

تأثیر اندازه ذرات کاه گندم بر ویژگی‌های مکانیکی و جذب آب چندسازه کاه‌گندم/پلی‌اتیلن سبک با کاربرد در بسته‌بندی

چکیده

چندسازه‌های طبیعی با قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری، ممکن است جایگزین مناسبی برای پلاستیک‌های متداول باشند. از این رو، با هدف کاهش سهم مواد پلاستیکی در صنعت بسته‌بندی، چندسازه طبیعی حاوی کاه گندم به‌عنوان یک ماده تجدیدپذیر با سه اندازه مش ۱۴۰، ۱۰۰، ۴۰ و پلی‌اتیلن با چگالی کم (سبک) به‌عنوان یکی از پرکاربردترین پلیمرهای ساختگی در صنعت بسته‌بندی تهیه شد و تأثیر اندازه ذرات کاه گندم بر ویژگی‌های مکانیکی و جذب آب چندسازه حاصل بررسی گردید. مالیک انیدرید پیوندخورده با پلی‌اتیلن نیز به‌عنوان سازگار کننده به کار رفت. برای چگونگی توزیع ذرات و تعیین نسبت ظاهری (L/D) آن‌ها از میکروسکوپ نوری، به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها از آزمون‌های کشش و خمش؛ و برای بررسی ساختار نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده گردید. میزان جذب آب نمونه‌ها نیز از طریق اختلاف وزن محاسبه شد. نتایج نشان داد که اندازه ذرات و مقدار L/D بر مقاومت کششی و جذب آب چندسازه تأثیر معنی‌داری دارد اما تأثیر آن بر مقاومت خمشی معنی‌دار نیست. نتیجه‌گیری کلی بیانگر آن است که با افزایش اندازه ذرات فاز پرکننده (کاه گندم)، می‌توان چندسازه‌ای با مقاومت کششی بهتر و جذب آب کمتر در مقایسه با اندازه ذرات کوچک‌تر تهیه کرد.

واژگان کلیدی: اندازه ذرات، پلی‌اتیلن سبک، چندسازه طبیعی، ویژگی‌های مکانیکی و جذب آب، کاه گندم.

بهبخت تاج‌الدین^{۱*}

مرجان حاجی‌باقرنائینی^۲

^۱ دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ایران - واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

behjat.tajeddin@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۱

بسته‌بندی، ممکن است راه‌حل مناسبی برای کاهش این مشکلات باشد. در سال‌های اخیر، مواد لیگنوسلولزی مانند انواع ضایعات گیاهان کشاورزی به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان پرکننده در ساختار چندسازه‌های حاوی مواد پرکننده طبیعی/پلیمر گرمانرم، عمدتاً به‌منظور کاربرد در صنایع اتومبیل و ساختمان استفاده می‌شوند [۱]. این مواد راحت‌تر تخریب‌شده و یا به‌صورت طبیعی جذب می‌شوند

مقدمه

یکی از نگرانی‌های مهم در مورد مواد پلیمری مشتق شده از منابع نفتی که در صنعت بسته‌بندی استفاده می‌شوند، آلودگی زیست‌محیطی و مدیریت ضایعات آن‌ها است. علاوه بر استفاده از پلیمرهای طبیعی چه در اندازه میکرو و چه در اندازه نانو در ساخت مواد اولیه بسته‌بندی، استفاده از چندسازه‌های طبیعی در برخی از کاربردهای

سازگارکننده مالئیک‌انیدرید گرافت شده با پلی- پروپیلن (MAPP) را به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین سازگارکننده‌های کاربردی در صنعت چوب پلاستیک معرفی کرده‌اند [۱۰]. سازگارکننده که معمولاً برای ایجاد سازگاری بین ماده طبیعی (قطبی) و شبکه پلیمری (غیر قطبی) به کار می‌رود، باید دارای ساختاری باشد که بتواند با هر دو جزء اصلی چندسازه برهم‌کنشی از نوع فیزیکی و شیمیایی برقرار کند [۷].

