

بررسی ویژگی‌های کششی و ثبات ابعادی چندسازه پلی‌پروپیلن، الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ

حبیب‌الله خادمی اسلام^{۱*} و مهدی کلاگر^۲

*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

پست الکترونیک: hkhademislam@gmail.com

۲- دکتری صنایع چوب و کاغذ، کارشناس جنگل، شرکت جنگل شفاورد، گیلان

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۳

چکیده

در این مطالعه ویژگی‌های کششی و فیزیکی چندسازه پلی‌پروپیلن (به‌عنوان ماتریس) و الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ (به‌عنوان پرکننده) بررسی شد. برای ساخت چندسازه از ترکیبات مختلف الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ (۴۰/۳۰، ۴۰/۲۰، ۳۰/۱۰، ۲۰/۲۰) استفاده شد. همچنین برای سازگاری بهتر بین دو فاز از انیدرید مالئیک پیوند خورده با پلی‌پروپیلن به میزان ۳ درصد به‌عنوان اتصال‌دهنده استفاده شد. برای اختلاط مواد از اکسترودر دوماریچ ناهمسان‌گرد و برای تهیه نمونه‌های استاندارد از روش قالب‌گیری تزریقی استفاده شد. بررسی مدول الاستیسیته کششی نشان داد با افزودن هر دو نوع پرکننده افزایش قابل توجهی در سفتی چندسازه نسبت به PP خالص مشاهده شده، درحالی‌که استفاده از میزان بالاتر لجن کاغذ بهبود بیشتری در این ویژگی را نشان داده است. البته مقاومت کششی چندسازه با افزودن ۴۰ درصد الیاف کاه گندم کاهش یافت، اما پس‌از آن با افزودن مقدار بالاتر لجن کارخانه کاغذ، مقاومت کششی چندسازه افزایش معنی‌داری را نشان داده است. با افزودن الیاف کاه گندم به ماتریس PP و دارا بودن خاصیت آب‌دوستی این مواد، بالاترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مشاهده شد. درحالی‌که با افزودن لجن کارخانه کاغذ با میزان مواد لیگنوسولوزی کمتر، پایین‌ترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مشاهده شد. همچنین با افزودن اتصال‌دهنده و برقراری اتصال بهتر بین دو فاز، کاهش قابل توجهی در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: الیاف کاه گندم، لجن کارخانه کاغذ، ویژگی‌های کششی، ثبات ابعادی، چندسازه

مقدمه

افزودن پرکننده‌های معدنی و آلی باعث به وجود آمدن چندسازه تقویت‌شده گردیده است. فواید الیاف طبیعی از قبیل قیمت کم، دانسیته پایین، طبیعت تجدیدپذیر و دسترس‌پذیر آسان، باعث استفاده از این ترکیبات در ساخت چندسازه شده است. مشکل اصلی در چندسازه پلیمری تقویت‌شده با الیاف طبیعی ناسازگاری طبیعت آب‌گریز پلیمر

با رشد فناوری در چندین دهه اخیر، استفاده از مواد با هزینه تولید کم و فراورش آسان برای بسیاری از محققان و صنایع مورد توجه قرار گرفته است. در سالیان اخیر برای کاهش استفاده از پلیمرهای متداول از قبیل پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن به‌منظور کاهش فشار بر سوخت‌های فسیلی

سازگارکننده و اتصال‌دهنده برای بهبود ویژگی‌های چندسازه PP، لجن کارخانه کاغذ (Salmah *et al.*, 2005) و انیدرید مالئیک پیونده خورده با پلی‌پروپیلن در چندسازه پلی‌پروپیلن پر شده با کاغذ روزنامه بازیافتی (Yuan *et al.*, 1999) مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش استفاده از دو پرکننده با ساختار متفاوت برای ساخت چندسازه پلیمری بوده که برای اتصال بهتر از MAPP به‌عنوان سازگارکننده استفاده شده و ویژگی‌های فیزیکی و مقاومت به ضربه این ترکیبات مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن و پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار شده (MAPP) ساخت شرکت پتروشیمی اراک به ترتیب با شاخص جریان مذاب (MFI) ۱۶ و ۶۴ gr/10min، به‌عنوان فاز زمینه استفاده شد. برای تهیه الیاف از کاغذ گندم تهیه شده از مزارع استان قزوین، ابتدا کاغذ گندم به مدت ۱۲ ساعت در آب خیس شد و بعد به مدت ۲۰ دقیقه توسط دستگاه بخارزنی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد موجود در مرکز تحقیقات البرز مورد بخارزنی قرار گرفت. سپس کاغذ گندم بخارزنی شده توسط پالایشگر ساخت شرکت قومس (داخلی) موجود در مؤسسه تحقیقات البرز مورد پالایش قرار گرفت و پس از آب‌گیری از الیاف خیس تهیه شده این الیاف زیر نور خورشید قرار گرفته و خشک شدند. لجن مورد نیاز برای تحقیق از بخش تصفیه پساب کارخانه لطیف به‌دست آمد که ویژگی‌های آن در جدول زیر آورده شده است (Marzban Moridani *et al.*, 2013).

