جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۴، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰
ص ۲۴۷-۲۶۰ (پژوهشی)
DOI: 10.22059/jfwp.2021.317961.1153

بررسی خواص کاربردی کامپوزیت چوب- پلاستیک تهیه‌شده از پودر مایع پخت سیاه حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی- آنتراکینون (AS-AQ) به‌همراه کاه گندم

بهزاد بابایی[۱]، لعیا جمالی راد[۲*]، وحید وزیری[۳]، سحاب حجازی[۴]

۱. کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران
۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران
۳. استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران
۴. دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵

چکیده

توسعه و کاربرد منابع طبیعی و تجدیدشونده در ساخت انواع کامپوزیت چوبی و یافتن راهکارهایی برای کاهش سهم ترکیبات شیمیایی مضر همواره مدنظر محققان مختلف بوده است. این تحقیق با هدف بررسی کاربرد پودر لیکور سیاه حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی-آنتراکینون در تولید کامپوزیت چوب- پلاستیک به‌همراه پسماند زراعی کاه گندم و پلیمر پلی‌پروپیلن با استفاده از جفت‌کنندهٔ مالئیک انیدرید پیوندخورده با پلی‌پروپیلن (MAPP) انجام گرفت. برای ساخت کامپوزیت‌ها از تقویت‌کنندهٔ آرد کاه گندم در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد و پودر لیکور سیاه حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی-آنتراکینون (AS-AQ) در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد نسبت به وزن خشک آرد کاه گندم استفاده شد. سپس مقاومت و مدول خمشی، مقاومت و مدول کششی، مقاومت به ضربه و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب نمونه‌های آزمونی تهیه‌شده از کامپوزیت‌ها اندازه‌گیری و تجزیه‌وتحلیل آماری شد. نتایج نشان داد که با استفاده از پودر لیکور حاصل از فرایند سولفیت قلیایی- آنتراکینون به‌همراه آرد کاه گندم، مقاومت خمشی به پروپیلن خالص در حدود ۵۰ درصد افزایش یافت. مدول خمشی و کششی و مقاومت به ضربه کامپوزیت‌ها در حدود ۱۰۰ درصد نسبت به پلیمر خالص افزایش داشت. واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌ها با افزایش سهم پودر حاصل از مایع پخت و کاه گندم نیز افزایش داشت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که جایگزین کردن پودر مایع پخت سیاه با بخشی از آرد کاه گندم نه‌تنها سبب تغییرات منفی چشمگیری در خواص کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک نشد، بلکه بهبود برخی از ویژگی‌ها را نیز در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: پودر لیکور سیاه، فرایند سولفیت قلیایی-آنتراکینون، کامپوزیت چوب-پلاستیک، پسماند زراعی.

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیازها، احتیاج به دامنهٔ گسترده و منابع عظیمی از مواد به‌شدت احساس می‌شود. از طرفی گسترهٔ وسیع نیازهای مهندسی امروزی، مشکلات زیست‌محیطی و هزینهٔ تولید سبب شده است که تولیدکنندگان مواد پلیمری با به‌کارگیری مواد مناسب و تولید چندسازه‌ها، خواص مهندسی آنها را اصلاح کنند. به این ترتیب، می‌توان با ترکیب مواد مختلف، انواع جدیدی از محصولات را برای رفع نیاز بشر تولید کرد. بر این اساس، می‌توان با ترکیب مواد لیگنوسلولزی یا پسماندهای کشاورزی

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۵۹۴۴۸۷
Email: Jamalirad@gonbad.ut.ac.ir

با پلیمرها گروه جدیدی از کامپوزیت‌ها را با خصوصیات بهتر از تک‌تک آنها ایجاد کرد. این موضوع، سبب تولید کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک شده که امروزه به‌دلیل ویژگی‌های مطلوب، دامنهٔ کاربرد آنها گسترش یافته است [۱]. زیرا امروزه استفاده از مواد اولیهٔ سازگار با محیط زیست، در ایجاد و توسعهٔ فراورده‌هایی مانند بایوکامپوزیت‌ها دارای اهمیت است. البته این منابع در مقیاس جهانی نیز به‌عنوان منابع تجدیدشونده در ساخت کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک مطرح‌اند. تجدیدشوندگی و بازیافت‌پذیر بودن الیاف طبیعی و مشکل‌ساز نبودن آنها برای زیست محیط، سبب کاربرد فزایندهٔ آنها، علاقهٔ روزافزون مصرف‌کنندگان به خرید محصولات سازگار با محیط زیست و اقبال بیشتر صنایع مختلف به استفاده از این مواد طبیعی شده است [۲]. در میان منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی، کاه گندم از مهم‌ترین پسماندهای گیاهان زراعی است. براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از آمارنامهٔ کشاورزی ایران منتهی به سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، تولید گندم در ایران بالغ بر ۱۳/۵ میلیون تن بوده است و در نتیجه سالانه حجم زیادی گندم و پس از برداشت آن، حجم زیادی کاه گندم تولید می‌شود. بخش اصلی کاه و کلش به‌عنوان خوراک دام کاربرد دارد، اما از مازاد تولید استفادهٔ بهینه نمی‌شود. از این‌رو می‌توان این ماده را به‌عنوان پرکننده در تهیهٔ کامپوزیت‌ها پیشنهاد کرد. استفاده از پسماندهای زراعی مختلف مانند باگاس [۳، ۴]، ساقهٔ توتون [۵]، ساقهٔ کلزا [۶] و ساقهٔ آفتابگردان [۷] نیز در ساخت کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک بررسی شده است. همچنین علاوه‌بر استفاده از پودر این منابع لیگنوسلولزی در ساخت کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک، دربارهٔ ویژگی‌های کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک ساخته‌شده از الیاف تهیه‌شده از فرایند خمیرکاغذسازی نیز تحقیق شده است [۸، ۹]. برای مثال بررسی کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک ساخته‌شده با الیاف به‌دست‌آمده از خمیرکاغذ باگاس و ساقهٔ برنج با استفاده از فرایندهای مختلف خمیرکاغذسازی نشان می‌دهد که ویژگی‌های کامپوزیت ساخته‌شده با این نوع الیاف بهبود یافته است [۱۰]. افزون‌بر آن Anamaria و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر تقویت‌کنندگی الیاف خمیرکاغذ کرافت رنگبری‌شده و رنگبری‌نشدهٔ نوئل و کاج را در ماتریس پلی‌اتیلن سبک بررسی و بهبود خواص مکانیکی را مشاهده کردند [۱۱]. امروزه در زمینهٔ پالایش زیستی نیز استفاده حداکثری از چوب و مواد لیگنوسلولزی مطرح است و یافتن کاربردهای جدید و با ارزش اقتصادی بیشتر برای انواع پسماند از جمله پسماند حاصل از صنایع خمیرکاغذسازی مورد توجه محققان قرار گرفته است. لیکور سیاه کارخانه‌های خمیرکاغذسازی که در حال حاضر بخش اعظم آن سوزانده می‌شود مثال بارزی برای این موضوع است. در کارخانه‌های خمیرکاغذ در حدود نیمی از ترکیبات تشکیل‌دهندهٔ چوب در مایع پخت حل می‌شود [۱۲] و مایع سیاه حاصل از فرایندهای قلیایی پخت خمیرکاغذ حاوی ۷۰ درصد ترکیبات آلی و ۳۰ درصد ترکیبات غیرآلی است [۱۳]. ترکیبات آلی آن اغلب شامل لیگنین و انواع قند، کربوکسیلیک اسیدها و مواد استخراجی است. لیکور سیاه حاصل از کارخانه‌های خمیرکاغذسازی مهم‌ترین منبع لیگنین به‌شمار می‌آید. لیگنین موجود در لیکور سیاه حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی قلیایی، به‌واسطهٔ هیدرولیز قلیایی و گسستن پیوندهای آریل اتری در جریان لیگنین‌زدایی، وزن مولکولی کمتر و مقادیر بیشتر گروه‌های عاملی فعال مانند گروه‌های هیدروکسیل فنلی و آلیفاتیک، نسبت به مادهٔ اولیه لیگنوسلولزی دارند و بنابراین پتانسیل واکنشگری آنها بیشتری است [۱۴]. تاکنون کاربردهای مختلفی برای این لیگنین‌ها پیشنهاد شده است که می‌توان به استفاده به‌عنوان سازگارکننده در ساخت کامپوزیت چوب- پلاستیک، تهیهٔ سوخت، تولید بایوکامپوزیت‌ها و چسب اشاره کرد. به‌تازگی نیز Ten و Vermerris (۲۰۱۵) تحقیقی جامع دربارهٔ تحولات اخیر در زمینهٔ پلیمرهای مشتق از لیگنین انجام دادند و گزارش کردند که لیگنین ماده‌ای بسیار مناسب برای تولید کامپوزیت‌های پیشرفته است و مزایای