به‌طور کلی، عوامل زیادی مانند خواص پرکننده از جمله خواص ذاتی، اندازه و شکل آن بر ویژگی‌های چندسازه‌ها مؤثرند. یکی از مهم‌ترین آن‌ها، اندازه ذرات پرکننده است که تغییر آن سبب بهبود فرآیندپذیری و انعطاف‌پذیری چندسازه و بهبود مقاومت آن به ضربه و کشش می‌شود [۱۱].

Zaini و همکاران (۱۹۹۶)، تأثیر مقدار و اندازه ذرات پرکننده را بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه آرد چوب پالم/ پلی‌پروپیلن بررسی کردند. بدین منظور، مقادیر مختلف ماده پرکننده با چهار اندازه ذره استفاده شد. تمامی اندازه‌ها روند مشابهی را در کاهش ویژگی‌های مکانیکی با افزایش میزان پرکننده نشان دادند. چندسازه‌های پر شده با پرکننده‌های با اندازه بزرگ‌تر، مقاومت ضربه و مقاومت کششی و مدول‌های بالاتری را به‌خصوص در مقادیر بالای پرکننده نشان دادند [۱۲].

Berger و Stark (۱۹۹۷)، تأثیر اندازه ذرات آرد چوب را بر ویژگی‌های پلی‌پروپیلن پر شده با آرد چوب بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شاخص جریان ذوب، مقاومت ضربه و مقاومت‌های خمش و کشش با افزایش اندازه ذرات افزایش می‌یابد [۱۳].

Bouafif و همکاران (۲۰۰۹)، تأثیر انواع گوناگون الیاف را با مقدار و اندازه‌های مختلف، بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های چوب/پلاستیک بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش اندازه ذرات ویژگی‌های مقاومت و سختی چندسازه افزایش می‌یابد [۱۴].

Omidvar و Gorjani (۲۰۰۶)، خواص مکانیکی چندسازه پلی‌اتیلن سنگین/کاه گندم ساخته شده با ۱۵،۳۰ و ۴۰ درصد آرد کاه گندم دانه‌ریز (مش ۲۵ تا ۴۰) و دانه‌درشت (مش ۱۲ تا ۲۵) و ۲ درصد مالئیک‌انیدرید را

[۲]. از آنجایی که بخش عمده‌ای از پلیمرهای گرم‌انرم (پلاستیک‌ها) در صنعت بسته‌بندی به کار می‌روند، لازم است تا به کاربرد چندسازه‌ها در این صنعت نیز توجه کرد. در واقع، سالانه حدود ۲۵۰ میلیون تن از انواع مواد پلاستیکی با رشد ۵٪ در جهان تولید می‌شود. بزرگ‌ترین بازار مواد پلاستیکی از جمله پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی اتیلن ترفتالات و پلی‌وینیل کلراید در جهان، مربوط به بسته‌بندی است که حدود ۶۰ میلیون تن را در سال شامل می‌گردد. دلیل این امر، دسترسی فراوان به ماده اولیه، هزینه نسبتاً پائین، ویژگی‌های مکانیکی مطلوب، بازدارندگی خوب در برابر اکسیژن، دی‌اکسید کربن و ترکیبات معطر است؛ اما تأمین منابع و دفع ضایعات این مواد و زمان‌بر بودن فرآیند تجزیه آن‌ها، مشکلات فزاینده‌ای را ایجاد می‌کند [۳].

