

تأثیر خمیرسازی شیمیایی باگاس و جفت کننده روی خواص فیزیکی-مکانیکی چندسازه‌های حاصل از خمیر کاغذ باگاس/ پلی اتیلن سبک

چکیده

در این تحقیق تأثیر تقویت‌کنندگی الیاف بکر و الیاف حاصل از خمیرسازی شیمیایی باگاس و به‌کارگیری جفت‌کننده MAPE بر خواص فیزیکی-مکانیکی چندسازه‌های چوب-پلاستیک بر پایه پلی‌اتیلن سبک مورد بررسی قرار گرفت. الیاف باگاس از منطقه تحقیقاتی خوزستان تهیه شده و پس از بررسی خواص شیمیایی و آناتومی خمیرهای مختلف شیمیایی شامل خمیر کاغذهای مونواتانول‌آمین (MEA)، سولفیت‌قلیایی-آنتراکینون (AS)، سودا رنگبری نشده (UNS) و رنگبری شده (BS) از آن تهیه گردید. سپس چندسازه‌ها با مقدار ۳۰٪ وزنی الیاف به‌وسیله اکسترودر دوماریچ و قالب‌گیری پرس ساخته شدند. ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی این چندسازه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در طی خمیر کاغذسازی شیمیایی بخشی از لیگنین و همی سلولزها حل می‌شود بنابراین قابلیت اتصال و نسبت ابعاد الیاف باگاس بهبود یافته و در نتیجه الیاف خمیر کاغذ باگاس نسبت به الیاف باگاس خام دارای قابلیت تقویت‌کنندگی بهتری هستند. بهترین خواص به‌وسیله الیاف خمیر کاغذ مونواتانول‌آمین و سولفیت‌قلیایی-آنتراکینون حاصل شد. افزودن ۵٪ وزنی جفت‌کننده MAPE (مالدیک‌انیدرید پلی‌اتیلن) به‌طور معنی‌داری مقاومت کششی، مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکنشیدگی ضخامت را بهبود می‌دهد که باعث انتقال مؤثر تنش از ماتریس به الیاف تقویت‌کننده محکم می‌شود.

واژگان کلیدی: چندسازه‌های چوب-پلاستیک، الیاف خمیر باگاس، پلی‌اتیلن سبک، ویژگی‌های مکانیکی.

مریم اله‌دادی^۱
 سحاب حجازی^{۲*}
 مهدی جنوبی^۳
 علی عبدالخانی^۴
 لیا جمالی‌راد^۵

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

^{۱۲} دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استادیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۴ دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۵ استادیار گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

مسئول مکاتبات:
shedjazi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۲۲
 تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۱۵

مقدمه

پلاستیک موادی هستند که در آن‌ها ویژگی‌های چوب و پلیمرهای گرمانرم^۱ با یکدیگر ترکیب شده است. چندسازه‌های مای چوب - پلیمر در مقایسه با فرآورده‌های چوبی و پلاستیکی از نظر زیست‌محیطی در بسیاری از کاربردها مانند مصالح ساختمانی، میلمان و پانل‌های داخلی وسایل نقلیه ارجحیت دارند [۱]. در تولید تجاری

علم مهندسی مواد نشان می‌دهد که هیچ ماده‌ای را نمی‌توان یافت که تمام خواص فنی مورد نظر را داشته باشد پس تلفیق مواد با یکدیگر به‌منظور دستیابی به خواص مطلوب پیشنهاد گردید که این روند منجر به ساخت چندسازه‌ها^۱ شد [۱]. چندسازه‌های چوب-

² Thermoplastic

¹ Composites

رنگبری نشده نوئل و کاج را در ماتریس پلی‌اتیلن-سبک مطالعه و بهبود خواص مکانیکی را مشاهده کردند [۸]. Lopez و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر استفاده از ۶ درصد وزنی جفت کننده MAPP را در خواص مکانیکی چندسازه‌های خمیر کاغذ جوهر زدایی شده روزنامه، خمیر کاغذ مکانیکی و الیاف چوبی علفی در ماتریس پلی‌پروپیلن مطالعه کردند [۹]. آن‌ها گزارش کردند که به‌کارگیری MAPP باعث بهبودی معنی‌دار مقاومت کششی و چسبندگی بینابینی الیاف-پلیمر و در نتیجه انتقال مؤثر تنش می‌شود.

با توجه به اینکه کشور ایران از نظر منابع لیگنوسلولزی چوبی فقیر است و با در نظر گرفتن این نکته که ایران از نظر منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی بسیار غنی است، لذا می‌توان جایگزینی الیاف چوبی با الیاف لیگنوسلولزی غیر چوبی را در تولید چندسازه‌های چوب - پلاستیک مدنظر قرارداد. در این پژوهش باگاس به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی غیر چوبی تقویت کننده و پلی‌اتیلن سبک به‌عنوان ماتریس پلیمری انتخاب شدند؛ بنابراین، در این تحقیق تأثیر تقویت کنندگی انواع خمیر کاغذ باگاس شامل مونواتانول آمین^۴ (MEA)، سولفیت‌قلیایی-آنتراکینون^۵ (AS)، سودا رنگبری شده (BS) و سودا رنگبری نشده (UNS) با باگاس خام در ماتریس پلی‌اتیلن سبک مقایسه و بررسی شدند. همچنین تأثیر استفاده و عدم استفاده از جفت کننده مالدییک انیدرید پلی‌اتیلن (MAPE) بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از پلی‌اتیلن سبک تولید شده توسط شرکت پتروشیمی بندر امام با دانسیته 0.92 g/cm^3 ، شاخص جریان مذاب $2 \text{ g}/10 \text{ min}$ و دمای ذوب 110°C استفاده شد. مقدار پلی‌اتیلن سبک به‌کاررفته، ۷۰ درصد وزنی چندسازه بود. همچنین مالدییک‌انیدرید پیوندزده شده به پلی‌اتیلن سبک با چگالی 0.91 g/cm^3 و با وزن مولکولی ۹۱۰۰ ساخت شرکت آلدریچ (Aldrich) به میزان ۵ درصد وزنی بکار گرفته شد. باگاس مورد استفاده از منطقه خوزستان و با همکاری کارخانه نئوپان کارون