اقتصادی و زیست‌محیطی بسیاری دارد [۱۵]. با وجود این تحقیقات، هنوز حجم زیادی از لیکور سیاه تولیدشده در صنایع خمیرکاغذسازی به مصرف سوخت می‌رسد و فقط مقدار کمی از لیگنین حاصل از آن در تولیدات دیگر مانند مواد شیمیایی به‌کار می‌رود [۱۶]. از این‌رو تحقیقات بیشتر دربارهٔ استفاده‌های گسترده‌تر از لیکور سیاه، به شناخت وسیع‌تر قابلیت‌های آن و ایجاد ارزش افزودهٔ بیشتر منجر خواهد شد. تحقیقات دربارهٔ استفاده از لیگنین در ساخت کامپوزیت‌ها از جمله کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک متعدد است، اما تحقیقات مشخص و منسجمی دربارهٔ استفادهٔ مستقیم از پودر لیکور سیاه که افزون‌بر لیگنین حاوی دیگر ترکیبات آلی و معدنی مشتق از مادهٔ لیگنوسلولزی است در ساخت چوب- پلاستیک مشاهده نشده است. از این‌رو در تحقیق حاضر، فرایند سولفیت قلیایی- آنتراکینون (AS-AQ) که از فرایندهای مهم خمیرسازی قلیایی مخصوص مواد لیگنوسلولزی غیرچوبی است که مایع پخت آن شامل مخلوطی از کربنات سدیم (Na_2SO_3) و هیدروکسید سدیم (NaOH) است و مواد لیگنوسلولزی را در حضور آنتراکینون (AQ) لیگنین‌زدایی می‌کند [۱۰]، به‌عنوان روش پخت ذرات کاه گندم مدنظر قرار گرفت. هدف از این کار، تهیهٔ پودر حاصل از مایع پخت سیاه به‌عنوان پسماند ضایعاتی حاصل از این فرایند خمیرکاغذسازی و بررسی تأثیر استفاده از آن به‌همراه پسماند زراعی کاه گندم به‌منظور افزایش ارزش افزودهٔ آنها و پلیمر پلی‌پروپیلن در ساخت کامپوزیت چوب- پلاستیک بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد

تهیهٔ مایع پخت سیاه فرایند سولفیت قلیایی- آنتراکینون

برای پخت سولفیت قلیایی-آنتراکینون، ابتدا محفظهٔ سیلندر دایجستر موجود در آزمایشگاه خمیرکاغذ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران با ۱۰۰ گرم خرده‌چوب کاملاً خشک گونهٔ پلت پر شد. عملیات تهیهٔ خمیرکاغذ با عوامل متغیر پخت شامل مقدار قلیایی ۲۲، ۲۴ و ۲۶ درصد، نسبت NaOH به Na_2SO_3 ۸۰/۲۰، ۷۰/۳۰، ۶۰/۴۰، ۵۰/۵۰، ۴۰/۶۰، ۳۰/۷۰، ۲۰/۸۰، دمای ۱۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد، زمان ۳ و ۴ ساعت و نسبت مایع پخت به خرده‌چوب: ۱:۴ انجام گرفت. سپس با توجه به ویژگی‌های خمیرکاغذهای تولیدی از نظر بازده کل، مقدار وازده، بازده بعد از غربال و عدد کاپا، پخت با مقدار قلیایی ۲۴ درصد و نسبت سولفیت سدیم/هیدروکسید سدیم ۴۰/۶۰، دمای ۱۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد و مدت زمان سه ساعت به‌عنوان پخت بهینه انتخاب شد و پس از شست‌وشو، مایع پخت آن برای تهیهٔ پودر جمع‌آوری شد.

تهیهٔ پودر حاصل از مایع پخت سیاه فرایند سولفیت قلیایی-آنتراکینون با دستگاه خشک‌کن پاششی (اسپری درایر)

برای این منظور از دستگاه اسپری درایر ساخت شرکت درسا تک استفاده شد. در ابتدا به‌مدت ۱۵ دقیقه دستگاه در مرحلهٔ گرم شدن قرار می‌گیرد سپس مایع پخت سیاه از داخل ارلن با نرخ سرعت ۱۶ درصد به محفظه پاشیده می‌شود. دمای ورودی (Set up Temp.) ۱۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد و دمای خروجی (Sensor Temp.) ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. مایع به درون محفظه پاشیده و با فشار هوای ۵ بار به داخل سیکلون منتقل می‌شود. با هر ۵ ثانیه پاشش، ۱ ثانیه توقف صورت می‌گیرد. پس از خشک شدن، مایع پخت به‌صورت پودر در قسمت رسپتور دستگاه جمع می‌شود.

مادهٔ لیگنوسلولزی

مادهٔ لیگنوسلولزی استفاده‌شده، پسماند زراعی کاه گندم بود که از مزارع اطراف شهرستان گنبد کاووس تهیه و به آزمایشگاه دانشگاه گنبد کاووس منتقل شد و بعد از خرد کردن توسط خردکن آزمایشگاهی، با استفاده از آسیاب مکانیکی آزمایشگاهی به آرد تبدیل شد. در ادامه به‌منظور ایجاد یکنواختی و حذف تأثیر اندازهٔ ابعاد آرد کاه گندم بر

ویژگی‌های کامپوزیت، از الک‌های با مش ۴۰ و ۶۰ برای جداسازی ذرات مورد نظر استفاده شد. بدین منظور ابتدا ذرات از الکی با مش ۴۰ عبور داده شده و ذرات باقی‌مانده روی الکی با مش ۶۰، برای استفاده در این تحقیق جدا شدند. در پایان ذرات مورد نظر درون یک آون با دمای ۲±۱۰۳ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و برای جلوگیری از نفوذ رطوبت، بلافاصله درون کیسه‌های نایلونی قرار داده شدند.