روش‌ها

ترکیب مواد برای ساخت چندسازه و ساخت نمونه‌های استاندارد

قبل از اختلاط مواد، برای حذف رطوبت موجود در مواد مورد استفاده که فاکتور مؤثری در ساخت چندسازه است الیاف کاغذ گندم و لجن کارخانه کاغذ را به مدت ۲۴ ساعت

و آب‌دوست الیاف طبیعی است. البته تلاش‌هایی برای مقابله با این مشکل با استفاده از اتصال‌دهنده‌ها انجام شده است (Ismail *et al.*, 2002).

در این تحقیق علاوه بر الیاف کاغذ گندم، از لجن کارخانه کاغذ به‌عنوان پرکننده در ماتریس پلی‌پروپیلن استفاده شده است. کاربرد پسمانده‌های زراعی و به‌ویژه الیاف کاغذ گندم برای جلوگیری از فشار بر منابع جنگلی، ارزش افزوده بالاتر به این مواد و کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن این مواد در ساخت چندسازه پلیمری مورد توجه قرار گرفته است (Zou *et al.*, 2010; Reddy & Yang, 2009). کاغذ گندم منبعی فیبری با تجدیدپذیری عالیانه است که در بیشتر مناطق جهان به‌فراوانی یافت می‌شود. در ایران سالیانه ۱۰۰۰۰۰۰ تن کاغذ گندم بدون استفاده در طبیعت رها می‌شود (Ashori & Nourbakhsh, 2008).

لجن کارخانه کاغذ محصول فرعی کارخانه خمیر و کاغذ است. همچنین لجن کارخانه کاغذ که در هر تن تولید کاغذ در حدود ۳۵-۴۵ کیلوگرم تولید می‌شود (Girones *et al.*, 2010)، یکی از معضلات صنایع کاغذ هستند که صنایع مربوطه به علت اثرات زیست‌محیطی مضر این ماده بسیار علاقه‌مند به دفع مناسب این ماده هستند. ترکیب اصلی لجن کارخانه کاغذ، الیاف سلولزی کوتاه و مواد معدنی است که استفاده از آن در چندسازه پلیمری باعث کاربرد تجاری گسترده و جنبه توسعه‌ای این ماده به‌عنوان پرکننده جدید خواهد شد (Qiao *et al.*, 2003). البته کاربرد لجن کارخانه در چندسازه پلیمری از دیدگاه بازیافت مواد بسیار حائز اهمیت خواهد بود (Jang *et al.*, 2003). استفاده از الیاف کاغذ به‌عنوان پرکننده در چندسازه پلی‌پروپیلن (Qiao *et al.*, 2003)، لجن کارخانه کاغذ در چندسازه رزین فنولیک (Yadav *et al.*, 1999)، پلی‌پروپیلن (Salmah, *et al.*, 2005) و پلی‌اتیلن (Hamzeh *et al.*, 2003) مورد توجه قرار گرفته است. همچنین ویژگی‌های مکانیکی (Marzban Moridani *et al.*, 2013) و فیزیکی (Marzban Moridani & Talaeipour, 2014) استفاده از لجن کارخانه کاغذ به‌عنوان پرکننده با ماتریس پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن بازیافتی مورد بررسی قرار گرفته است. ضمناً استفاده از

جدول ۱- ویژگی‌های لجن پساب

ویژگی	لجن پساب
pH	۸/۳۹۴
هدایت الکتریکی	۳/۸۶Ms/cm
مواد معدنی	٪۴۸
مواد آلی	٪۵۲

در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار دادیم. آنگاه برای اختلاط مواد از اکسترودر دوماریچج ناهمسوگرد با پنج ناحیه دمایی ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰، ۱۸۵ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت چرخش ۳۰rpm استفاده شده است. نمونه‌های آزمون مکانیکی و فیزیکی، به روش قالب‌گیری تزریقی با دمای سیلندر تزریق در هر سه ناحیه ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار تزریق ۱۱۰ بار و زمان دوره تزریق کمتر از ۲۰ ثانیه تهیه شد.

جدول ۲- ترکیب مواد برای ساخت چندسازه

کد نمونه	الیاف کلش گندم	لجن کارخانه کاغذ	پلی‌پروپیلن	MAPP
PP	۰	۰	۱۰۰	۰
W40	۴۰	۰	۶۰	۰
W40/M	۴۰	۰	۵۷	۳
S10/W30	۳۰	۱۰	۶۰	۰
S10/W30/M	۳۰	۱۰	۵۷	۳
S20/W20	۲۰	۲۰	۶۰	۰
S20/W20/M	۲۰	۲۰	۵۷	۳
S30/W10	۱۰	۳۰	۶۰	۰
S30/W10/M	۱۰	۳۰	۵۷	۳
S40	۰	۴۰	۶۰	۰
S40/M	۰	۴۰	۵۷	۳

آزمون مکانیکی و فیزیکی

آزمون کشش با استفاده از دستگاه (INSTRON) مدل ۴۴۸۹ و طبق آیین‌نامه D۶۳۸ استاندارد ASTM بر روی نمونه‌های دمبلی انجام شد و بارگذاری با سرعت ۵mm/min اعمال شد. جذب آب و واکنشیدگی ضخامت (کوتاه‌مدت و بلندمدت) مطابق استاندارد ASTM آیین‌نامه DV۰۳۱-۰۴ بر روی نمونه‌هایی به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر انجام شد. برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم و برای اندازه‌گیری ضخامت نمونه‌ها از میکرومتر با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر استفاده شد.