چندسازه‌های چوب-پلیمر ماده خام چوبی اصلی مورد استفاده آرد چوب است [۲]. به‌طور معمول آرد چوب از باقی‌مانده‌های صنایع چوب به‌وسیله آسیاب و غربال کردن تا محدوده خاصی از اندازه‌ی ذرات تولید می‌شود. همیشه ضریب لاغری^۳ (نسبت طول به قطر) ذره‌های آرد چوب کم و بین ۱ تا ۵ است [۳]. مطالعات جدید نشان داده است که چوب و سایر الیاف طبیعی با ضریب لاغری بالاتر تقویت کنندگی قوی‌تری از ذرات چوب با نسبت منظر پائین‌تر دارند [۴]، به‌ویژه زمانی که چسبندگی خوبی میان الیاف و ماتریس وجود داشته باشد، انتقال بهتر تنش به الیاف حاصل می‌شود. تاکنون در اکثر مطالعات صورت گرفته پیرامون چندسازه‌های چوب - پلاستیک، از آرد چوب یا آرد سایر ضایعات کشاورزی به‌عنوان فاز تقویت کننده استفاده شده است [۲]. به همین دلیل در این تحقیق قصد بر این است که از خمیر کاغذ به‌عنوان فاز تقویت کننده استفاده شود زیرا در فرآیند تولید خمیر کاغذ، به علت جدا شدن بخش‌هایی از ساختار ماده لیگنوسلولزی مانند لیگنین و همی سلولزها، فیبریلاسیون الیاف به خوبی صورت گرفته و نسبت ابعاد الیاف (نسبت طول به قطر) بهبود می‌یابد [۵]. فرآیندهای تولید خمیر کاغذ به سه دسته عمده مکانیکی، نیمه شیمیایی و شیمیایی تقسیم‌بندی می‌شوند [۶]؛ اما به دلیل آسیب کمتر و جلوگیری از کاهش نسبت ابعاد الیاف و همچنین افزایش گروه‌های هیدروکسیل در دسترس برای واکنش با پلیمر، در این تحقیق از فرآیندهای تولید خمیر کاغذ به روش شیمیایی استفاده می‌شود. از سوی دیگر برای بهبود چسبندگی سطح مشترک الیاف و پلیمر، در طی فرآیند تولید خمیر کاغذ الیاف تیمار شیمیایی شده‌اند و بهتر از قبل در دسترس پلیمر قرار می‌گیرند [۷]؛ بنابراین خمیر کاغذ دارای رفتار کاملاً متفاوتی نسبت به آرد یک ماده لیگنوسلولزی است. همچنین به علت تأثیر مثبت استفاده از جفت کننده در چسبندگی بینابینی که در اکثر تحقیقات گزارش شده است، این پژوهش نیز تأثیر جفت کننده مالدییک‌انیدرید را در بهبود خواص فیزیکی-مکانیکی بررسی کرد. Anamaria و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر تقویت کنندگی الیاف خمیر کاغذ کرافت رنگبری شده و

⁴ Monoethanolamine

⁵ Alkaline sulfite-anthraquinone

³ Aspect ratio

درجه سانتی‌گراد و الیاف الک شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. جدول ۱ ویژگی‌های خمیر کاغذ و الیاف باگاس خام را نشان می‌دهد. ارزیابی نسبت ابعاد الیاف با ۹۰ تکرار و عدد کاپا با ۳ تکرار انجام شد.

جمع‌آوری گردید. الیاف خمیر کاغذهای باگاس و باگاس خام به‌وسیله آسیاب چکشی آسیاب و توسط الک الکتریکی از الک با مش ۴۰ و ۶۰ عبور داده شدند. سپس برای جلوگیری از تأثیر منفی رطوبت بر اتصال الیاف- پلیمر، پلیمر پلی‌اتیلن‌سبک به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰

جدول ۱- مشخصات الیاف باگاس خام و انواع خمیر کاغذ باگاس

نوع الیاف	طول (μm)	قطر (μm)	نسبت ابعاد (طول/ قطر)	عدد کاپا
باگاس خام	۱۶۴۹/۳۲	۲۶/۶۷	۶۴	-
سولفیت-قلیایی-آنتراکینون	۱۲۹۰/۸۷	۱۴/۸۴	۹۰/۶۴	۷/۴
مونواتانول‌آمین	۱۶۵۰/۷۹	۱۷/۵۱	۹۴/۵۹	۱۰
سودا رنگبری‌نشده	۱۳۸۴/۲۸	۱۹/۱۲	۷۲/۴۰	۱۴
سودا رنگبری‌شده	۱۲۸۷/۵۲	۱۵/۴۹	۸۳/۱۲	۳

۱۶۰، ۱۶۰ و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. سپس نمونه‌های حاصل از اکسترودر جهت گرانول‌سازی وارد دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت WIESER مدل WG-LS2000 ساخت کشور آلمان شدند.

قالب‌گیری پرس و ساخت چندسازه

برای تهیه نمونه‌های چندسازه‌ها از روش قالب‌گیری پرس استفاده شد. در ابتدا برای حذف رطوبت گرانول‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای قالب‌گیری پرس، گرانول‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای 3 ± 100 درجه آون نگهداری شدند. در مدت ۲ دقیقه نمونه‌ها تحت دمای ۱۸۰ درجه سانتی-گراد قرار گرفتند [۱۱]. در تمام مراحل پرس، فشار ۲۵ مگا پاسکال بود. خنک‌سازی صفحه‌های پر شده نیز با استفاده از آب سرد انجام گرفت. صفحه‌های پرس شده دارای ضخامت ۳ میلی‌متر و طول و عرض ۱۷ سانتی‌متر بودند. پرس استفاده‌شده از نوع TcYo.SELKL ساخت کشور ژاپن بود. در مرحله بعد، نمونه‌های چندسازه‌های ساخته‌شده برای رسیدن به رطوبت تعادل و یکسان‌سازی رطوبت آن‌ها به مدت دو هفته در شرایط متعادل‌سازی در رطوبت 3 ± 65 درصد و دمای 2 ± 20 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

اندازه‌گیری خواص مکانیکی بر اساس آیین‌نامه‌های مربوطه در دستورالعمل ASTM و با سه تکرار انجام شد.

شرایط پخت الیاف باگاس

در تهیه خمیر کاغذ مونواتانول‌آمین از مونواتانول‌آمین و آب با نسبت ۷۵ به ۲۵ درصد استفاده شد. مدت زمان پخت ۱۵۰ دقیقه در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد با نسبت مایع پخت به باگاس ۶ به ۱ در نظر گرفته شد. پخت سولفیت قلیایی- آنتراکینون در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۹۰ دقیقه با قلیابیت ۱۶٪ بر مبنای NaOH در نسبت‌های $50\% \text{NaSO}_3$ ، $50\% \text{NaOH}$ انجام شد. نسبت وزنی مایع پخت به وزن باگاس ۶ به ۱ انتخاب شد. آنتراکینون نیز به میزان ۰/۱٪ مقدار ماده خشک باگاس در هر یک از پخت‌ها اضافه گردید. شرایط در نظر گرفته‌شده در پخت سولفیت قلیایی- آنتراکینون و مونو- اتانول‌آمین مطابق با شرایط بهینه پیشنهادشده توسط حجازی و همکاران (۲۰۰۹) است [۱۰]. خمیر کاغذ سودا رنگبری شده و رنگبری نشده باگاس نیز از کارخانه کاغذ پارس واقع در هفت‌تپه خوزستان تهیه گردید.

فرآیند اختلاط و گرانول‌سازی

فرآیند اختلاط با اکسترودر دو مارپیچ ناهم‌سو گرد مدل Collin ساخت کشور آلمان (۱۹۹۰) با نسبت طول به قطر مارپیچ ۱۶ و قطر ۵ سانتی‌متر مارپیچ انجام شد. در ابتدا مواد لیگنوسولوزی به‌صورت دستی با پلیمر مخلوط و سپس به‌وسیله تغذیه‌کننده وارد اکسترودر شدند. سرعت دور موتور اکسترودر ۶۰ دور در دقیقه و دامنه دمایی تنظیم‌شده در نواحی مختلف به ترتیب ۱۵۵، ۱۵۵، ۱۵۵،

داده شده است.

نواحی جذب در 3431 cm^{-1} و 2924 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی O-H و آلکیل C-H می‌شود [۱۲]. نقطه اوج 1254 cm^{-1} در الیاف باگاس خام مربوط به ارتعاش C-O حلقه‌های گواسیل در لیگنین است. ناپدید شدن این پیک در الیاف خمیرکاغذ سودا رنگبری نشده، مونواتانول آمین، سولفیت قلیایی-آنتراکینون و سودا رنگبری شده بیانگر حذف لیگنین در طی خمیرسازی است [۱۲].