چندسازه‌های طبیعی، علیرغم معایبی مانند جذب آب بیشتر به دلیل ویژگی آب‌دوستی الیاف سلولزی و محدودیت در دمای فرآورش به دلیل تخریب گرمایی مواد طبیعی (نسبت به پلاستیک خالص)، برتری‌هایی مانند زیست تخریب‌پذیری، کاهش آلودگی محیط‌زیست، دوام طبیعی بالاتر در برابر حشرات، قارچ‌ها و رطوبت در مقایسه با فرآورده‌های کاملاً طبیعی، قابلیت بازیافت، قیمت و چگالی کمتر و غیره را دارا هستند [۴-۶]. به‌طور کلی، چندسازه‌ها شامل سه فاز ماده زمینه یا شبکه پلیمری (ماتریکس)، تقویت‌کننده یا پرکننده (الیاف) و سازگارکننده می‌باشند. بسته به هدف موردنظر، فاز تقویت‌کننده ممکن است سفت‌تر و محکم‌تر یا انعطاف‌پذیرتر از فاز زمینه باشد [۷]. کاه گندم از محصولات جانبی کشاورزی با مقدار متوسط تولید سالانه ۱۸ میلیون تن در ایران است. بخش اصلی کاه و کلش به‌عنوان خوراک دام کاربرد دارد اما از بخشی که بیش از نیاز خوراک دام است، استفاده بهینه نمی‌شود. این ماده را می‌توان به‌عنوان پرکننده در تهیه چندسازه‌ها به کار گرفت [۸-۹].

با استفاده از یک عامل شیمیایی سازگارکننده، با برقراری اتصال بین پلیمر و مواد لیگنوسلولزی، این دو ماده باهم سطوح مشترک بیشتری می‌یابند. سازگارکننده‌های گوناگونی برای ایجاد اتصال بین دو بخش شبکه و الیاف چندسازه استفاده می‌شود. Yue و همکاران (۲۰۱۱)،

جایگزینی کامل مواد مصنوعی با بسته‌بندی‌های سازگار با محیط زیست تقریباً غیرممکن است اما برای کاربردهای خاص مثل بسته‌بندی‌های ثانویه و تهیه ظروف با ضخامت‌های بالاتر از فیلم‌های بسته‌بندی، می‌توان به خوبی از مواد کشاورزی استفاده کرد [۲۰]؛ بنابراین، طی پژوهشی، کاه گندم با اندازه ذرات مختلف با پلی‌اتیلن سبک مخلوط شد و ویژگی‌های آن بررسی گردید. مقاله حاضر، به تأثیر اندازه ذرات کاه گندم بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه حاصل می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

مواد

پلی‌اتیلن با چگالی کم (سبک)، گرید LF0200 از مجتمع پتروشیمی بندر امام خمینی با وزن مخصوص 0.92 g/cm^3 و شاخص جریان مذاب $2 \text{ g}/10 \text{ min}$ به صورت گرانول تهیه گردید و به‌عنوان فاز پیوسته پلیمری به کار گرفته شد. کاه گندم رقم پیش‌تاز نیز به‌عنوان ماده پرکننده آلی مورد استفاده قرار گرفت. مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی‌اتیلن (MAPE) به شکل گرانول به‌عنوان سازگارکننده این چندسازه استفاده شد.

روش‌ها

در ابتدا کاه گندم در یک خشک‌کن با دمای 30°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس، به صورت دستی، به قطعات $2\text{--}3 \text{ cm}$ خرد و در مرحله بعد توسط آسیاب پره‌ای مدل Retschmuhle به آرد تبدیل گردید. آرد حاصله توسط الک ارتعاشی با اندازه‌های مش ۴۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ الک شد. به منظور بررسی تأثیر اندازه ذرات کاه گندم بر خواص مکانیکی چندسازه، چهار نمونه تهیه شد. سه نمونه از اختلاط ۴۰٪ کاه گندم (WS) با سه اندازه مش موردنظر و ۶۰٪ پلی‌اتیلن سبک تهیه شدند. به تمام این نمونه‌ها، ۱۰٪ وزن پلی‌اتیلن سبک، MAPE به‌عنوان افزودنی اضافه شد. نمونه حاوی ۱۰٪ پلی‌اتیلن نیز به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. مواد اولیه با استفاده از اکسترودر دوپیچه ناهم‌سو، مخلوط شدند. سپس رشته خروجی توسط آسیاب، خرد شد و به شکل چندسازه گرانولی در آمد. در نهایت، گرانول‌ها به دستگاه تزریق منتقل شدند تا

مطالعه کردند. نتایج نشان داد که افزایش آرد کاه گندم تا سطح ۳۰ درصد، مقاومت کششی و خمشی را افزایش می‌دهد و تا سطح ۴۰ درصد، موجب بهبود مدول الاستیسیته کششی چندسازه می‌گردد، اما بر مقاومت ضربه تأثیر چندانی ندارد [۱۵].