درصد جذب آب در زمان غوطه‌وری t با رابطه ۱ محاسبه شد.

$$WA(t) = [(W_t - W_0) / W_0] \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق $WA(t)$ = مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری t (درصد)، W_t = وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری (گرم) و W_0 = وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری (گرم) را نشان می‌دهد.

درصد واکنشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t با رابطه ۲ محاسبه شد.

$$TS(t) = [(T_t - T_0) / T_0] \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه فوق $TS(t)$ = واکنشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t (درصد)، T_t = ضخامت نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری (میلی‌متر) و T_0 = ضخامت نمونه در حالت خشک (میلی‌متر) را نشان می‌دهد.

نتایج

مدول الاستیسیته کششی

تجزیه و تحلیل واریانس مدول الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده نشان داده که اثر پرکننده (الیاف

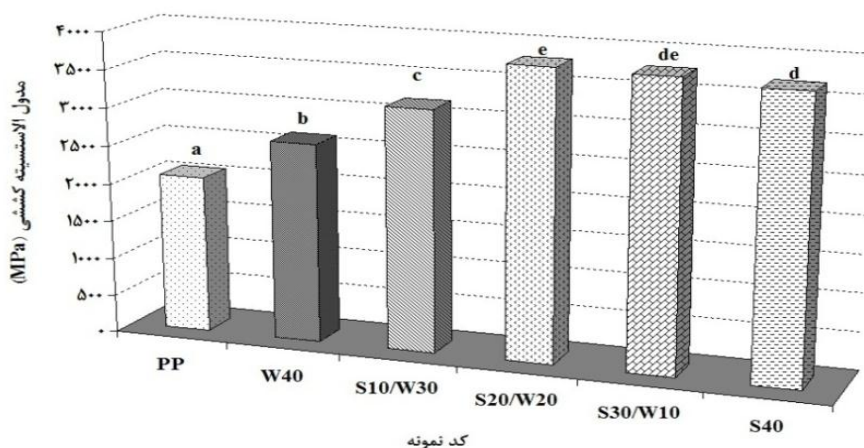
کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ)، اثر اتصال‌دهنده و همچنین اثر متقابل دو فاکتور مورد اشاره تأثیر معنی‌داری را نشان داده‌اند (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس مدول الاستیسیته کششی چندسازه پلی‌پروپیلن، لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
پرکننده‌ها	۶۲۵۹۵۲۰	۴	۱۵۶۴۸۸۰	۲۷۳/۹۲۱	۰/۰۰۰
اتصال‌دهنده	۷۵۵۸۸۸/۱۳۳	۱	۷۵۵۸۸۸/۱۳۳	۱۳۲/۳۱۳	۰/۰۰۰
پرکننده‌ها × اتصال‌دهنده	۱۵۴۵۲۷/۸۶۷	۴	۳۸۶۳۱/۹۶۷	۶/۷۶۲	۰/۰۰۱
خطا	۱۲۵۶۸۳/۳۳۳	۲۲	۵۷۱۲/۸۷۹		
کل	۳۶۹۸۵۹۷۹۱	۳۳			

شکل ۱ نشان می‌دهد با افزودن هر دو نوع پرکننده (الیاف کاه گندم/ لجن کارخانه کاغذ) مدول الاستیسیته کششی چندسازه نسبت به پلی‌پروپیلن خالص افزایش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از این دو نوع پرکننده بر روی چندسازه ساخته شده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ دارای سفتی بالاتر نسبت به پلیمر خالص بوده و سبب به

وجود آمدن چندسازه با سفتی بالاتر شده‌اند. افزودن اتصال‌دهنده به میزان ۲ درصد سبب افزایش در مدول-الاستیسیته کششی چندسازه‌های ساخته شده نسبت به چندسازه بدون اتصال‌دهنده شده است. بنابراین افزودن MAPP منجر به شکل‌گیری پیوند مشترک بین PP و الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ شده است.



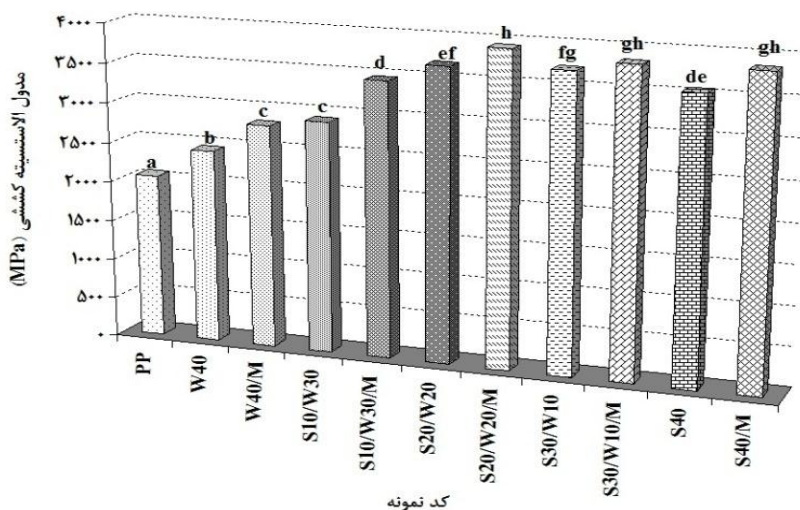
شکل ۱- تأثیر میزان لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه پلی‌پروپیلن

۲۰ درصد الیاف کاه گندم، ۲۰ درصد لجن کارخانه کاغذ و ۳ درصد MAPP باعث افزایش این میزان به ۳۹۲۶ مگاپاسگال شده که افزایش ۹۰ درصدی را نشان داده است.