شدت پیک در 1100 cm^{-1} مربوط به کشش C-O و C-C یا C-OH در همی سلولزها می‌شود که در الیاف خمیرکاغذ به علت حذف بخشی از همی سلولزها بعد فرآیند خمیرسازی این شدت کاهش می‌یابد. از این رو، از شدت این پیک در طیف‌ها می‌توان مقدار همی سلولزها در الیاف را به صورت $B > UN > S > MEA > AS-AQ > B > S$ طبقه‌بندی کرد [۱۳]. از سوی دیگر نقطه اوج 899 cm^{-1} در الیاف باگاس خام و الیاف خمیرکاغذ سودا رنگبری نشده متعلق به پیوندهای گلیکوزیدی در پلی ساکاریدها است [۱۴].

اندازه‌گیری مقاومت و مدول کششی طبق آیین‌نامه ASTM-D638 با استفاده از نمونه‌هایی از نوع دمبلی و با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. اندازه‌گیری آزمون خمش طبق آیین‌نامه ASTM-D790 با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه انجام گردید. مقاومت به ضربه مطابق با آیین‌نامه ASTM-D256 از نوع بدون فاق انجام شد. برای اندازه‌گیری خواص کشش و خمش از دستگاه INSTRON مدل ۴۴۸۹ و برای آزمون ضربه، از ماشین ضربه دیجیتالی از نوع پاندولی مدل SANTAM11J استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از آزمون فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و تکنیک تجزیه واریانس استفاده شد. مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن توسط نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت.

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

طیف‌سنجی مادون قرمز برای بررسی و ارزیابی تغییرات شکل گرفته در گروه‌های عاملی شیمیایی قبل و بعد از تیمار انجام گرفت. طول موج در نظر گرفته شده برای آنالیز نمونه‌ها از 4000 cm^{-1} تا 400 cm^{-1} بود. این آنالیز با استفاده از دستگاه طیف‌سنج BRUKER ساخت کشور آلمان انجام گرفت.

میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM^۷)

سطح شکست مقاطع حاصل آزمون کششی با میکروسکوپ الکترونی پوششی مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون توسط دستگاه Voga ساخت کشور جمهوری چک در ۵ KV در انجام گرفت. لازم به ذکر است که قبل از انجام آنالیز، برای اجتناب از تخلیه الکتریکی، نمونه‌ها با روکش طلا پوشش دهی شدند.

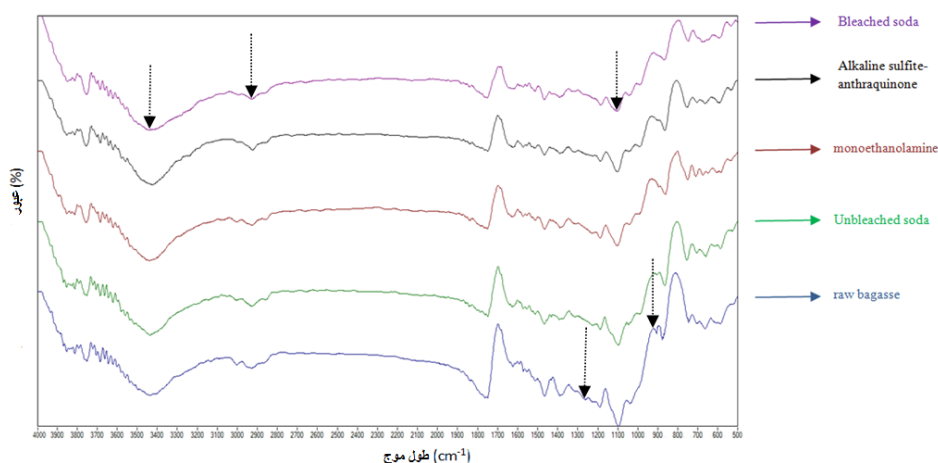
نتایج و بحث

طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

تأثیر تیمارهای شیمیایی روی مواد لیگنوسلولزی می‌تواند به وسیله آنالیز FTIR بررسی شود. طیف IR الیاف باگاس قبل و بعد از فرآیند خمیرسازی، در شکل ۱ نشان

^۶ Fourier Transfer Infrared Spectroscopy (FTIR)

^۷ Scanning Electron Microscopy (SEM)



شکل ۱- طیف‌های FTIR تهیه‌شده از الیاف باگاس قبل و بعد از فرآیند خمیرسازی

سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

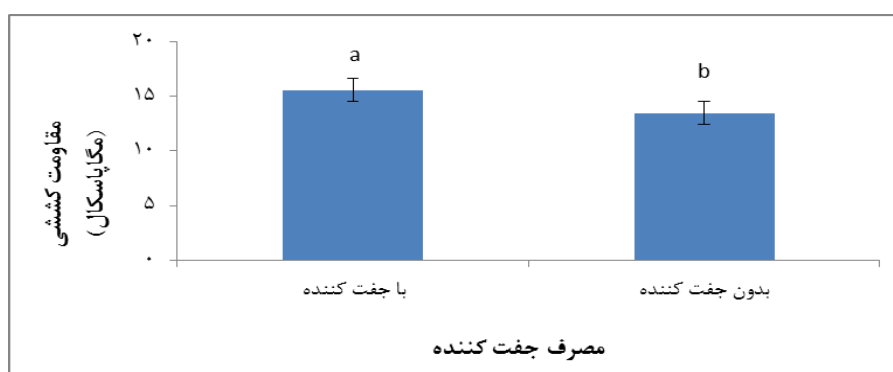
جدول ۲ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی را به صورت اثرات مستقل و متقابل نوع الیاف و استفاده و عدم استفاده از جفت کننده در

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی

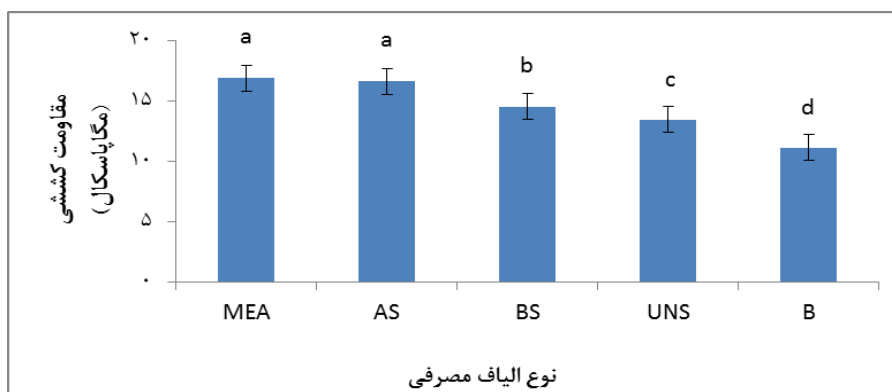
متغیر	مقاومت کششی	مدول کششی	مقاومت به ضربه	واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت
اثر مستقل نوع الیاف	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۴
اثر مستقل جفت کننده	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰
اثر متقابل نوع الیاف و جفت کننده	*۰/۰۳۳	*۰/۰۲۷	**۰/۰۱۶	*۰/۰۰۰