Kociszewski و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر اندازه ذرات چوب ($0.025\text{--}0.05$ ، $0.1\text{--}0.2$ و $0.4\text{--}2$ میلی‌متر) را روی خواص مکانیکی چندسازه‌های مرکب از ذرات چوب صنعتی/پلی‌وینیل کلراید بررسی کردند و نتیجه گرفتند که به‌طور کلی، ویژگی‌های کشش و خمش همراه با ضربه نمونه‌ها با افزایش اندازه ذره، افزایش می‌یابد [۱۶].

در بررسی تأثیر اندازه ذره چوب (۴۰ و ۸۰ مش) روی خواص مکانیکی چندسازه‌های حاصل از خاکاره/پلی‌اتیلن سنگین توسط Rafighi و همکاران (۲۰۱۴)، معلوم شد که با افزایش اندازه ذره، مقاومت کشش چندسازه افزایش می‌یابد [۱۷].

علاوه بر اندازه مواد پرکننده، نسبت طول به قطر (نسبت ظاهری^۱)، از ویژگی‌های اصلی در تعیین توزیع پرکننده در ماده زمینه است که در استحکام مکانیکی کامپوزیت‌ها نقش دارد [۱۸]. نسبت طول به قطر (L/D) الیاف، نشانه‌ای از توانایی آن‌ها در انتقال استرس است، بنابراین، کاهش نسبت L/D الیاف، سبب تمرکز استرس می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش استحکام می‌گردد [۱۹]. به‌طور کلی، مواد لیگنوسلولزی در اشکال ذره‌ای (آرد یا پودر که با ظاهری نرم از آسیاب کردن کاه به دست می‌آید) به‌عنوان پرکننده و الیاف به‌عنوان تقویت‌کننده در پلیمرها به کار می‌روند. عمده تفاوت الیاف و آرد، در میزان L/D است [۱۳]. هرچه مقدار L/D بیشتر باشد، سفتی و استحکام کامپوزیت بیشتر می‌شود اما اغلب شکل ذره‌ای ترجیح داده می‌شود چون فرآیند آن آسان‌تر بوده و در تولید ورق مناسب‌تر است.

به‌هرحال، علیرغم مطالعات نسبتاً زیادی که در جهان و ایران روی چندسازه‌های طبیعی و عوامل مؤثر بر تهیه آن برای کاربردهای مختلف وجود دارد، به تأثیر اندازه ذرات ماده پرکننده بر خواص چندسازه و به‌ویژه کاربرد آن در صنعت بسته‌بندی، کمتر توجه شده است. اگرچه

^۱ Aspect ratio (Length/Diameter)

میلی‌متر به مدت ۲۴ ساعت در آون 50°C خشک شدند و پس از خنک شدن در دسیکاتور، توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰ گرم، توزین شدند. سپس، نمونه‌ها داخل ظروف شیشه‌ای دردار حاوی آب مقطر قرار گرفته و در آزمایشگاه گذاشته شدند. یک‌بار پس از گذشت ۲۴ ساعت و بعد هر هفته وزن شدند. برای توزین نمونه‌ها در هر مرحله پس از خارج کردن از آب، رطوبت سطحی آن‌ها گرفته شد و درصد رطوبت جذب‌شده (افزایش وزن) محاسبه گردید.