مقاومت کششی

تجزیه واریانس مقاومت کششی اثر معنی داری دو متغیر پرکننده‌ها و اتصال‌دهنده را نشان داده است، درحالی‌که اثر متقابل این دو فاکتور تأثیر معنی داری بر روی این ویژگی نشان نداده است (جدول ۴).

شکل ۲ نتایج کلی حاصل از اختلاط و افزودن دو پرکننده لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم را بر روی مدول الاستیسیته کششی نشان می‌دهد. به طوری‌که با افزودن مجزای الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ و همچنین افزودن هر دوی این مواد به ماتریس PP تأثیر فزاینده و مثبتی بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه نسبت به PP خالص نشان داده است. افزودن اتصال‌دهنده به تمامی این ترکیبات تأثیر مثبت بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه نشان داده است. پلی پروپیلن خالص مدول الاستیسیته کششی به میزان ۲۰۶۸ مگاپاسگال داشته است؛ درحالی‌که افزودن



شکل ۲- مدول الاستیسیته کششی چندسازه پلی پروپیلن، لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم

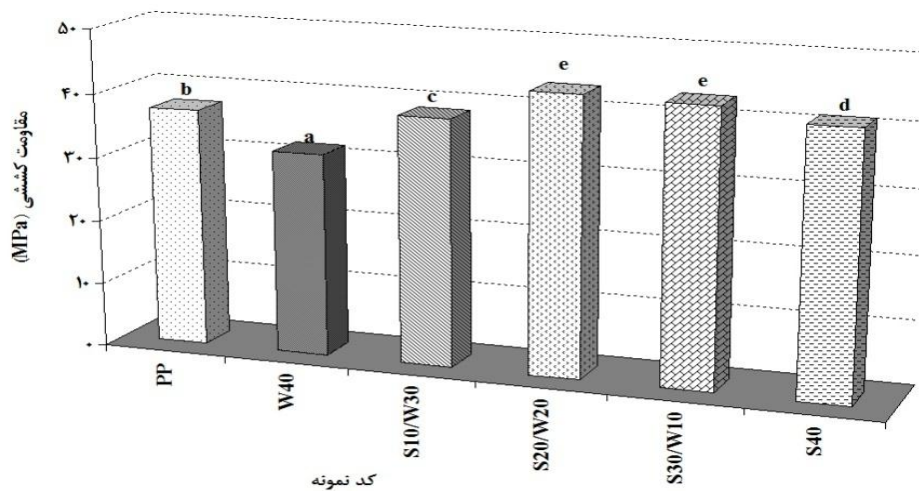
جدول ۴- تجزیه واریانس مقاومت کششی چندسازه پلی پروپیلن، لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم

معنی داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۰۰	۲۱۹/۸۴۳	۱۳۸/۵۹۴	۴	۵۵۴/۳۷۵	پرکننده‌ها
۰/۰۰۰	۲۰۲/۳۳۳	۱۲۷/۵۵۵	۱	۱۲۷/۵۵۵	اتصال‌دهنده
۰/۵۵۱	۰/۷۷۸	۰/۴۹۱	۴	۱/۹۶۳	پرکننده‌ها × اتصال‌دهنده
		۰/۶۳۰	۲۲	۱۳/۸۶۹	خطا
			۳۳	۵۱۸۱۴/۳۶۵	کل

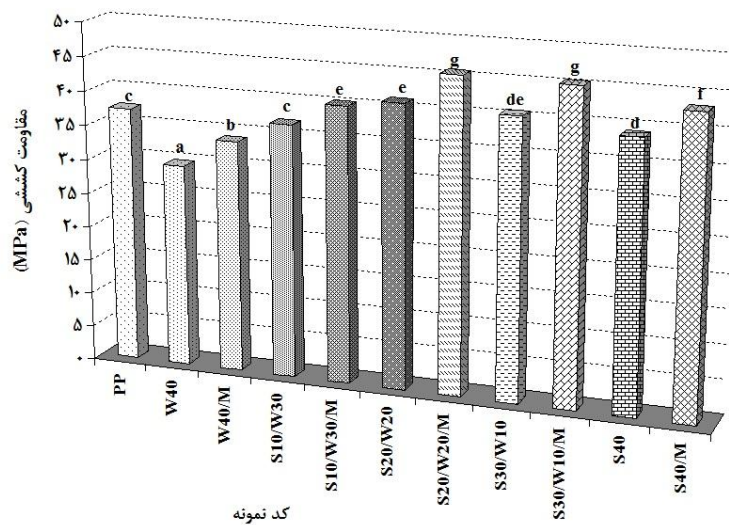
مشاهده شده است. با افزودن ۱۰ درصد لجن کارخانه کاغذ به ترکیب پلی پروپیلن و الیاف کاه گندم افزایش در مقاومت

شکل ۳ نشان می‌دهد با افزودن ۴۰ درصد الیاف کاه گندم کاهش در مقاومت کششی چندسازه نسبت به PP خالص

کششی چندسازه رخ داد. البته با افزودن بیشتر لجن کارخانه کاغذ افزایش بیشتری در مقاومت کششی چندسازه نسبت به PP خالص مشاهده شده است.



