بی شائبه جناب آقای دکتر حسین یوسفی به منظور پیشبرد این پژوهش تقدیر و تشکر نمایند.

## منابع مورد استفاده

- Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M. and Gómez, X., 2008. Effects of microstructure on wear behaviour of wood reinforced polypropylene composite. *Wear Journal*, 265(5-6):606–611.
- Beg, M.D.H. and Pickering, K.L., 2008. Mechanical performance of kraft fibre reinforced polypropylene composites: influence of fibre length, fibre beating and hygrothermal ageing. *Composites: Part A*, 39(11): 1748–1755.
- Bledzki, A.K. and Jaszkiwicz, 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 (12):1687–1696.
- Boopthi, L., Sampath, P.S. and Mysamy, K., 2012. Influence of fiber length the wear behavior of borassus fiber reinforced epoxy composited. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 9(4): 4119-4129.

- Sukhtesaraie, A., Hedjai, S., Jamalirad, L., 2013. Evaluation of physical and mechanical properties of pulp- propylene nanobiocomposites from none extracted and pre-extracted Bagasse with hot water. M.Sc. Thesis, Departemant of Wood and Paper Science and Industries, Faculty of of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, 101.
- Tavasoli, A., Talaeipour, M., Hemmasi, A., Khademieslam, H., Ghasemi, I. and Masoomi, Z., 2011. Development of fine-celled wood fiber/pvc composite foams using multi-walled carbon nano tubes. *World Applied Sciences Journal*, 13 (2): 269-276.
- Zahedi, M., Tabarsa, T., Madhoushi, M. and Shakeri, A.R., 2013. Effect of nanoclay (Montmorillonite) on the physical-mechanical properties of polypropylene / wood flour composites. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20 (3): 95-110.
- Li x., Tabi, L. and Panigrahi, S., 2007. Chemical treatment of natural fiber for use natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15 (2): 25-33.
- Saiful Islam, M.D., Hamdan, S., Jusoh, B., R.Rahman, M. and Ahmed, A.S., 2012. The effect of alkali pretreatment on mechanical and morphological properties of tropical wood polymer composites. *Materials and Design*, 33 (2012) 419–424.
- Sobczaka, L., W.Lang, R. and Haidera, A., 2012. Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profiles. *Composites Science and Technology*, 72(5): 550–557.
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G. and Thomas, S., 2002. Water sorption in oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composites. *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing*, 33(6): 763–777.

## The study of pulp-polypropylene biocomposites properties produced from non-extracted and hot water pre-extracted Bagasse

A. sukhtesaraie<sup>1</sup>, S. Hedjazi<sup>2\*</sup>, L. Jamalirad<sup>3</sup>, M. Ahmadi<sup>4</sup> and B. Hosseini<sup>5</sup>

1- Ph.D., Student of Wood and paper departemant, Faculty of Natural Resources .University of Tehran .Karaj .I.R. Iran

2\*-Corresponding author, Associate Professor of Wood and Paper departemant, Faculty of Natural Resources, University of Tehran .Karaj .I.R. Iran, Email: shedjazi@ut.ac.ir

3-Assistant Professor of Wood and paper departemant, Faculty of Agriculture and Natural Resources .University of Gonbad Kavous I.R. Iran

4-Assistant Professor of Wood and paper departemant, University of Mohaghegh Ardebili, Iran

5-M.Sc., Graduate of Faculty of Natural Resources .University of Tehran .Karaj .I.R. Iran

Received: April, 2015

Accepted: Jan., 2016

### Abstract

In this study, the physical and mechanical properties of polypropylene composites reinforced with alkaline sulfite-anthraquinone, soda-anthraquinone and monoethanolamine-anthraquinone and chemical mechanical produced from non-extrated and pre-extracted bagasse with hot water were studied. MAPP coupling agent (3%) was added and the performance of pretreated and untreated bagasse composites were compared. The ratio of the polypropylene and reinforcement material (pulp) was considered at 50/ 50 (w/w). The results showed that the pulping process has a significant effect on all physical and mechanical properties of produced composites. In general, composites containing chemical pulps showed greater dimensional stability and mechanical strengths but lower water absorption than that of mechanical pulp. Composites containing treated fibers with alkaline sulfite-anthraquinone and soda pulp had the highest mechanical properties and dimensional stability. Composites made from fibers in which hemicelluloses were extracted and then were treated with chemical pulping processes had the highest mechanical strength and dimensional stability among all of samples. The highest mechanical strengths and dimensional stability were observed in composites which were reinforced with treated fibers compared with control samples containing untreated bagasse fibers. In general, the results showed the superior physical and mechanical characteristics for pulp - plastic composites compared with wood flour plastic composites.

**Key words:** Composite, pulp, polypropylene, mechanical and physical properties.