*معنی‌دار در سطح ۱ درصد، **معنی‌دار در سطح ۵ درصد

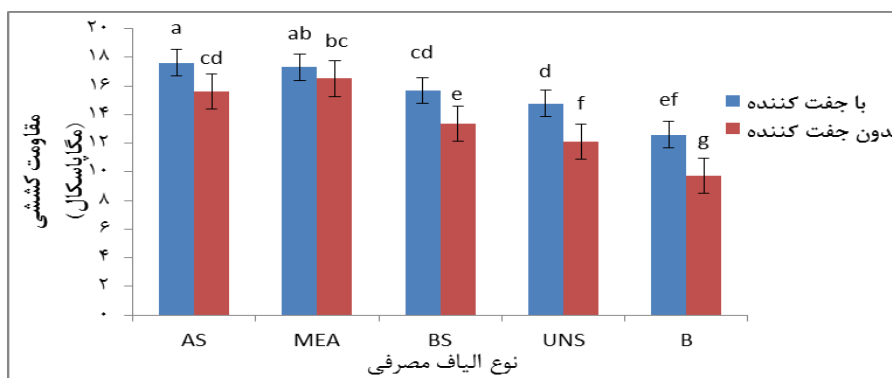
مقاومت کششی



شکل ۲- تأثیر مستقل جفت کننده بر مقاومت کششی نمونه‌ها



شکل ۳- تأثیر مستقل نوع الیاف بر مقاومت کششی نمونه‌ها



شکل ۴- تأثیر متقابل نوع الیاف و جفت کننده بر مقاومت کششی نمونه‌ها

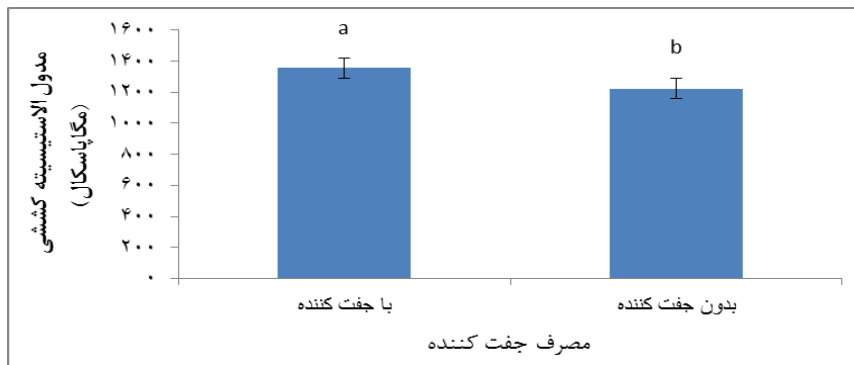
این فیبریل‌ها در جهت نیروی کششی آرایش می‌یابند و موجب انتقال بهتر تنش به ماتریس پلیمر می‌شوند [۱۵]. همچنین در نتیجه تیمار شیمیایی قطر فیبرها کاهش و نسبت ابعاد آن‌ها افزایش می‌یابد. افزایش نسبت طول به قطر فیبرها باعث توسعه منطقه سطحی تماس با پلیمر و بهبود چسبندگی پلیمر-الیاف شده که موجب بهبود خواص مکانیکی به خصوص مقاومت کششی می‌شود [۱۶]. از سوی دیگر، در الیاف خمیرکاغذ با حذف مواد غیر سلولزی از روی سطوح الیاف دسترس پذیری گروه‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد. به موجب این امر علاوه بر بهبود قابلیت پیوند شیمیایی الیاف با پلیمر، زیری الیاف نیز بالا می‌رود و در نتیجه در هم گیر کردن مکانیکی الیاف با ماده زمینه (پیوند فیزیکی) افزایش می‌یابد [۱۶]. Mansouri و همکاران (۲۰۱۲) نیز تأثیر استفاده از خمیر موناتانول آمین تری تیکاله را در چندسازه‌های پلی اتیلن سنگین بررسی و با الیاف خام تری تیکاله مقایسه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که خواص کششی در چندسازه‌های

با توجه به جدول ۲ اثر مستقل نوع الیاف و جفت کننده در سطح ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد بر مقاومت کششی معنی دار است. چنانچه در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، استفاده از جفت کننده و الیاف خمیرکاغذ باگاس سبب افزایش مقاومت کششی می‌شود. نتایج گروه بندی دانکن و تجزیه واریانس مقاومت کششی چندسازه‌ها نشان می‌دهد که در میان چندسازه‌ها، بالاترین مقاومت کششی مربوط به نمونه دارای الیاف خمیرکاغذ سولفیت قلیایی-آنتراکینون با ۵ درصد جفت کننده است که در گروه برتر (a) قرار گرفته و کمترین آن متعلق به نمونه دارای الیاف باگاس خام بدون جفت کننده است که در گروه (c) قرار گرفته است. مقاومت کششی چندسازه‌های خمیرکاغذ باگاس بالاتر از چندسازه‌های باگاس خام است. در واقع به دلیل پخت شیمیایی در محیط قلیایی، همی سلولزها و لیگنین حذف شده و پیوندهای الیاف-الیاف کمتر شده در نتیجه فیبریل‌ها قادر به آرایش مجدد می‌شوند [۱۵]. به طوری که

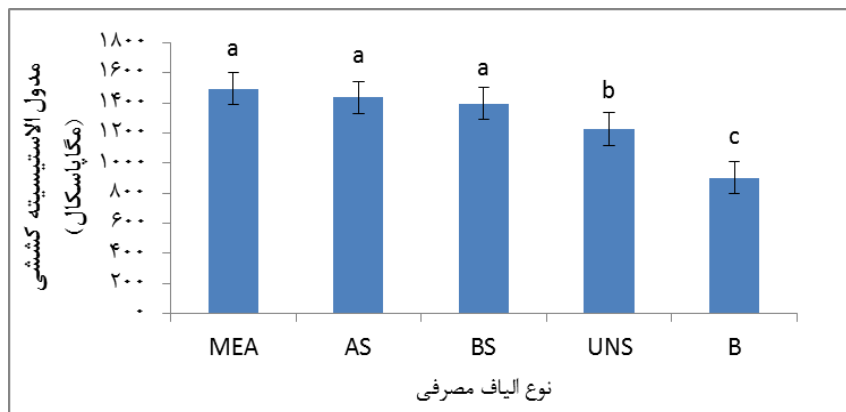
بهبودی صرفاً از طریق استفاده از جفت کننده ایجاد شده است. نتایج بررسی Mohammadi و همکاران (۲۰۱۴)، Nourbakhsh و همکاران (۲۰۱۴) و kargarfard (۲۰۱۱) نیز نشان داد که بکارگیری جفت کننده باعث افزایش مقاومت کششی چندسازه‌ها می‌شود [۲۰-۱۸].