در نهایت، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی، تیمار اندازه ذرات کاه گندم در چهار سطح (مش ۴۰، ۱۰۰، ۱۴۰ و شاهد) استفاده شد. تحلیل آماری نتایج متغیرهای حاصل از آزمون‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 در سطح ۰/۰۵ انجام گرفت و به منظور مقایسه میانگین داده‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۲ استفاده شد. نمودارها از طریق برنامه نرم‌افزاری EXCEL ترسیم شد.

نتایج و بحث

اندازه ذرات کاه گندم

بررسی ذرات کاه گندم توسط میکروسکوپ نوری نشان داد که محدوده طول ذرات با مش ۴۰، $930\ \mu\text{m}$ - $600\ \mu\text{m}$ ؛ با مش ۱۰۰، $650\ \mu\text{m}$ - $390\ \mu\text{m}$ ؛ و با مش ۱۴۰، $220\ \mu\text{m}$ - $160\ \mu\text{m}$ است. همچنین، محدوده قطر ذرات با مش ۴۰، $230\ \mu\text{m}$ - $130\ \mu\text{m}$ ؛ با مش ۱۰۰، $130\ \mu\text{m}$ - $60\ \mu\text{m}$ ؛ و با مش ۱۴۰، $60\ \mu\text{m}$ - $40\ \mu\text{m}$ است. شکل ۱، الیاف کاه گندم را با بزرگنمایی ۱۰ نشان می‌دهد.

نمونه‌های موردنظر برای انجام آزمون‌های مکانیکی تهیه شوند.

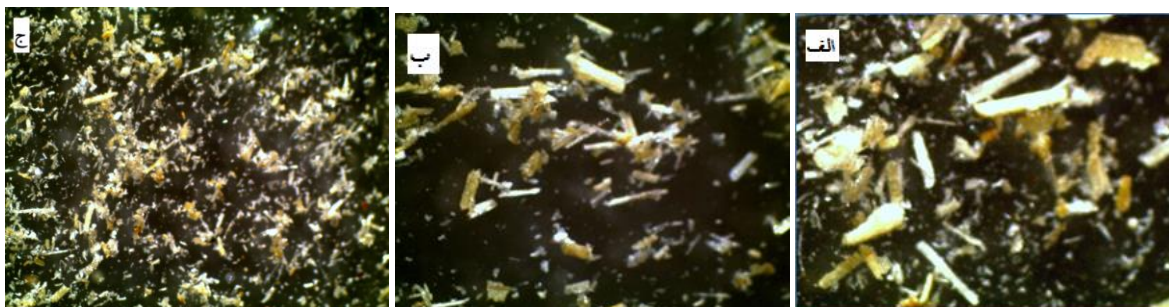
برای تعیین اندازه الیاف کاه گندم و نسبت ظاهری آن، ابتدا، سوسپانسیونی از ۵۰ ذره کاه گندم و آب، در لوله آزمایش تهیه شد. سپس، مقداری از آن روی سطح یک لامل شیشه‌ای قرار گرفت طوری که ذرات، تماسی با یکدیگر نداشته باشند و به وسیله میکروسکوپ دوچشمی بیولوژی (Olympus مدل Cx31، ژاپن) با بزرگنمایی 10x بررسی شد. همچنین از ذرات با استفاده از فوتو استریو میکروسکوپ (Leica Ez40، آمریکا) مجهز به دوربین دیجیتال با بزرگنمایی 10x و 30x عکس گرفته شد. در این بزرگنمایی‌ها مشاهده تعداد زیادی از الیاف به صورت هم‌زمان امکان‌پذیر است.