شکل ۳- تأثیر میزان لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم بر مقاومت کششی چندسازه پلی‌پروپیلن



شکل ۴- مقاومت کششی چندسازه پلی‌پروپیلن، لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم

چندسازه حاوی ۳ درصد MAPP در گروه b قرار گرفته است.

شکل ۴ اثر متقابل متغیرهای به‌کار رفته بر مقاومت کششی چندسازه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. کاهش در مقاومت کششی با افزودن الیاف کاه گندم به ماتریس PP

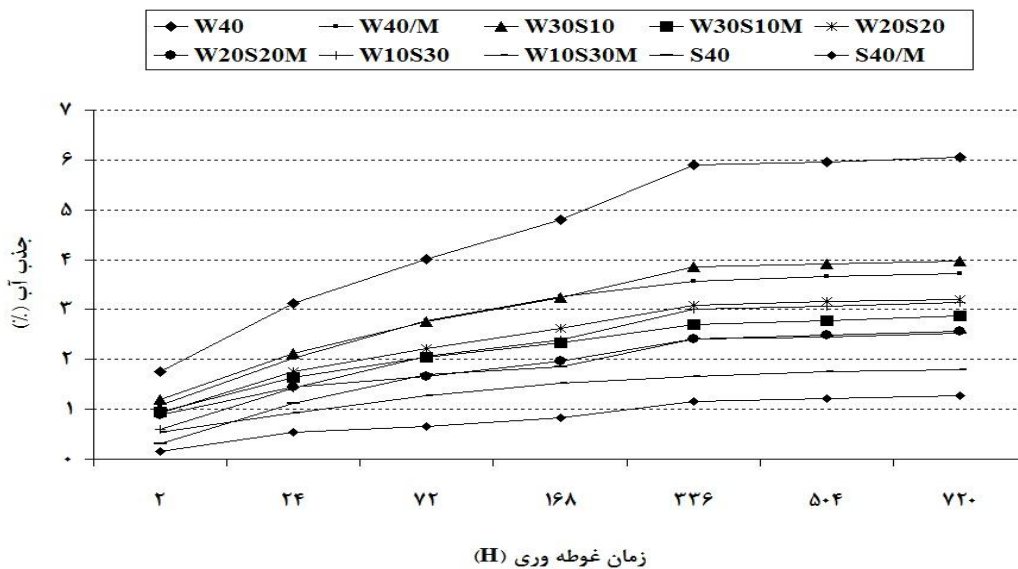
اثر مستقل افزودن اتصال‌دهنده بر مقاومت کششی مشخص شده که اتصال بهتر بین دو فاز با استفاده از اتصال‌دهنده باعث افزایش در مقاومت کششی چندسازه شده است. این افزایش در مقاومت کششی معنی‌دار بوده و در گروه‌بندی دانکن چندسازه بدون MAPP در گروه a و

استفاده از عبارت ثبات ابعادی دربرگیرنده جذب آب و واکنشیدگی ضخامت است. البته با گذشت زمان ثبات ابعادی تمامی نمونه‌ها روند افزایشی را نشان داده است. به طوری که بیشترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مربوط به چندسازه با ۴۰٪ الیاف کاه گندم بوده است. افزودن الیاف آبدوست به ماتریس باعث افزایش در جذب آب و واکنشیدگی چندسازه خواهد شد. به نحوی که با افزودن حتی ۱۰ درصد لجن کارخانه کاغذ با ترکیبی از مواد آلی و معدنی کاهش در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه مشاهده شد. با افزایش بیشتر میزان لجن کارخانه کاغذ کاهش بیشتری در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه مشاهده شد، به طوری که کمترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه در چندسازه با ۴۰ درصد لجن کارخانه کاغذ مشاهده شد. افزودن اتصال دهنده باعث اتصال بهتر بین دو فاز شده و کاهش بیشتری را در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه نشان داد.

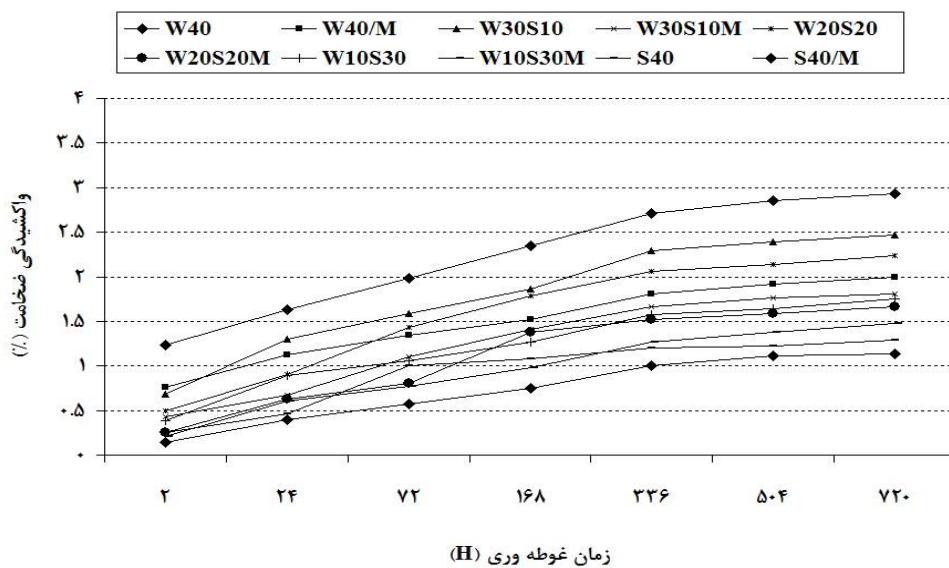
مشاهده شد و با بکارگیری MAPP افزایش در این ویژگی به علت اتصال بین دو فاز رخ داد. نتایج حاصل بیانگر این مطلب است که بکارگیری لجن کارخانه کاغذ با ترکیبی از الیاف کوتاه سلولزی و مواد معدنی تأثیر مثبت قابل توجهی بر مقاومت کششی داشته است. به طوری که با افزودن لجن کارخانه کاغذ به ترکیب افزایش قابل توجهی در مقاومت کششی چندسازه رخ داده است. در بکارگیری ۲۰ درصد الیاف کاه گندم و ۲۰ درصد لجن کارخانه کاغذ بالاترین میزان مقاومت کششی رخ داده که با استفاده از MAPP روند شدیدتری در افزایش این ویژگی مشاهده شده است.