مدول کششی

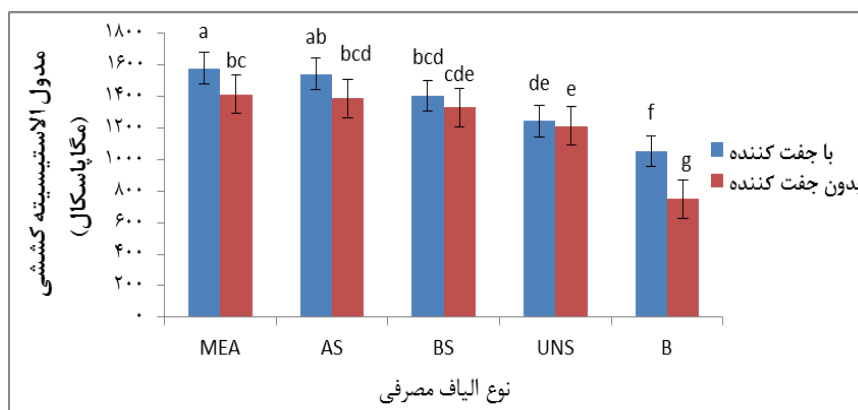
خمیرکاغذ در مقایسه با الیاف خام به‌طور قابل توجه‌ای بهبود یافته است [۱۷]. مقاومت کششی چندسازه‌های حاوی ۵ درصد وزنی جفت کننده بالاتر از چندسازه‌های بدون جفت کننده است؛ زیرا علاوه بر تیمار شیمیایی، جفت کننده نیز به بهبودی چسبندگی بینابینی میان الیاف-پلیمر کمک کرده و سازگاری بیشتر از قبل افزایش می‌یابد. البته در چندسازه حاوی الیاف باگاس خام



شکل ۵- تأثیر مستقل جفت کننده بر مدول کششی نمونه‌ها



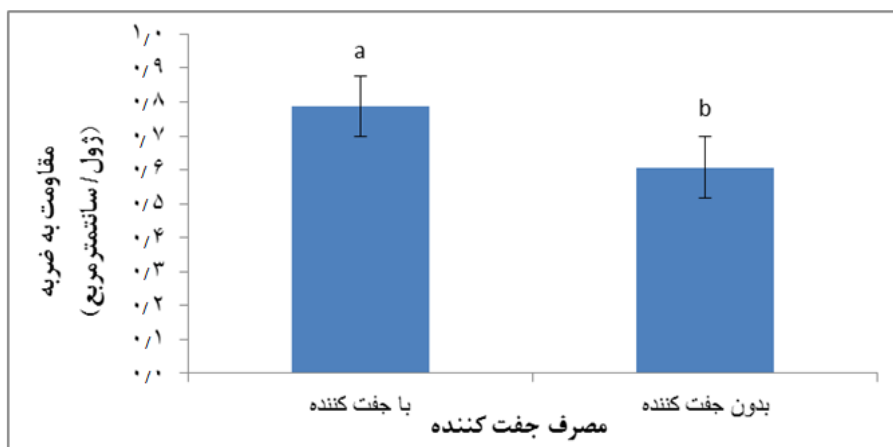
شکل ۶- تأثیر مستقل نوع الیاف بر مدول کششی نمونه‌ها



شکل ۷- تأثیر متقابل نوع الیاف و جفت کننده بر مدول کششی نمونه‌ها

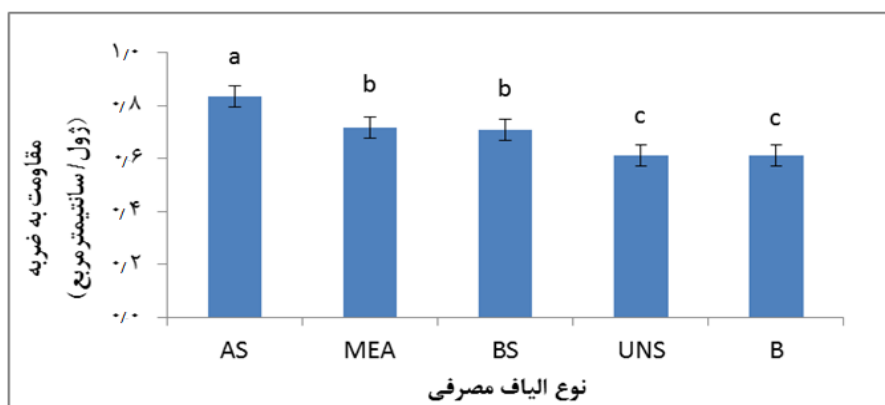
غیر قطبی و الیاف قطبی نسبت داد. تیمار شیمیایی به واسطه حذف لیگنین، همی سلولزها و دیگر مواد محلول روی سطح الیاف و همچنین دفیبره کردن الیاف منجر به نرم شدن، افزایش سطح مشترک الیاف - ماده زمینه، برهمکنش و اختلاط بهتر اجزاء شده، در نتیجه مدول الاستیسیته می‌یابد [۲۱]. در واقع می‌توان بیان کرد که مدول کششی توسط عوامل متعددی از جمله سفتی الیاف، پراکندگی الیاف در ماتریس، نسبت ابعاد الیاف، سطح بینابینی پلیمر-الیاف، جهت‌گیری الیاف و تبلور چندسازه کنترل می‌شود [۷]. لذا الیاف خمیرکاغذ باگاس به دلیل برتری در این ویژگی‌ها در افزایش مدول کششی مؤثرتر از الیاف باگاس خام به‌عنوان تقویت‌کننده عمل می‌کنند. همچنین Kargarfard (۲۰۱۳) به افزایش مدول کششی با استفاده از الیاف و ۵ درصد جفت‌کننده نسبت به استفاده از آرد چوب و بدون جفت‌کننده دست‌یافت که تأییدکننده نتایج بررسی حاصل است [۲۲].

مقاومت به ضربه

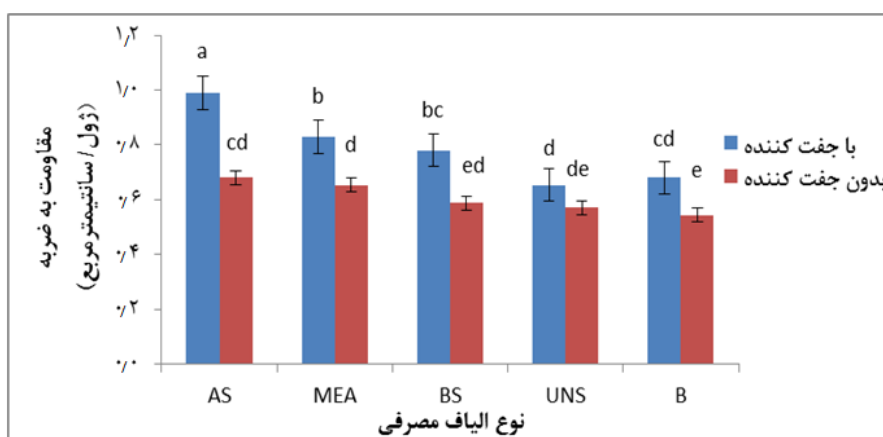


شکل ۸- تأثیر مستقل جفت‌کننده بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها

با مراجعه به جدول تجزیه واریانس مشخص شده است که اثر مستقل نوع الیاف و جفت‌کننده در سطح ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد بر مدول کششی معنی‌دار است. شکل ۵ نشان می‌دهد که به‌کارگیری ۵ درصد جفت‌کننده در مقایسه با عدم استفاده از جفت‌کننده باعث افزایش مدول کششی می‌شود. شکل ۷ حاکی از اثرات متقابل جفت‌کننده و نوع الیاف بر مدول کششی است که نشان می‌دهد بالاترین مدول کششی متعلق به نمونه دارای الیاف خمیرکاغذ مونواتانول‌آمین حاوی ۵ درصد جفت‌کننده با مقدار $1412/33$ MPa است که در گروه برتر (a) قرار گرفته است. کمترین مدول کششی مربوط به چندسازه الیاف باگاس خام بدون جفت‌کننده است که در گروه (g) دسته‌بندی شده است. همان‌طور که نتایج می‌دهد بیشترین تأثیر استفاده از جفت‌کننده در بهبود مدول کششی در چندسازه حاوی الیاف باگاس خام مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از آزمون طیف-سنجی مادون قرمز، علت آن را می‌توان به عدم انجام هیچ-گونه تغییر شیمیایی در ساختار الیاف و در نتیجه تأثیر قابل توجه جفت‌کننده در برقراری سازگاری میان پلیمر



شکل ۹- تأثیر مستقل نوع الیاف بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها



شکل ۱۰- تأثیر متقابل نوع الیاف و جفت کننده بر مقاومت به ضربه نمونه‌ها

(۲۰۱۳) نیز افزایش مقاومت به ضربه را در نتیجه بهبودی سطح مشترک الیاف-پلیمر مشاهده کردند [۲۳]. از این رو، می‌توان بیان کرد که در چندسازه‌های سولفیت قلیایی-آنتراکینون و مونواتانول‌آمین همراه با ۵ درصد جفت کننده در مقایسه با چندسازه‌های دیگر سازگاری مناسبی در سطح مشترک برقرار شده است.