مادهٔ پلیمری

در این بررسی از مادهٔ پلیمری پلی‌پروپیلن با نام تجاری Z30S از تولیدات شرکت پتروشیمی اراک استفاده شد. ویژگی‌های مربوط به پلیمر پلی‌پروپیلن در جدول ۱ آورده شده است. همچنین مالئیک انیدرید پیوندیافته به پلی‌پروپیلن صنعتی (MAPP)[1]، با درصد وزنی ۵ درصد نسبت به وزن خشک پلیمر در همهٔ تیمارها، به مقدار ثابت استفاده شد.

روش‌ها

ساخت کامپوزیت

برای ساخت کامپوزیت مورد نظر، از آرد کاه گندم و پلیمر پلی‌پروپیلن با نسبت‌های ۷۰/۳۰، ۶۰/۴۰ و ۵۰/۵۰ و مالئیک انیدرید پیوندیافته با پلی‌پروپیلن با مقدار ثابت ۵ درصد (براساس وزن خشک پلیمر) برای همهٔ تیمارها استفاده شد. همچنین پودر لیکور به‌دست‌آمده از فرایند پخت خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی-آنتراکینون در چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد برمبنای وزن خشک آرد کاه گندم به‌کار گرفته شد. از ترکیب عوامل متغیر، دوازده تیمار حاصل شد که در جدول ۲ این تیمارها مشاهده می‌شود. مواد لازم برای هر یک از تیمارها شامل مخلوط پلیمر پلی‌پروپیلن، آرد کاه گندم، جفت‌کننده (MAPP) و پودر لیکور توسط یک مخلوط‌کن به‌طور کامل با هم مخلوط شدند تا به‌صورت همگن درآمدند. در مرحلهٔ بعد با استفاده از اکسترودر دومارپیچهٔ ناهمسوگرد واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، ذوب و اختلاط این مواد با گام‌های حرارتی ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد (از محفظهٔ ورودی تا قسمت نازل) و سرعت چرخش (سرعت بارگذاری) ۶۵ دور در دقیقه انجام گرفت. پس از پایان مرحلهٔ اختلاط و خروج از دستگاه اکسترودر، مواد سرد جمع‌آوری شده و به‌وسیلهٔ دستگاه آسیاب نیمه‌صنعتی WIESER به گرانول تبدیل شدند و در آون آزمایشگاهی با دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس با تنظیم پارامترهای تزریق دستگاه، گرانول‌ها وارد دستگاه قالب‌گیری تزریقی افقی شده و در شرایط دمایی به‌ترتیب ۱۷۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد (از محفظهٔ ورودی تا قسمت نازل)، فشار تزریق ۱۰۰ بار و سرعت بارگیری ۴۵ دور در دقیقه به نمونه‌های آزمونی تبدیل شدند. نمونه‌های ساخته‌شده در اتاقی با دمای ۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند. سپس ویژگی‌های مکانیکی شامل آزمون خمش، آزمون کشش و آزمون مقاومت به ضربه و همچنین پایداری ابعادی نمونه‌ها به‌ترتیب براساس استانداردهای D 790، D 638، D 256 و D 570 اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱. مشخصات پلی‌پروپیلن استفاده‌شده

گرید تجاری	دانسیته	نقطهٔ ذوب	دمای انتقال شیشه‌ای[2] (Tg)	ساختار پلیمر	شاخص جریان مذاب[3] (MFI)
Z30S	۰/۹g/cm^3	۱۶۵-۱۷۱°C	-۸°C	هوموپلیمر نیمه‌بلورین	۱۶ (g/10 min)

1. Maleic anhydride grafted polypropylene
2. Glass transition temperature
3. Melt flow Index

جدول ۲. درصد اختلاط اجزای کامپوزیت‌های ساخته‌شده

کد تیمار	آرد کاه گندم (٪)	پلی‌پروپیلن (٪)	پودر لیکور (٪)	MAPP
A_1B_1	۳۰	۶۵	۰	۵
A_1B_2	۲۵	۶۵	۵	۵
A_1B_3	۲۰	۶۵	۱۰	۵
A_1B_4	۱۵	۶۵	۱۵	۵
A_2B_1	۴۰	۵۵	۰	۵
A_2B_2	۳۵	۵۵	۵	۵
A_2B_3	۳۰	۵۵	۱۰	۵
A_2B_4	۲۵	۵۵	۱۵	۵
A_3B_1	۵۰	۴۵	۰	۵
A_3B_2	۴۵	۴۵	۵	۵
A_3B_3	۴۰	۴۵	۱۰	۵
A_3B_4	۳۵	۴۵	۱۵	۵

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

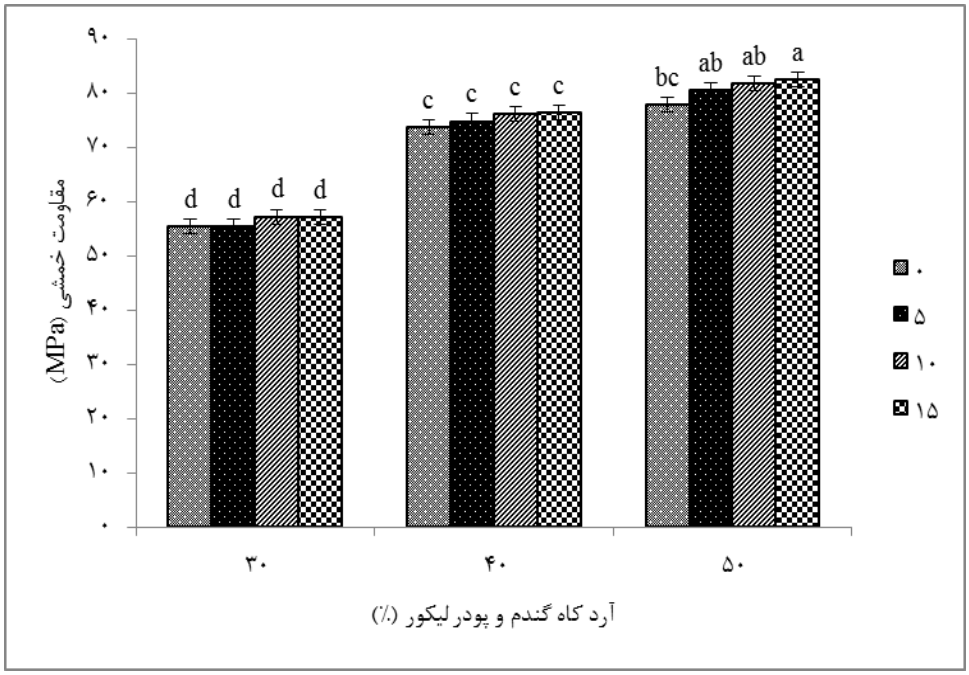
نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از تجزیه واریانس تجزیه‌وتحلیل شدند و سپس مقایسه و گروه‌بندی میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