به منظور اندازه‌گیری خواص کششی (چگونگی مقاومت نمونه‌ها به تداوم کشش) طبق استاندارد ASTM، نمونه دمبلی تهیه‌شده از دستگاه تریق، بین دو فک دستگاه بافت‌سنج اینستران (مدل H5KS) قرار داده شد. هنگامی که فک‌ها نمونه را می‌کشند، جایی که نمونه شکسته شود، نشان‌دهنده میزان مقاومت چندسازه به کشش است [۲۱]. همچنین، برای ارزیابی تأثیر وجود الیاف در ماده زمینه پلی اتیلن، مقاومت به خمش^۱ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مقاومت به خمش، حداکثر تنشی است که به نمونه وارد می‌شود تا زمانی که تغییر شکل دهد. مقدار این شاخص نیز بر مبنای پاسکال یا مگا پاسکال بیان می‌شود. این آزمون، طبق استاندارد ASTM توسط بافت‌سنج اینستران انجام شد. به این صورت که نمونه‌ها در یک دهانه حفاظت‌کننده قرار گرفتند و بار در سرعت مشخص به قسمت مرکزی آن اعمال شد، نمونه کمی قوس گرفت و تغییر شکل رخ داد. آزمون تا زمان شکست نمونه‌ها ادامه یافت [۲۲]. علاوه بر این، به منظور مطالعه ناحیه بینابینی ذرات کاه گندم با پلی اتیلن سبک، تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی (200X) تهیه شد.

آزمون جذب آب نیز برای بررسی میزان جذب آب نمونه‌های کامپوزیت با اندازه ذرات مختلف، با استفاده از استاندارد ASTM D570 - 98 انجام گرفت [۲۳]. بدین منظور، نمونه‌های با طول ۱۰۰، عرض ۱۵ و ضخامت ۵

² Duncan

¹ Flexural Strength



شکل ۱- ذرات کاه گندم با مش ۴۰ (الف)، مش ۱۰۰ (ب) و مش ۱۴۰ (ج) با بزرگنمایی ۱۰

می‌یابد؛ بنابراین، بالاترین میزان L/D مربوط به ذرات با مش ۴۰، سپس ذرات با مش ۱۰۰ و کمترین میزان مربوط به ذرات با مش ۱۴۰ است.

جدول ۱، میانگین طول، قطر و نسبت ظاهری (L/D) ذرات کاه گندم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، با افزایش اندازه ذرات، میزان L/D افزایش

جدول ۱- تیمارهای مورد مطالعه برای رنگ‌بری

تیمارها (مش‌های مختلف)	میانگین طول (μm)	میانگین قطر (μm)	میانگین نسبت ظاهری (L/D)
۴۰	۷۳۵	۱۶۴	۴/۹۰
۱۰۰	۴۷۵/۵	۹۱/۶۶	۴/۷۰
۱۴۰	۲۰۵	۵۱/۲۵	۴/۰۷

شاهد اختلاف معنی‌دار داشته ولی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