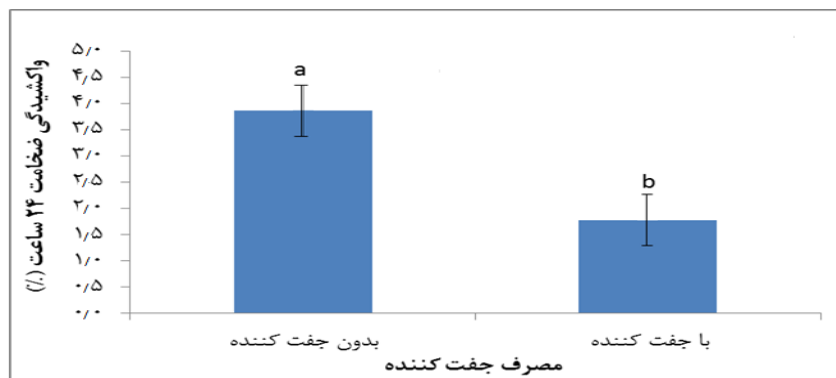
واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت

با مراجعه به جدول تجزیه واریانس اثر مستقل جفت کننده و نوع الیاف و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت در سطح ۱ درصد معنی-دار است. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است به کارگیری ۵ درصد جفت کننده در چندسازه نسبت به عدم استفاده از جفت کننده باعث کاهش واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت در چندسازه‌های حاصل می‌شود. اثر مستقل نوع الیاف در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که غیر از الیاف سودا رنگبری شده به کارگیری سایر الیاف خمیرکاغذ

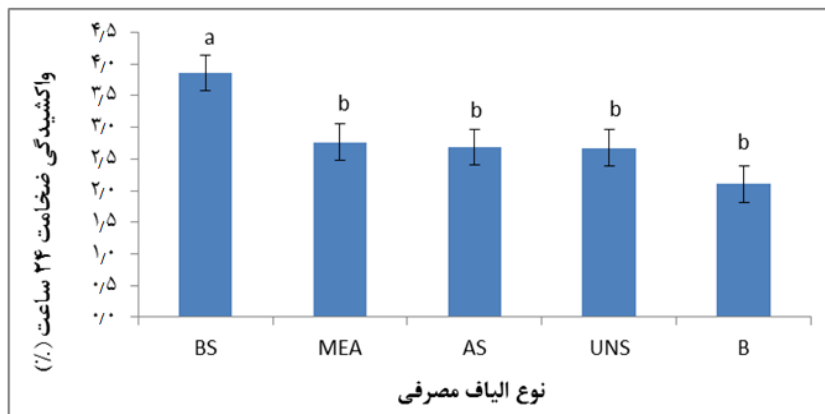
همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس نشان داده شده است اثر مستقل جفت کننده و نوع الیاف در سطح ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. شکل ۸ نشان می‌دهد که استفاده از ۵ درصد جفت کننده باعث افزایش مقاومت به ضربه شده است. مقاومت به ضربه قابلیت مواد برای مقاومت به شکست یا مقدار انرژی موردنیاز برای گسترش شکاف است که در طی آزمون الیاف با سه مکانیسم یعنی پیوند زدایی، بیرون‌زدگی و شکست مواجه می‌شوند. اثر متقابل جفت کننده و نوع الیاف در شکل ۱۰ حاکی از این است که بالاترین مقاومت به ضربه مربوط به نمونه دارای الیاف سولفیت-قلیایی-آنتراکینون با ۵ درصد جفت کننده با مقدار 0.99 J/cm^2 است که در گروه برتر (a) قرار گرفته است. همچنین کمترین مقاومت به ضربه متعلق به نمونه دارای الیاف باگاس خام بدون جفت کننده با مقدار 0.54 J/cm^2 است که در گروه (e) قرار گرفته است. Shakeri و همکاران

الیاف باگاس خام هستند. از این رو، الیاف سودا رنگبری- شده به دلیل وجود حداقل لیگنین باقی مانده دارای بیشترین مقدار جذب آب و الیاف سودا رنگبری نشده به دلیل تغییر کمتر لیگنین و ساختار غیر سلولزی دارای جذب آب کمتری هستند. همچنین واکنشیدگی ضخامت در چندسازه‌های حاوی ۵ درصد جفت کننده کمتر از چندسازه‌های بدون جفت کننده است. در واقع کاربرد سازگار کننده، سبب ایجاد واکنش‌های شیمیایی بین ماده لیگنوسلولزی و پلیمر شده و به وسیله پیوند با گروه‌های هیدروکسیل آب دوست مواد لیگنوسلولزی و تشکیل گروه‌های استری، علاوه بر غیرفعال کردن گروه‌های هیدروکسیل قابل دسترس، طبیعت آب دوست الیاف را به آب‌گریزی تبدیل می‌کند [۲۵]. همچنین بررسی‌های Rowell و همکاران (۲۰۰۰)، Hill، (۲۰۰۰)، Krzysik و Youngquist (۱۹۹۹) تأییدکننده نتایج این پژوهش هستند [۲۶-۲۸].

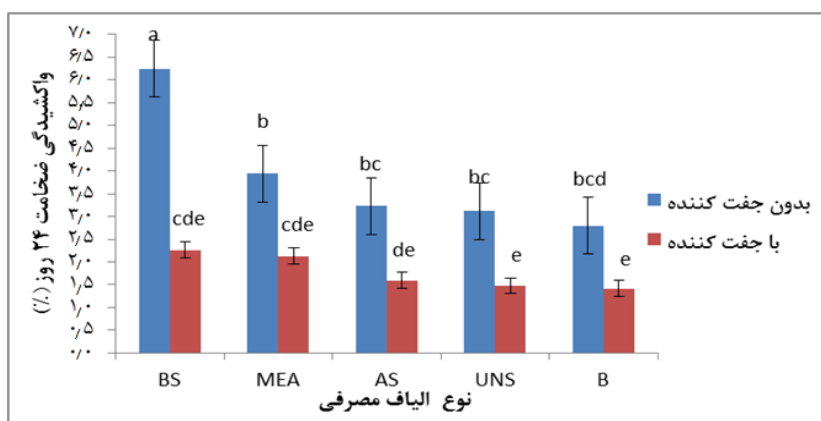
باگاس به‌عنوان تقویت‌کننده در چندسازه در مقایسه با باگاس خام باعث تغییر کمی در واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها می‌شود که مشابه نتایج به دست آمده توسط Altun و همکاران (۲۰۱۳) است. آن‌ها نیز مشاهده کردند که تیمار قلیایی الیاف آرد چوب در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌های پلی لاکتیک اسید تأثیر به‌سزایی ندارد [۲۴]. نتایج گروه‌بندی دانکن در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که بالاترین میزان واکنشیدگی ضخامت مربوط به نمونه دارای الیاف سودا رنگبری شده بدون جفت کننده با مقدار ۶/۲۵ درصد است که در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد و کمترین میزان واکنشیدگی ضخامت مربوط به نمونه دارای الیاف باگاس خام با جفت کننده با مقدار ۱/۴۱ درصد است. باید توجه داشت که الیاف خمیر کاغذ باگاس به دلیل حذف لیگنین و همی سلولزها دارای جذب آب و در نتیجه واکنشیدگی بیشتری نسبت به