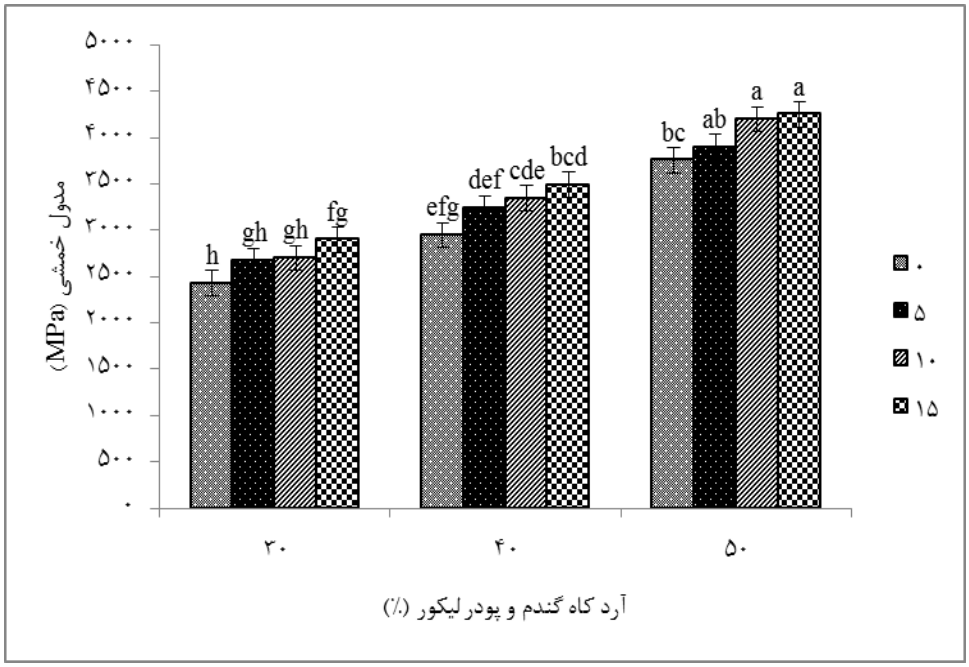
مقاومت خمشی و مدول خمشی

شکل‌های ۱ و ۲ روند افزایشی معنی‌داری را در مقدار مقاومت و مدول خمشی کامپوزیت‌ها بین تیمارهای مختلف از نظر مقدار مصرف آرد کاه گندم و پودر لیکور سیاه نشان می‌دهد ($P<0/05$). همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش سهم پرکنندهٔ لیگنوسلولزی در ساختار کامپوزیت، مقاومت و مدول خمشی افزایش چشمگیری داشته است؛ به‌نحوی که بیشترین مقدار مقاومت خمشی و مدول خمشی مربوط به استفاده از ۵۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه استفاده از ۵۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن است. کمترین مقاومت خمشی و مدول خمشی مربوط به نمونه‌های ساخته‌شده با استفاده از ۳۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه استفاده از ۷۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن است. با افزایش مقدار پرکننده از ۳۰ به ۵۰ درصد، مقدار تنش تحمل‌پذیر مادهٔ مرکب بر اثر وجود فاز تقویت‌کننده افزایش می‌یابد و در نتیجه سبب فشردگی و درهم‌رفتگی ذرات می‌شود که این امر سبب افزایش مقاومت خمشی و مدول خمشی کامپوزیت چوب- پلاستیک می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات Quazi و همکاران (۲۰۱۱) دربارهٔ الیاف کتان به‌همراه پلیمر پلی‌پروپیلن [۱۷] و Narouie و همکاران (۲۰۱۸) دربارهٔ ذرات توتون و پلیمر پلی‌لاکتیک اسید [۱۸] نیز این موضوع را تأیید می‌کند. از سوی دیگر با افزایش مقدار مصرف پودر لیکور حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی تأثیر مثبت و روندی افزایشی در مقاومت خمشی و مدول خمشی نمونه‌های ساخته‌شده مشاهده شد. نتایج تحقیقات Rozman و همکاران (۲۰۰۰) نشان داده است که مواد مرکب حاوی لیگنین کرافت، ویژگی‌های خمشی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند [۱۹]. همچنین Toriz و همکاران (۲۰۰۲) که از لیگنین همراه با پرکننده‌های معدنی در تولید مواد مرکب استفاده کردند اعلام داشتند که ویژگی‌های خمشی مواد مرکب با افزایش مقدار لیگنین افزایش یافت [۲۰]. مایع پخت باقی‌مانده از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی-آنتراکینون نیز دارای مقادیر مختلفی از ترکیبات از جمله لیگنین است که ممکن است در بهبود مقاومت خمشی تخته‌ها نیز تأثیر مثبتی داشته باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، مقاومت خمشی و مدول خمشی در سطوح استفاده از ۵۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه ۱۵ درصد پودر لیکور به‌ترتیب

با مقادیر ۸۲/۶۲ و ۴۲۵۲/۳ مگاپاسکال در مقایسه با تیمار ۳۰ درصد آرد کاه گندم بدون استفاده از پودر حاصل از لیکور با مقادیر ۵۵/۵ و ۲۴۳۰/۳ مگاپاسکال و همچنین در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص با مقادیر ۵۶/۱۴ و ۱۴۸۳ بهبود چشمگیری داشته و مدول خمشی نیز به‌طور تقریبی افزایش دوبرابری داشته است.



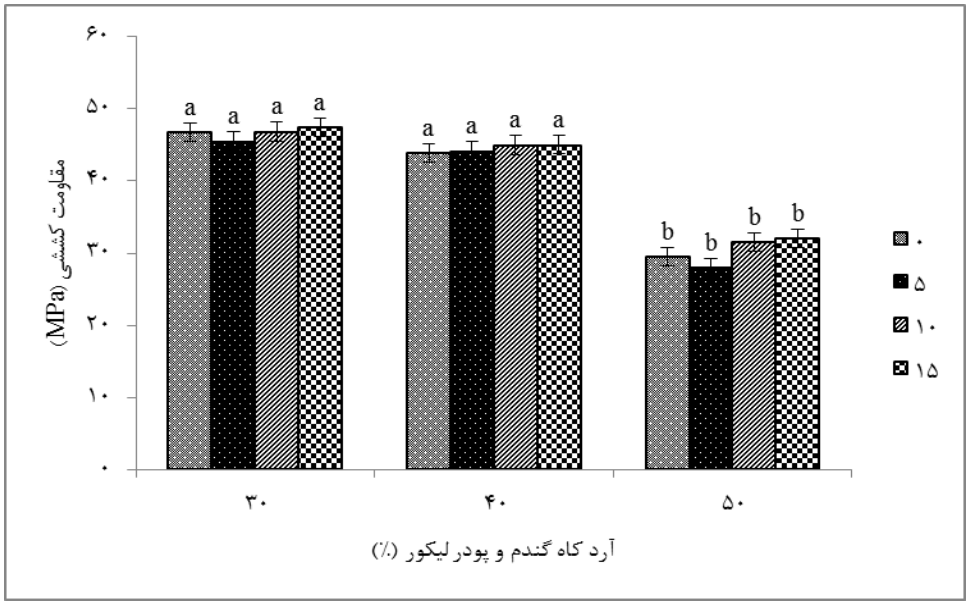
شکل ۱. اثر متقابل پودر لیکور و آرد کاه گندم بر مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته‌شده