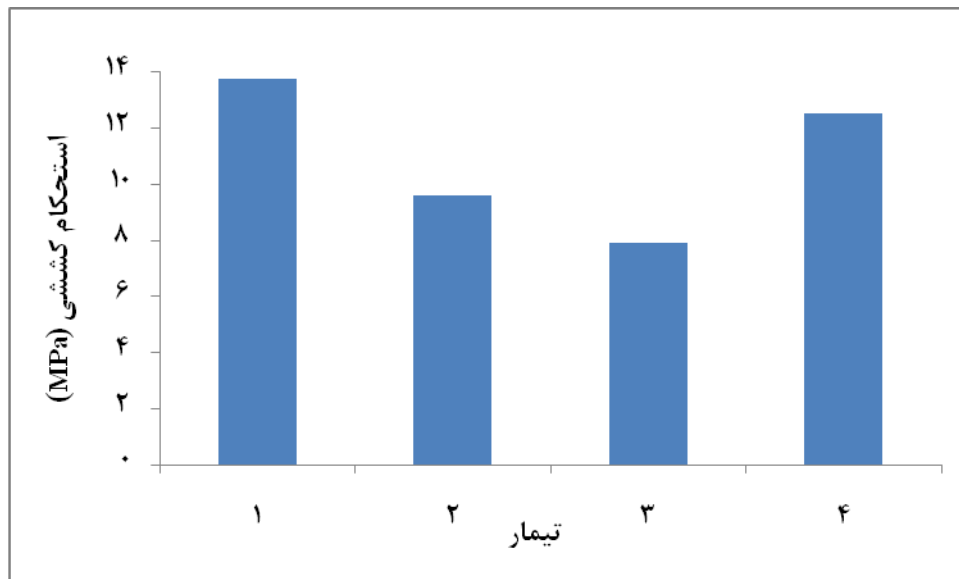
همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، بیشترین میزان مقاومت کششی به چندسازه با مش ۴۰ (درشت‌ترین اندازه) و کمترین آن به چندسازه با مش ۱۴۰ مربوط می‌شود. این نتایج، با یافته‌های Zaini و همکاران (۱۹۹۶) [۱۲]، Kociszewski و همکاران (۲۰۱۲) [۱۶] و Gozdecki و همکاران (۲۰۱۱) [۲۵] مطابقت دارد. همچنین، با توجه به نتایج این پژوهش که مشخص شد الیاف با مش ۴۰، از طرفی بالاترین میزان نسبت ظاهری را دارند و از طرف دیگر، بیشترین مقاومت کششی را نشان می‌دهند، با نتایج Mignaeaut و همکاران (۲۰۰۸)، هم‌سو است. آن‌ها، بیان کردند که میزان نسبت ظاهری بالای پرکننده، باعث می‌شود که قسمت اعظم تنش‌های وارده به فاز پلیمری به فاز پرکننده منتقل شود و در نتیجه مقاومت کامپوزیت افزایش یابد [۱۹]. از آنجایی که اندازه ذرات بیانگر سطح مؤثر می‌باشند، هر قدر اندازه آن‌ها بزرگ‌تر باشد سطح مؤثر مجموع کمتر شده و در نتیجه به دلیل کاهش جاذبه سطحی ذرات

کشش

تأثیر اندازه ذرات کاه گندم با سه اندازه مش (۴۰، ۱۰۰، ۱۴۰) بر خواص مکانیکی چندسازه مورد نظر تجزیه و تحلیل آماری شد. مطابق بسیاری از مقالات، از جمله Stark و Berger (۱۹۹۷) [۱۳] و Verbeek (۲۰۰۳) [۲۴]، از مهم‌ترین عوامل در ویژگی‌های کامپوزیت‌ها، اندازه ذرات مواد پرکننده است، به این صورت که تغییر اندازه ذرات سبب بهبود مقاومت کشش می‌شود، تحلیل نتایج نشان داد که تأثیر اندازه ذرات بر مقاومت کششی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است. نتایج حاصل در شکل ۲، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین میزان مقاومت کششی به چندسازه با مش ۴۰ (درشت‌ترین اندازه) است که حتی میزان آن از نمونه شاهد هم بالاتر است؛ بنابراین، با افزایش اندازه ذرات، مقاومت کششی افزایش می‌یابد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز نشان داد که با افزایش اندازه ذرات، استحکام کششی افزایش می‌یابد، اما نمونه ۱ (مش ۴۰)، اختلاف معنی‌داری با شاهد ندارد. نمونه‌های ۲ و ۳ با

این اتصال مناسب، منجر به افزایش مقاومت کششی چندسازه می‌گردد.

نسبت به یکدیگر، تجمع و غیریکنواختی کاهش می‌یابد و از تمرکز تنش جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، با بزرگ‌تر شدن ذرات، نقش پلیمر در پوشش دهی آن‌ها بیشتر شده و



شکل ۲- تغییرات مقاومت کششی نمونه‌ها بر اساس اندازه ذرات کاه گندم (۱: مش ۴۰، ۲: مش ۱۰۰، ۳: مش ۱۴۰، ۴: شاهد)

کامپوزیت دارد، هر قدر نسبت ظاهری پرکننده بزرگ‌تر باشد، قدرت تقویت‌کنندگی آن بیشتر شده و سبب ایجاد کامپوزیت‌هایی با استحکام و سختی بالا می‌شود.