ثبات ابعادی ۲ تا ۷۲۰ ساعت (جذب آب و واکنشیدگی ضخامت)

شکل ۵ و ۶ به ترتیب روند جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه PP، الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ را نشان می‌دهد. قابل توجه است که جذب آب (WA) و واکنشیدگی ضخامت (TS) روند یکسانی را دارند. بنابراین



شکل ۵- روند جذب آب چندسازه پلی پروپیلن، لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم



شکل ۶- روند واکسیدگی ضخامت چندسازه پلی‌پروپیلن، لجن کارخانه کاغذ و الیاف کاه گندم

بحث

افزودن اتصال‌دهنده به تمامی این ترکیبات تأثیر مثبت بر مدول الاستیسیته کششی چندسازه نشان داده است. برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی چندسازه PP، الیاف کاه گندم و اتصال‌دهنده MAPP برای افزودن به این سیستم در بسیاری از تحقیقات پیشنهاد شده است (Hristov *et al.*, 2004; Geng, *et al.*, 2004; Arbelaiz *et al.*, 2005; Zhang, *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008). کاهش در مقاومت کششی را می‌توان به چسبندگی سطح مشترک ضعیف و انباشتگی و کلوخه شدن الیاف کاه گندم در ماتریس نسبت داد که در گزارش‌های گذشته محققان نیز به آن اشاره شده است (Yang *et al.*, 2004). پیوند ضعیف بین الیاف کاه گندم آب‌دوست و ماتریس آب‌گریز مانع انتشار تنش شده و باعث کاهش در مقاومت کششی شده است (Yang *et al.*, 2004). معمولاً افزودن اتصال‌دهنده راه‌حل مناسبی برای غلبه بر این مشکل عنوان شده است. اما با افزودن لجن کارخانه کاغذ افزایش در مقاومت کششی چندسازه مشاهده شده است. شاید بتوان عنوان کرد که مواد معدنی موجود در لجن کارخانه کاغذ با دارا بودن خاصیت آب‌گریزی و پراکنش بهتر در ماتریس باعث بهبود در مقاومت کششی چندسازه شده است. افزودن اتصال‌دهنده به

در این پژوهش ویژگی‌های کششی شامل مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و ویژگی‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکسیدگی ضخامت چندسازه PP، الیاف کاه گندم و لجن کارخانه کاغذ با نسبت‌های مختلف در ساخت مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پلی‌پروپیلن خالص مدول الاستیسیته کششی به میزان ۲۰۶۸ مگاپاسگال را داراست، درحالی‌که افزودن ۲۰ درصد الیاف کاه گندم، ۲۰ درصد لجن کارخانه کاغذ و ۳ درصد MAPP باعث افزایش این میزان به ۳۹۲۶ مگاپاسگال شده است، که افزایش ۹۰ درصدی را نشان داده است. البته همین چندسازه بدون اتصال‌دهنده بهبود ۷۷ درصدی را نسبت به PP ماتریس نشان داده است. در حالت مقایسه‌ای با افزودن ۴۰ درصد الیاف کاه گندم و ۴۰ درصد لجن کارخانه کاغذ مشاهده شد که لجن کارخانه کاغذ افزایش بیشتری را در مدول الاستیسیته کششی چندسازه نشان داده است. بهبود پیوسته و معنی‌دار در مدول الاستیسیته کششی با افزودن لجن کارخانه کاغذ به PP در مطالعات گذشته گزارش شده است (Girones *et al.*, 2010).

بودن جذب آب در چندسازه بدون اتصال‌دهنده را می‌توان به عدم اتصال مناسب بین پرکننده و ماتریس نسبت داد. افزودن اتصال‌دهنده باعث بهبود اتصال بین دو فاز شده و کاهش در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را سبب شده است.