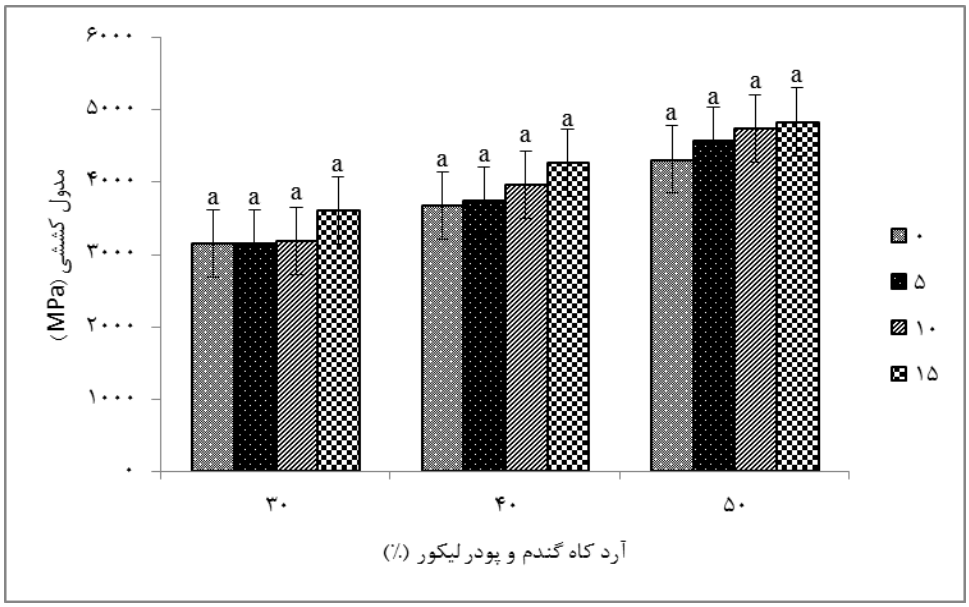
شکل ۲. اثر متقابل مادهٔ پودر لیکور و آرد کاه گندم بر مدول خمشی نمونه‌های ساخته‌شده

مقاومت کششی و مدول کششی

با توجه به شکل ۳ اثر معنی‌دار مقادیر مختلف مصرف آرد کاه گندم بر مقاومت کششی کامپوزیت‌های ساخته‌شده مشهود است ($P<0/05$). همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، مقدار مقاومت کششی کامپوزیت‌ها با کاهش سهم آرد کاه گندم و افزایش سهم پلیمر افزایش یافت و بیشترین مقاومت کششی با استفاده از ۳۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه ۷۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن، و کمترین مقاومت کششی در کامپوزیت‌های ساخته‌شده با استفاده از ۵۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه ۵۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن حاصل شد. همچنین استفاده از مقادیر مختلف پودر لیکور سیاه همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تأثیر منفی معنی‌داری بر مقاومت کششی کامپوزیت‌ها نیز نداشته است که این موضوع می‌تواند نتیجهٔ نویدبخشی در زمینهٔ استفادهٔ مفید از این نوع پسماندها باشد. نکتهٔ شایان توجه آن است که در تیمارهای مربوط به ۴۰ درصد مصرف آرد کاه گندم در سطوح مختلف، استفاده از پودر لیکور سیاه، اختلاف معنی‌داری با تیمار ۳۰ درصد مصرف کاه گندم مشاهده نشد. این بدان معناست که با افزایش سهم آرد کاه گندم تا ۴۰ درصد و افزایش سهم پودر لیکور تا ۱۵ درصد، کاهش معنی‌داری در مقاومت کششی کامپوزیت‌ها دیده نمی‌شود؛ زیرا در کامپوزیت‌های چوب- پلاستیک، پلاستیک، کارکرد چسب را برای اتصال ذرات چوبی به یکدیگر دارد. بنابراین با افزایش ذرات لیگنوسلولزی سهم پلاستیک در ترکیب کامپوزیت کاهش می‌یابد، به‌طوری که مقدار آن برای برقراری اتصال با افزایش حجم ذرات لیگنوسلولزی کافی نیست. در نتیجه اتصالات کاهش می‌یابد و انتقال تنش از مادهٔ زمینه به مرحلهٔ تقویت‌کننده به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. در نهایت این موضوع سبب کاهش مقاومت کششی کامپوزیت‌ها می‌شود. کاهش مقاومت کششی کامپوزیت چوب- پلاستیک همراه با افزایش سهم ذرات لیگنوسلولزی در پژوهش‌های دیگر محققان نیز مشاهده شده است [۱۸، ۲۱، ۲۲]. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، مقاومت کششی در سطوح استفاده از ۳۰ و ۴۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه ۱۵ درصد پودر لیکور به‌ترتیب با مقادیر ۴۷/۳۹ و ۴۵/۰۱ در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص با مقدار ۴۱/۷۷ افزایش یافته و مناسب است. از سوی دیگر تأثیر عوامل متغیر بر مدول کششی کامپوزیت‌ها نیز معنی‌دار نیست و همهٔ تیمارهای به‌دست‌آمده با استفاده از سطوح مختلف آرد کاه گندم و پودر لیکور سیاه در گروه‌های مشترک (گروه a) قرار دارند (شکل ۴). اما همان‌طور که واضح است با افزایش سهم مقدار پرکننده و پودر لیکور سیاه در ترکیب کامپوزیت، مدول کششی بهبود محسوسی داشت. در این زمینه Stark و Rowlands (۲۰۰۳) در تحقیقات خود رابطهٔ مستقیمی بین مدول الاستیسیتهٔ کامپوزیت و مدول اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن اعلام می‌کنند [۲۳]. این بدان معناست که با در نظر گرفتن مدول الاستیسیتهٔ بیشتر مواد لیگنوسلولزی می‌توان شاهد افزایش مدول الاستیسیته در کامپوزیت حاصل از آنها بود. یعنی می‌توان گفت با افزایش سهم پسماند کاه گندم تا ۵۰ درصد و همچنین افزایش سهم استفاده از پودر لیکور تا ۱۵ درصد که هزینهٔ کمتری از پلی‌پروپیلن دارند نیز می‌توان به مقاومت قابل قبولی دست یافت. با توجه به شکل مدول کششی در سطح ۵۰ درصد استفاده از آرد کاه گندم به‌همراه استفاده از ۱۵ درصد پودر لیکور با مقدار ۴۸۳۸ نسبت به پلی‌پروپیلن خالص با مقدار ۲۱۳۸/۳۳ به‌طور تقریبی دوبرابر افزایش داشته است.



شکل ۳. اثر متقابل مادهٔ پودر لیکور و آرد کاه گندم بر مقاومت کششی نمونه‌های ساخته‌شده



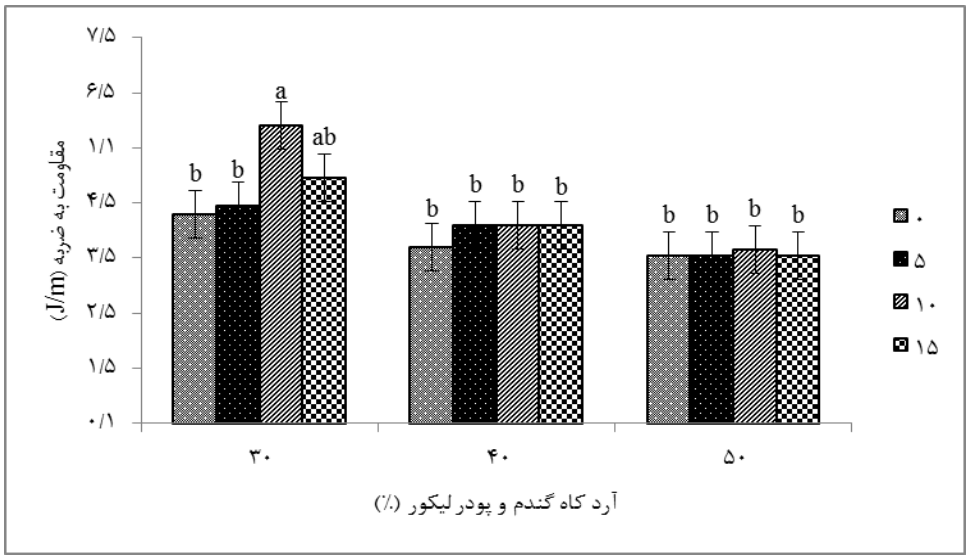
شکل ۴. اثر متقابل مادهٔ پودر لیکور و آرد کاه گندم بر مدول کششی نمونه‌های ساخته‌شده