شکل ۱۱- تأثیر مستقل جفت کننده بر واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت نمونه‌ها



شکل ۱۲- تأثیر مستقل نوع الیاف بر واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت نمونه‌ها

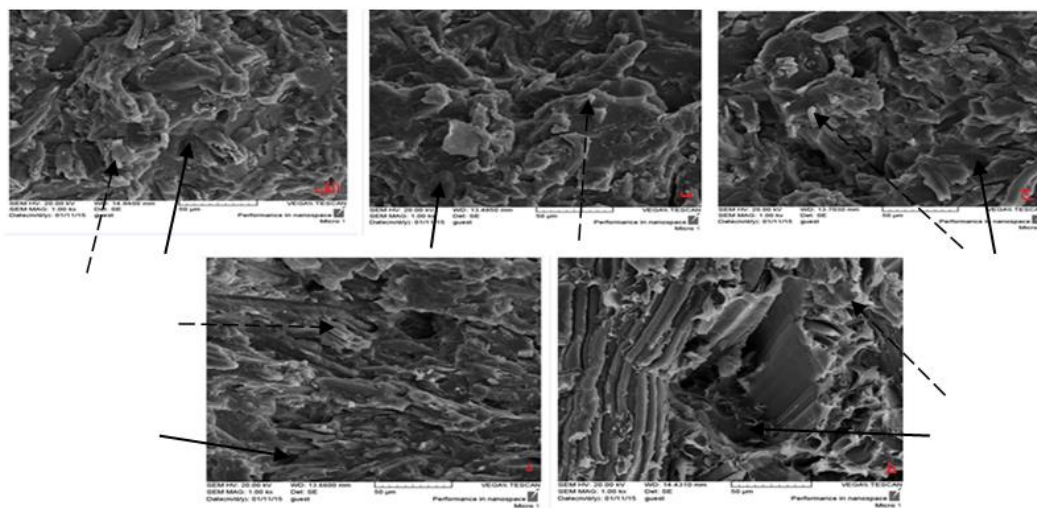


شکل ۱۳- تأثیر متقابل نوع الیاف و جفت کننده بر واكسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت نمونه‌ها

های خمیرکاغذ به‌ویژه سولفیت‌قلیایی-آنتراکینون، مونو- اتانول آمین و سودا رنگبری شده به‌خوبی با ماتریس پلیمری پیوند برقرار کرده‌اند. به‌گونه‌ای که الیاف به‌خوبی در ماتریس پلیمری جای گرفته‌اند و فضای خالی بین آن‌ها به حداقل رسیده است. لازم به ذکر است که پراکنش الیاف خمیرکاغذ در چندسازه‌های تقویت‌شده با آن‌ها، همگن‌تر بوده و این بهبودی می‌تواند در افزایش خواص مکانیکی چندسازه‌های خمیرکاغذ نسبت به باگاس خام مؤثر باشد.

میکروسکوپ الکترونی پویشی

به‌منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر تأثیر تقویت‌کنندگی الیاف تصاویر SEM از سطوح شکست چندسازه‌ها تهیه شد. همان‌طور که در تصاویر (الف-د) مشاهده می‌شود، انجام تیمارهای شیمیایی منجر به جدا شدن دسته‌های الیاف شده است. لذا در چندسازه‌های حاوی خمیرکاغذ الیاف به‌صورت فیبرپله‌شده قابل‌رؤیت هستند که نشان- دهنده تأثیر تیمار شیمیایی در حذف لیگنین و ناخالصی‌ها و فیبریل کردن دسته‌های الیاف است. همچنین چندسازه



شکل ۱۴- تصاویر میکروسکوپی چندسازه‌های پلی اتیلن سبک بدون حضور جفت کننده الف: سولفیت‌قلیایی-آنتراکینون ب: مونواتانول- آمین ج: خمیرسودا رنگبری شده باگاس د: خمیرسودا رنگبری نشده باگاس ط: باگاس خام - پیکان‌های نقطه‌چین نشان‌دهنده الیاف و پیکان‌های پررنگ نشان‌دهنده پلیمر است.

باگاس شامل خمیرمونواتانول آمین، خمیر سولفیت‌قلیایی- آنتراکینون، خمیر سودا رنگبری شده و رنگبری نشده با

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر تقویت‌کنندگی الیاف خمیرکاغذ

باگاس خام دارای واکنشیدگی ضخامت بیشتری هستند. به‌کارگیری ۵ درصد جفت‌کننده نیز به ایجاد سازگاری میان الیاف قطبی و پلیمر نا قطبی کمک کرده و باعث بهبودی بیشتر مقاومت کششی، مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌ها شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الیاف خمیرکاغذ باگاس به‌ویژه مونواتانول‌آمین و سولفیت-قلیایی-آنتراکینون نسبت به باگاس خام به‌طور بسیار مؤثرتری به‌عنوان تقویت‌کننده ماتریس پلیمری نقش ایفاء می‌کنند. نتایج حاصل از SEM نیز تأییدکننده این مطلب است. استفاده از ۵ درصد جفت‌کننده نیز باعث برقراری سازگاری بیشتر الیاف-پلیمر و افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی می‌شود.

الیاف باگاس خام و همچنین استفاده و عدم استفاده از جفت‌کننده مالدئیک‌انیدرید به میزان ۵ درصد وزنی در ماتریس پلی‌اتیلن سبک مقایسه و بررسی شدند. نتایج نشان داد که مقاومت کششی چندسازه‌های الیاف خمیرکاغذ باگاس به‌ویژه مونواتانول‌آمین و سولفیت‌قلیایی-آنتراکینون به دلیل افزایش نسبت ابعاد الیاف، حذف ناخالصی‌ها و افزایش در دسترس‌پذیری گروه‌های هیدروکسیل بالاتر از چندسازه باگاس خام است. مدول کششی نیز به دلیل ویژگی‌های برتر الیاف خمیرکاغذ از جمله سفتی بیشتر، پراکندگی بهتر، تبلور و نسبت ابعاد بالاتر، در چندسازه‌های الیاف خمیرکاغذ بالاتر از چندسازه باگاس خام است. همچنین الیاف خمیرکاغذ باگاس به دلیل حذف لیگنین و دیگر مواد غیر سلولزی نسبت به