با زیاد کردن لجن کارخانه کاغذ جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش یافته است، که استفاده از ۴۰ درصد لجن کارخانه کاغذ کمترین میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را نشان داده که با افزودن اتصال‌دهنده این میزان کاهش بیشتری را نشان داده است. البته کاهش در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه با میزان لجن کارخانه کاغذ بالاتر را می‌توان به کم بودن میزان مواد آب‌دوست مانند سلولز و همی سلولز نسبت داد (Hamzeh et al., 2011; Marzban & Moridani & Talaiepour, 2014). پس از ۷۲۰ ساعت غوطه‌وری نمونه‌ها، استفاده از ۴۰ درصد لجن کارخانه کاغذ جذب آب را به میزان ۲/۵۲٪ نشان داده که با افزودن MAPP به میزان ۱/۲۷ کاهش نشان داده است. بنابراین استفاده از این ماده به علت دارا بودن مواد معدنی آب‌گریز و اتصال بهتر با ماتریس باعث کاهش در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت شده است. Lee و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقی که از لجن کاغذ و الیاف لیگنوسلولزی به‌عنوان پرکننده و پلی‌پروپیلن به‌عنوان ماتریس استفاده کردند، گزارش کردند که جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با افزایش ۳۰ درصد لجن کاغذ کاهش یافته است. پژوهشگران علت کاهش در جذب آب و واکنشیدگی ضخامت را به پدیده استخوانی شدن لجن کاغذ نسبت داده که مربوط به نرمه الیاف موجود در این ترکیب بوده که باعث محدودیت جذب آب به وسیله لجن کاغذ می‌شود. باید بیان کرد که استخوانی شدن پدیده‌ای است که در ماتریس دیواره سلولی نرمه الیاف موجود در لجن کاغذ رخ می‌دهد. هنگام خشک شدن لجن کاغذ بخش‌های لایه‌لایه دیواره سلولی مانند میکروفیبریل‌های سلولز شروع به اتصال با همدیگر می‌کنند، سپس پیوندهای هیدروژنی بین لایه‌ها تشکیل می‌شود و باعث صف‌بندی مجدد میکروفیبریل‌های موجود در دیواره سلولی می‌شود. همه اتفاقات بالا باعث ساختاری با اتصالات قوی می‌شود. این ساختار هنگام غوطه‌وری چندسازه پلی‌پروپیلن

چندسازه‌های ساخته شده باعث بهبود در مقاومت کششی این ترکیبات شده است. بنابراین استفاده از اتصال‌دهنده باعث افزایش در سطح مشترک ترکیب این مواد شده و در نهایت افزایش در مقاومت کششی را سبب شده است. علت این افزایش در مقاومت کششی را می‌توان انتشار تنش خوب دانست (Zhang et al., 2007). البته با افزودن MAPP به ترکیبات، افزایش بالاتری در مقاومت کششی مشاهده شده است. Correa و همکاران (۲۰۰۷) در میان اتصال‌دهنده‌ها، MAPP نتایج بسیاری خوبی را برای غلبه بر کاهش در مقاومت کششی چندسازه ارائه کرده است ایشان عنوان کردند که MAPP پیوند کووالانسی با الیاف طبیعی از طریق گروه‌های هیدروکسیل برقرار کرده، درحالی‌که ساختار اصلی PP آن مطمئناً واکنش خوبی را با ماتریس برقرار خواهد کرد (Correa et al., 2007). همچنین عنوان شده است که ویژگی‌های کششی چندسازه ساخته شده با لجن کاغذ تقریباً بالاتر از چندسازه پر شده با الیاف چوبی است که می‌توان گفت این مواد جایگزینی خوبی برای چوب در ساخت چندسازه هستند (Myers et al., 1991). بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده لجن کاغذ تقویت‌کننده خوبی برای پلیمرهاست.

کاربرد چندسازه‌ها در مصارف ساختمانی و فضای بیرونی باعث می‌شود این مواد همواره در معرض عوامل مخرب مانند رطوبت قرار گیرند. بنابراین بررسی رفتار ثبات ابعادی برای بکارگیری صحیح این مواد می‌تواند بسیار مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق رفتار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه‌های مورد بحث از ۲ تا ۷۲۰ ساعت مورد بررسی قرار گرفته است. الیاف کاه گندم دارای گروه‌های آبدوست در ساختار خود هستند که می‌توانند اتصالات هیدروژنی با آب برقرار کنند (Rozmanet al., 2000). به‌طوری‌که عامل اصلی در جذب آب چندسازه پر شده با الیاف طبیعی هستند. اما افزودن ۳ درصد اتصال‌دهنده باعث کاهش در جذب آب چندسازه PP و الیاف کاه گندم (۴۰ درصد) شده است. به‌عنوان مثال جذب آب چندسازه PP و الیاف کاه گندم (۴۰ درصد) پس از گذشت ۷۲۰ ساعت حدود ۶ درصد بوده که با افزودن ۳٪ MAPP به میزان ۳/۸۰ کاهش نشان داده است. البته بالا