مقاومت به ضربه

اختلاف بین مقاومت به ضربهٔ کامپوزیت‌های ساخته‌شده با مقادیر مختلف استفاده از پسماند زراعی کاه گندم، پلیمر و پودر لیکور سیاه معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). البته همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بین مقدار مقاومت به ضربهٔ تیمارهای مربوط به مصرف ۴۰ و ۵۰ درصد آرد کاه گندم در سطوح مختلف استفاده از پودر لیکور سیاه، اختلاف معنی‌داری حاصل نشد و مقاومت به ضربه تغییر معنی‌داری نداشت. اما با توجه به شکل، مقاومت به ضربه با افزایش سهم آرد کاه گندم در کامپوزیت کاهش یافت. بیشترین مقاومت به ضربه در تیمارهای استفاده از ۳۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه ۷۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن و کمترین آن در کامپوزیت‌های ساخته‌شده با ۴۰ و ۵۰ درصد آرد کاه گندم به‌همراه ۶۰ و ۵۰ درصد پلیمر

پلی‌پروپیلن حاصل شد. وجود ذرات لیگنوسلولزی سبب می‌شود که نیروهای اعمالی در هنگام آزمون مقاومت به ضربه به‌جای عبور از داخل محیطی همگن، با مجموعه‌ای از نقاط که تمرکز تنش در آنها اتفاق می‌افتد روبه‌رو شود. این نقاط مستعد ترک هستند و سبب کاهش مقاومت به ضربه خواهند شد. کاهش مقاومت به ضربه با افزایش سهم ذرات لیگنوسلولزی نیز در تحقیقات دیگر پژوهشگران نیز مشاهده شده است [۲۱، ۲۴]. از سوی دیگر حضور ذرات پودر لیکور سیاه در ترکیب کامپوزیت حاصل در مقایسه با تیمارهایی که از آنها از پودر لیکور استفاده نشده بود، موجب افزایش مقاومت به ضربه شد.

در زمینهٔ تأثیر پودر لیکور سیاه حاصل از فرایند سولفیت قلیایی- آنتراکینون، با افزایش لیگنین موجود در مایع پخت سیاه حاصل از فرایند پخت، می‌توان تأثیر بهتری در بهبود مقاومت‌های تخته نیز انتظار داشت. اما به نظر می‌رسد لیگنین موجود در لیکور در طی مراحل خمیرسازی در اثر فرایند اکسایشی تخریب شده و به فراورده‌های کوچک تبدیل می‌شود و پیوندهای دوگانهٔ جدیدی از نوع استیرنی و استیلنی پدید می‌آید؛ بنابراین به نظر می‌رسد که لیگنین موجود در مایع پخت سیاه تخریب شده است. اما برای تقویت و حفظ خواص مکانیکی لیگنین باید متراکم شود و اتصالات عرضی در آن شکل گیرد که این موضوع نیازمند حرارت زیاد پرس است [۲۵]. نکتهٔ شایان توجه آن است که مقاومت به ضربه با افزایش آرد کاه گندم کاهش یافت، اما مقاومت به ضربه در سطح ۵۰ درصد استفاده از آرد کاه گندم به‌همراه مقادیر پودر لیکور ۱۰ و ۱۵ درصد به‌ترتیب (۰/۶۳ و ۰/۶۱ درصد) در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص با مقدار ۰/۲۷ درصد در حدود یک‌ونیم برابر افزایش یافت. یعنی می‌توان از مقدار آرد کاه گندم بیشتری استفاده کرد و مقدار استفاده از پلی‌پروپیلن را کاهش داد و در عین‌حال هزینه‌ها را کاهش و مقاومت‌های کامپوزیت را نیز افزایش داد.

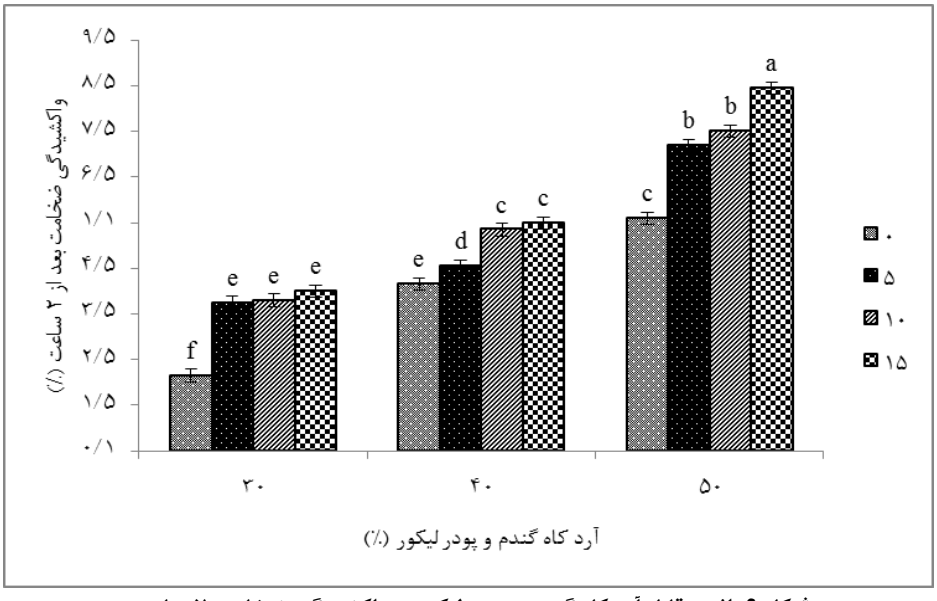


شکل ۵. اثر متقابل مادهٔ پودر لیکور و آرد کاه گندم بر مقاومت به ضربه نمونه‌های ساخته‌شده