منابع

- [1] Faludi, G., Renner, K., Móczó, J. and Pukánszky, B., 2013. Biocomposite from polylactic acid and lignocellulosic fibers: Structure–property correlations. *Carbohydrate Polymers*, 92: 1767–1775.
- [2] Faruk, O., Fink, H.P. and, Sain, M., 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37: 1552–1596.
- [3] Berzin, F. and Beaugrand, J., 2014. Evolution of lignocellulosic fibre lengths along the screw profile during twin screw compounding with polycaprolactone. *Composites: Part A*, 59: 30-36.
- [4] Hietala, M., Niinimäki, J. and Oksman, K., 2011, The effect of pre-softened wood chips on wood fibre aspect ratio and mechanical properties of wood–polymer composites. *Composites: Part A*, 42: 2110–2116.
- [5] Hietala, M., 2011. Processing of wood chip–plastic composites: effect on wood particle size, microstructure and mechanical properties. *Plastics, Rubber and Composites*, 40: 49-56.
- [6] Kordsachia, O. and Patt, R., 1991. Suitability of different hardwoods and non-wood plants for non-polluting pulp production. *Biomass Bioenergy*, 1: 225–231.
- [7] Islam, M.S. and Foreman, N.J., 2010, Influence of alkali treatment on the interfacial and physico-mechanical properties of industrial hemp fibre reinforced polylactic acid composites. *Composites: Part A*, 41: 596–603.
- [8] Anamaria S., Totolin, M., Cazacu, G. and Vasile, C., 2012. Low density polyethylene composites containing cellulose pulp fibers. *Composites: Part B*, 43: 1873–1880.
- [9] López, S.B., Mansouri, E.I, Mutjé, P. and Vilaseca, F., 2012. PP composites based on mechanical pulp, deinked newspaper and jute strands: A comparative study. *Composites: Part B*, 43: 3453–3461.
- [10] Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Latibari, A. and Tschirner, U., 2009. Alkaline sulfite–anthraquinone (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. *Industrial crops and products*, 29: 27–36.
- [11] Georgopoulos, S., Tarantili, P.A, Avgerinos, E., Andreopoulos, A.G. and Koukios, E.G., 2005. Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues. *Polymer Degradation and Stability*, 90: 303–312.

- [12] Du, Y., Yan, N., Kortschot, M.T. and Farnood, R., 2013. Pulp fiber-reinforced thermoset polymer composites: Effects of the pulp fibers and polymer. *Composites: Part B*, 48:10–17.
- [13] Kubo S., 2005. Hydrogen bonding in lignin: a Fourier transform infrared model compound study. *Biomacromolecules*, 6(5):2815–2821.
- [14] Jonoobi, M., Shakeri, A., Misra, M. and Oksman, K., 2009. Chemical composition, crystallinity, and thermal degradation of bleached and unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofibers. *BioResources*, 4:626-639.
- [15] Bledzki, A. K. and Gaaasn, J., 1999. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Progress in Polymer Science*, 24:221–274.
- [16] Islam, M.S. and Foreman, N.J, 2010. Influence of alkali treatment on the interfacial and physico-mechanical properties of industrial hemp fibre reinforced polylactic acid composites. *Composites: Part A*, 41: 596–603.
- [17] Mansouri, N., Espinach, X., Julian, F., Verdaguer, N., Torres, L., Llop, M. and Mutje, P., 2012. Reasearch on the suitability of organosolv semi-chemical triticale fibers as reinforcement for recycled HDPE composites, *Bioresources*, 7: 5032-5047.
- [18] Kargarfard, A., 2011. The Effect of Wood Particles Type and Coupling Agent Content on Properties of Composites From Recycleed Polypropylene and Eucalyptus Wood, *Journal of Forest and Wood Products*, 64: 55-64. (In persian).
- [19] Nourbakhsh, A., Kargarfard, A., Golbabaei, F. and Kouhpayehzadeh, M., 2014. Investigation on mechanical and thermal properties of giant milkweed (*Calotropis persica*) fibers -plastics composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29: 106-116. (In persian).
- [20] Mohammadi, H., Madhoushi, M. and Zabihzadeh, M., 2014. Flexural .and Tensile properties of Rice Stalk Flour-Polypropylene Composite During Moisture Cyclic Loading, *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 21: 195-206. (In persian).
- [21] Du, Y., Yan, N., Kortschot, T. and Farnood, R., 2014. Fabrication and characterization of fully biodegradable natural fiber-reinforced poly(lactic acid) composites. *Composites: Part B*, 56: 717–723.
- [22] Kargarfard, A., 2013. The Influence of Coupling Agent and the Content of Fibers on Tensile Strength and Physical Properties of Cotton Fiber Stem/Recycled Polypropylene Composites, *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 2: 131-140. (In persian).
- [23] Shakeri, A., Safdari, V.R., Rohnia, M. and Nourbakhsh, A., 2013. An analysis of the combined effects of isocyanate HMDI and maleic anhydride (MAPE) coupling agents on the mechanical properties of HDPE-wood flour composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28: 290-300. (In persian).
- [24] Altun, Y., Dog˘an, M. and Bayramlı, E., 2013. Effect of Alkaline Treatment and Pre-impregnation on Mechanical and Water Absorbtion Properties of Pine Wood Flour Containing Poly (Lactic Acid) Based Green-Composites. *J Polym Environ*, 21: 850–856.
- [25] Leu, S.Y, Lo, S.F. and Yang, T.H., 2012. Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood–plastic composites (WPCs). *Construction and Building Materials*, 29: 120–127.
- [26] Krzysik, N., 1999. Dependence of the mechanical properties of wood flour polymer composites on the moisture content. *Applied Polymer Science*, 68: 2069-2076.
- [27] Rowell, M.L. and Jacobson, RE., 2000. Weathering performance of plant-fiber /thermoplastic composites. *Cryst. And Liq.*, 353: 85-94.
- [28] Hill, C., 2000. Wood/plastic composite strategies for compatibilising the phases. *Institute of wood science*, 15(3): 140-146.

Effect of bagasse chemical pulping and coupling agent on the physical - mechanical properties of composites based on bagasse pulp/Low density polyethylene

Abstract

In this research, effect of reinforcing bagasse pulp and raw bagasse fibers and applying coupling agent MAPE (maleic anhydride polyethylene) were studied on the physical-mechanical properties of low density polyethylene (LDPE) composites. Fresh bagasse was collected from an experimental field in Khuzestan and after investigating the anatomy and chemical properties of different pulp fibers including monoethanolamine (MEA) bagasse pulp, alkaline sulfite-anthraquinone (AS) bagasse pulp, bleached soda (BS) bagasse pulp, unbleached soda (UNS) bagasse pulp and raw bagasse fibers (B) were prepared. Then, composites with 30wt.% fiber content were manufactured by twin-screw extrusion followed by the compression molding processing. The mechanical and physical properties of these composites were analyzed and compared. The results revealed that the chemical pulping dissolved a fraction of lignin and hemicelluloses so that the linkage potential and aspect ratio of bagasse fibers were improved and consequently, as compared with the raw bagasse fibers, bagasse pulp fibers showed a better reinforcing capability. The best overall properties were achieved with MEA and AS/AQ fibers. Addition of 5% (wt/wt) of coupling agent MAPE resulted in a significant enhancement in the tensile strength, tensile modulus and impact strength in line with the improvement of the fiber-matrix interfacial adhesion, making the transfer of stress from the matrix to the rigid reinforcement more effective.

Keywords: wood-plastic composites, bagasse pulp fibers, low density polyethylene (LDPE), mechanical properties.

M. Allahdady ¹

S. Hedjazi ^{2*}

M. Jonoobi ³

A. Abdolkhani ⁴

L. Jamalirad ⁵

¹ MSc, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁵ Assistant Professor., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran

Corresponding author:

shedjazi@ut.ac.ir

Received: 2015/09/13

Accepted: 2016/02/09