- Marzban, E., Talaiepour, M., Hemmasi, A.H., Ghasemi, E., and Kalagar, M., 2013. The effect of paper mill recycling sludge application on the mechanical properties of composite based on recycled polymers. *Iranian Journal Of Wood and Paper Science Research*, 28: 509-521
- MarzbanMoridani, E. andTalaiepourM., 2014. A study on physical properties of composites produced using recycled polymer filled with paper mill sludge composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29: 443-451
- Qiao, X., Zhang, Y., and Zhang Y., 2003. Ink-eliminated paper sludge flour as filler for polypropylene. *Polymers & Polymer Composites*, 11: 312-326
- Reddy, N., and Yang, Y., 2007. Preparation and characterization of long natural cellulose fibers from wheat straw. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55: 8570-8575
- Rozman, D., Lai, Y., Ismail, H., and Mohd, A., 2000. The effect of coupling agents on the mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch-polypropylene composites. *PolymInt*, 49:1273-1278
- Salmah, H., Ismail, H., and Bakar, A., 2005. The effect of paper sludge content and size on properties of PP/EPDM composites. *Journal of Reinforced Plastic and Composites Polymer*, 24: 147-156
- Salmah, H., Ismail, H., and Bakar., A., 2005. A Comparative Study on the Effects of Paper Sludge and Kaolin on Properties of Polypropylene/Ethylene Propylene DieneTerpolymer Composites. *Iranian Polymer Journal*, 14: 705-713
- Yadav, P., Nema, A., Varghese, S., and Nema, S.K., 1999. News paper reinforced plastic composite laminates: mechanical and water uptake characteristics. *Polymer Engendering and Science*, 39: 1550-1557
- Yuan, X., Zhang Y., and Zhang, X., 1999. Maleated polypropylene as a coupling agent for polypropylene-waste newspaper flour composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 71: 333-341
- Zhang, S., Zhang, Y., Bousmina, M., Sain, M., and Choi, P., 2007. Effects of raw fiber materials, fiber content, and coupling agent content on selected properties of polyethylene/wood fiber composites. *PolymEngSci*2007, 47: 1678-1687
- Zhang, Y., Zhang, S., and Choi, P., 2008. Effects of wood fiber content and coupling agent content on tensile properties of wood fiber polyethylene composites. *HolzRohWerkst*, 66:267-274
- Zou, Y., Huda, S., and Yiqi, Y., 2010. Lightweight composites from long wheat straw and polypropylene web. *Bioresource Technology*, 101:2026-2033

حاوی لجن کاغذ مقاومت بالاتری را در برابر نفوذ آب از خود نشان داده و در نهایت باعث جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کمتر در چندسازه می‌شود (Lee *et al.*, 2000).

منابع مورد استفاده

- Arbelaiz, A., Cantero, G., Fernandez, B., and Mondragon, I., 2005. Flax fiber surface modifications: Effects on fiber physico mechanical and flax/polypropylene interface properties. *Polymer Composite*, 26: 324-332
- Ashori, A., and Nourbakhsh, A. 2009. Mechanical Behavior of Agro-Residue-Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 111:2616-2620
- Correa, A., Razzino, A., andHage, E., 2007. Role of Maleated Coupling Agents on the Interface Adhesion of Polypropylene-Wood Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20:323-339
- Geng, Y., Li, K., Simonsen, E., 2004. Effects of a new compatibilizer system on the flexural properties of wood-polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91: 3667-3672
- Girones, J., Pardini, G., Vilaseca, F., Pelach, A., and Mutje, P., 2010. Recycling of Paper Mill Sludge as Filler/Reinforcement in Polypropylene Composites. *J Polym Environ*, 18: 407-412
- Hamzeh, Y., Ashori, A. and Mirzaei, A., 2011. Effects of Waste Paper Sludge on the Physico-Mechanical Properties of High Density Polyethylene/Wood Flour Composites. *J Polym Environ*, 19: 120-124.
- Hristov, N., Krumova, M., Vasileva, S., Michler, H., 2004. Modified Polypropylene Wood Flour Composites. II. Fracture, Deformation, and Mechanical Properties. *Journal Applied Polymer Science*, 92:1286-1292
- Ismail, H., Shuhelmy, S., and Edyham, R., 2002. The effect of silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of bamboo fibre filled natural rubber composites. *Journal Article European Polymer Journal*, 38: 39-47
- Jang, J., and Lee, E., 2007. The effect of flame retardants on the flammability and mechanical properties of paper-sludge/phenolic composite. *Polymer Testing*, 20: 7-13
- Lee, B., Kim, H. and park, H., 2002. Performance of Paper Sludge/Polypropylene fiber/ Lignocelluloses fiber composites. *Journal of Indian Engineer Chemistry* 8 (3): 50-56
- Lee, B., Kim, H. and park, H., 2002. Performance of Paper Sludge/Polypropylene fiber/ Lignocelluloses fiber composites, *J. Ind. Eng. Chem*, 8 (3): 50-56

Investigation on the tensile properties and dimensional stability of polypropylene/wheat straw fiber/paper mill sludge composite

H. Khademislami^{1*} and M. Kalagar²

1*-Corresponding Author, Associated Professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad

University, Tehran, Iran, E-mail: hkhademislam@gmail.com

2-Ph.D., Forestry Specialist, shafaroud forest company, Gilan, Iran

Received: Feb., 2015

Accepted: Oct., 2015

Abstract

In this investigation, tensile and physical properties of polypropylene (as matrix)/wheat straw fiber/paper mill sludge (as filler) composites was studied. The ratio of wheat straw fiber/ paper mill sludge was selected as 40/0, 30/10, 20/20, 10/30 and 0/40 (w/w) were used. Also, for better compatibility between the two phases 3% MAPP as coupling agent was used. Mixing process was done in twin screw internal mixer extruder, and then composite samples were manufactured by injection molding. Result indicated that the tensile modulus of elasticity improved with increasing fillers and also it was observed that the toughness of composite increased when compared to the pure PP, while due to the usage of more paper sludge, these properties was improved. Tensile strength of composite decreased with adding 40% wheat straw fiber, but with addition of sludge tensile strength increased significantly. Adding wheat straw in PP matrix and its hydrophilic properties resulted in the highest rates of water absorption and thickness swelling. However, adding paper sludge and lower amount of lignocellulosic material, and the compatibilizer noticeably decreased the physical properties due to better bonding between two phases.

Key words: Wheat straw fiber, paper mill sludge, composite, tensile properties, dimensional stability.