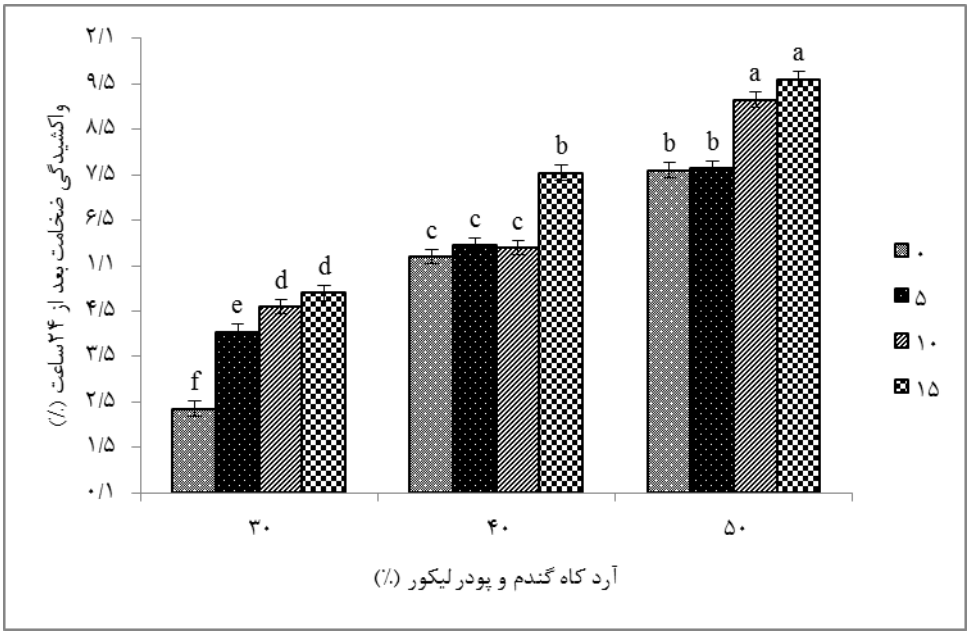
پایداری ابعادی

میزان واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌های ساخته‌شده بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب با افزایش استفاده از پرکنندهٔ آرد کاه گندم به‌شکل معنی‌داری افزایش یافت ($P<0/05$) (شکل‌های ۶ و ۷). کامپوزیت‌های ساخته‌شده با استفاده از ۳۰ درصد آرد کاه گندم و ۷۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن دارای کمترین واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب بودند، اما با افزایش سهم مادهٔ

پرکننده کاه گندم، واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌ها افزایش یافت و بیشترین واکشیدگی ضخامت، مربوط به استفاده از ۵۰ درصد آرد کاه گندم و ۵۰ درصد پلیمر پلی‌پروپیلن است. افزودن تقویت‌کنندهٔ لیگنوسلولزی به پلیمر، امکان نفوذ آب در کامپوزیت‌ها را افزایش می‌دهد. به‌طور کلی پلاستیک خالص که در ترکیب چندسازه‌ها استفاده می‌شود، به‌دلیل خاصیت آب‌گریز بودن آن جذب رطوبت بسیار کمی دارد. اما وجود گروه‌های هیدروکسیل آب‌دوست قابل دسترس در زنجیره‌های سلولزی موجود در مادهٔ لیگنوسلولزی، موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدید با مولکول‌های آب می‌شود که این عمل جذب آب و واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌ها را تشدید می‌کند [۲۶]. با بررسی نتایج تحقیقات الیاسی و همکاران (۲۰۱۳) در زمینهٔ تأثیر استفاده از تقویت‌کنندهٔ آرد ساقهٔ سویا به‌همراه پلی‌اتیلن سنگین در ساخت کامپوزیت چوب- پلاستیک مشخص شد که با افزایش آرد ساقه سویا نیز واکشیدگی ضخامت کامپوزیت چوب- پلاستیک افزایش یافت [۲۷]. البته با مصرف عامل جفت‌کنندهٔ MAPP در ساخت این نوع کامپوزیت‌ها، گروه‌های هیدروکسیل موجود در مادهٔ لیگنوسلولزی غیرفعال می‌شود و در نتیجه خلل و فرج در ساختار کامپوزیت کاهش می‌یابد که چسبندگی بهتر آرد مادهٔ لیگنوسلولزی و پلیمر و در نهایت کاهش واکشیدگی ضخامت کامپوزیت را در پی دارد [۲۸]. از سوی دیگر، پودر لیکور حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی نیز تأثیر افزایشی در روند تغییرات مقدار واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب داشته است. شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار پودر لیکور حاصل از فرایند خمیرکاغذسازی، واکشیدگی ضخامت کامپوزیت‌های ساخته‌شده افزایش یافت. زیرا در طی فرایند خمیرسازی به‌طور فنی، لیگنین نیز به‌دلیل تخریب جزئی و تبدیل شدن به گروه‌های سولفونیک اسیدی محلول در آب می‌شود و نقاط واکنش‌پذیر آن افزایش می‌یابد. در نتیجه مایع پخت سیاه کارخانه‌های کاغذسازی محلول در آب است و به‌علت داشتن گروه‌های قطبی در ساختار خود می‌تواند سبب افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت شود [۲۹]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کمترین مقدار واکشیدگی ضخامت در نمونه‌هایی مشاهده شد که از پودر لیکور استفاده نکردند و بیشترین واکشیدگی با استفاده از مقدار ۱۵ درصد پودر لیکور به‌دست آمد.



شکل ۶. اثر متقابل آرد کاه گندم و پودر لیکور بر واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت



شکل ۷. اثر متقابل آرد کاه گندم و پودر لیکور بر واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر حضور پودر لیکور سیاه به‌دست‌آمده از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی- آنتراکینون به‌همراه پسماند زراعی کاه گندم به‌عنوان تقویت‌کننده بر ویژگی‌های کاربردی کامپوزیت چوب- پلاستیک بررسی شد. همان‌طور که نتایج نشان داد، استفاده از پودر حاصل از لیکور سیاه به‌دست‌آمده از فرایند خمیرکاغذسازی سولفیت قلیایی-آنتراکینون، با هدف استفادهٔ مفید و کاربردی از آن، سبب افزایش برخی مقاومت‌های مکانیکی کامپوزیت چوب- پلاستیک از جمله مقاومت و مدول خمشی و مدول کششی شد و مقاومت کششی و مقاومت به ضربه آنها افزایش چشمگیری نداشت. به‌عبارت دیگر استفاده از این نوع پسماند دورریز و جایگزینی آن با بخشی از آرد کاه گندم تأثیر منفی چندانی بر ویژگی‌های کامپوزیت نداشت که این موضوع می‌تواند در زمینهٔ استفادهٔ کاربردی از آنها نویدبخش باشد؛ زیرا جایگزین کردن این نوع ترکیبات زیست‌تخریب‌پذیر و دورریز با پلیمرهای شیمیایی گامی مناسب در حفظ محیط زیست است. همچنین استفادهٔ بیشتر از این نوع پسماندهای ضایعاتی و سازگار با محیط زیست افزون‌بر کاهش هزینه‌های تولید، مشکلات زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهد.

References

[1]. Kurd, B. (2009). Investigation on The Effects of nanoclay particles on mechanical properties of wood polymer composites made of high density polyethylene-wood flour. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 25(1): 91-101.

[2]. Gorjani, F., and Omidvar, A. (2006). Investigation on manufacturing process and mechanical properties wheat straw/recycled polyethylene composite. Pajouhesh&Sazandegi, 72: 84-88.

[3]. Hosseini, S. B., Hedjazi, S., Jamalirad, L., and Sukhtesaraie, A. (2014). Effect of nano-sio$_2$ on physical and mechanical properties of fiber reinforced composites (FRCs). Journal of Indian Academic and Wood Sciences, 11(2): 116-122.

[4]. Hosseini, S. B., Hedjazi, S., and Jamalirad, L. (2017). Investigation on physical and mechanical properties of pulp-plastic composites from bagasse. Wood Material Science & Engineering, 12(5): 279-287.

[5]. Gholizadeh, M., Jamalirad, L., Aminian, H., and Hedjazi, S. 2015. Investigation on mechanical properties of polypropylene composite reinforced with tobacco stalk. Iranian Journal of Forest and Wood Products, 68:2. 261-272.

[6]. Yari Firouzabadi, Z., Vaziri, V., Kord, B., and Jamalirad, L. (2020). Investigation the effect of nanographene particles on physical and mechanical properties of high density of polyethylene-rapeseed stalk flour composites. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(4): 629-641.

[7] Ghasemi, B., Jamalirad, L., Fraji, F., and Hedjazi, S. (2018). Evaluating the composite properties made of sunflower stalk flour and natural poly lactic acid (PLA) polymer. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 33(3): 391-401.

[8]. Sukhtesaraie, A., Hedjazi, S., Jamalirad, L., Ahmadi, M., and Hosseini, B. (2016). The study of pulp-polypropylene biocomposites properties produced from non-extracted and hot water pre-extracted bagasse. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(1): 78-91.

[9]. Allahdady, M., Hedjazi, S., Jonoobi, M., Abdolkhani, A., and Jamalirad, L. (2017). Investigation on mechanical-thermal properties of green composite produced from poly lactic acid and bagasse pulp fibers. Iranian Journal of Forest and Wood Products, 70(2): 333-342.

[10]. Hedjazi, S., Hosseini, S. B., and Jamalirad, L. (2019). The potential of pulping processes in production of pulp-plastic composites (PPC) from bagasse and rice straw. Wood Industry and Engineering, 1(2): 40-51.

[11]. Anamaria S., Totolin, M., Cazacu, G., and Vasile, C. (2012). Low density polyethylene composites containing cellulose pulp fibers. Composites: Part B, 43: 1873-1880.

[12]. Helio, F., Nuno, G., Cecilia, B., and Ana Paula, D. (2010). Antioxidant activity of lignin phenolic compounds extracted from kraft and sulphite black liquors. Molecules, 15: 9308-9322.

[13]. Yahyavi Dizaj, M., Khazaeian, A., and Shakeri, A. (2016). The use of black liquor reinforced with lignocellulose nano fibers to improve the mechanical and physical properties of particleboard. Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology, 23(2): 297-322.

[14]. Rahimi, H. (2000). Introduction of Composites. In: Proceedings of the 2nd short time specialist and learning course reinforced plastics. Iran Polymer and Petrochemical Institute, Nov. 12Tehran, Iran, 129-134.

[15]. Ten, E., and Vermerris, W. (2015). Recent developments in polymers derived from industrial lignin. Applied Polymer, 132 (24): 1-13.

[16]. Wang, Z., Bo, N., Liu, Y., Yang, G., Liu, Y., and Zhao, Y. (2013). Preparation of lignin-based anion exchangers and their utilization for nitrate removal. Bioresources, 8(3): 3505-3517.

[17]. Quazi, TH.S., Alam, A., and Quaiyyum, M. (2011). Mechanical properties of polypropylene composites. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 26(3): 362-391.

[18] Narouie, S., Jamalirad, L., Aminian, H., and Hedjazi, S. (2018). The properties of poly lactic acid green composites reinforced by tobacco stalk flour. Forest and Wood Products. 71(3): 231-241.

[19]. Rozman, H.D., Tan, K.W., Kumar, R.N., Abubakar, A., and IshakMohd Ismail, H. (2000). The effect of lignin as a compatibilizers on the physical properties of coconut fiber-polypropylene composites. European Polymer Journal, 36(7): 1483-1494.

[20]. Toriz, G., Denes, F., and Young, R.A. (2002). Lignin polypropylene composites. Part 1: Composites from unmodified lignin and polypropylene. Journal of Polymer Composites, 23(5): 806-813.

[21]. Jamalirad, L., Aminian, H., and Hedjazi, S. (2019). Exploring the potential of milkweed stalk in wood plastic manufacture. Journal of Natural Fiber, 16(1): 77-87.

[22]. Kim, S., Moonb, J., Kim, C.H., and Sikha, G. (2008). Mechanical properties of polypropylene /naturalfiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. Polymer Testing, 27: 801-806.

[23]. Stark, N.M., and Rowlands, R.E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites, Wood and Fiber Science, 35(2): 167-174.

[24]. Biazyat, A., Jamalirad, L., Aminian, H., and Hedjazi, S. (2016). The effect of using palm wood flour in the manufacture of polypropylene-based wood plastic composite. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(1): 30-39.

[25]. Yahyavi Dizaj, M., Khazaeian, A., and Shakeri, A. (2017). The use of black liquor and nano-graphene oxide addition to urea formaldehyde adhesive to improve the mechanical and physical properties of particleboard. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32(3): 359-368.

[26]. Li X., and Tabil, LG., and Panigrahi, S. (2007). Chemical treatment of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A Review. Journal of Polymers and the Environment, 15: 25-33.

[27]. Elyasi, A., Dusthoseini, K., Tajvidi, M., and Behravash, A.H. (2013). Effect of filler material and foaming agent on practical properties of wood plastic composites. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28(4): 597-612.

[28]. Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kujima, Y., and Suzuk, S. (2008). Bamboo–fiber filled high density polyethylene composites: effect of coupling treatment and nanoclay. Journal Polymer Environment, 16: 123–130.

[29]. Mirshokraie, A. (2002). Wood Chemistry, Principles and Applications. Ayezh Press, 194 p.

Investigation on the functional properties of wood-plastic composite prepared from black liquor powder obtained from alkali sulfite-anthraquinone (AS-AQ) pulping process with wheat straw

B. Babaie; M.Sc. Graduate, Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

L. Jamalirad*; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

V. Vaziri; Assist. Prof., Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, I.R. Iran

S. Hedjazi; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

(Received: 26 January 2021, Accepted: 14 April 2021)

ABSTRACT

Development and application of natural and renewable resources in the manufacture of wood composites is one of the important issues that are always considered by various researchers and are looking for solutions to reduce the share of harmful and hazardous chemical compounds. Therefore the aim of this study was to investigate the use of black liquor powder obtained from alkali sulfite anthraquinone pulping process in the production of wood plastic composite with wheat straw residue and polypropylene polymer and using MAPP coupling agent. In order to make the wood plastic composites, wheat straw flour enhancer in three levels of 30, 40 and 50% and black liquor powder obtained from alkaline sulfite anthraquinone (AS-AQ) pulping process in four levels of zero, 5, 10 and 15% relative to dry weight of wheat flour was used. Then the flexural strength and modulus, tensile strength and modulus, impact resistance and thickness swelling within 2 and 24 hours immersion in water of the test specimens prepared from the wood plastic composites were measured and statistically analyzed. The results showed that by using liqueur powder obtained from alkali sulfate-anthraquinone process with wheat straw flour, the flexural strength increased about 50% compared to pure propylene. The flexural and tensile modulus and impact resistance of the composites approximately 100% compared to pure polymer. The thickness swelling of the composites also increased with increasing the amount of black liquor powder and wheat straw. In general, the results showed that replacing the black liquor powder with a part of wheat straw flour not only did not lead to significant negative changes in the properties of wood plastic composites but also improved some mechanical properties.

Keywords: Black Liquor Powder, Sulfite-anthraquinone process, Wood-plastic composite, Agro waste.

* Corresponding Author, Email: Jamalirad@gonbad.ut.ac.ir, Tel: +98 9122594487