خمش

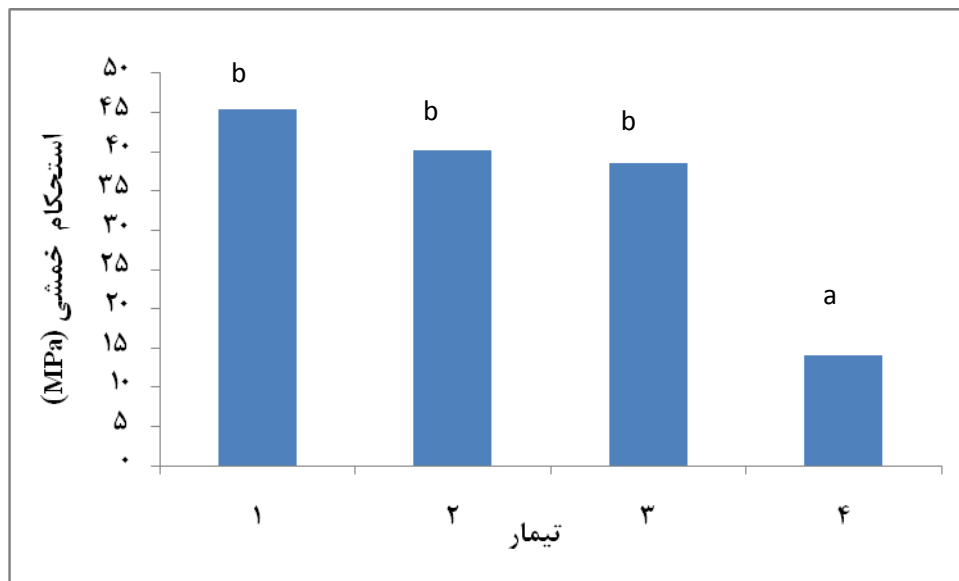
نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳) نشان داد که گرچه با افزایش اندازه ذرات میزان مقاومت خمشی افزایش می‌یابد؛ این تأثیر معنی‌دار نیست و نمونه‌های چندسازه با اندازه ذرات مختلف از نظر مقاومت خمشی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند اما با نمونه شاهد اختلاف داشتند طوری که نمونه شاهد دارای کمترین میزان مقاومت خمشی بود. بالاترین میزان مقاومت خمشی مربوط به نمونه ۱ است، یعنی نمونه‌ای که بزرگ‌ترین اندازه ذرات را دارد. ذرات با اندازه کوچک‌تر به علت سطح مخصوص بیشتر، تمایل به آگلومریزاسیون و تجمع دارند که در نتیجه مقاومت خمشی کمتر آن می‌شود [۲۷]. ذرات بزرگ‌تر می‌توانند سبب انتقال بهتر تنش از پلیمر به الیاف شوند [۲۸].

از طرفی اثر متقابل ضعیف بین الیاف و پلیمر سبب کاهش سطح مشترک آن‌ها می‌گردد که این مسئله موجب اتصالات و چسبندگی ضعیف بین الیاف و پلیمر می‌شود و چون با افزایش سطح مؤثر الیاف (اندازه ریزتر ذرات) مواد سازگار کننده کفایت نکرده و افت مقاومت به وجود می‌آید [۱۲، ۲۵]. ضمناً، با توجه به این‌که دامنه مقاومت کششی پلی اتیلن سبک برای کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی، بین ۴ MPa تا ۷۸/۶ است [۲۶]، داده‌های حاصل از مقاومت کششی نمونه‌های این پژوهش، از حداقل پذیرش مقاومت کشش برای صنعت بسته‌بندی، بالاتر است و در دامنه مذکور می‌گنجد.

با توجه به محاسبه نسبت ظاهری ذرات کاه گندم که بالاترین آن متعلق به نمونه‌های با مش ۴۰ بود، می‌توان گفت که این نمونه‌ها به دلیل داشتن نسبت ظاهری بیشتر، امکان انتقال تنش از پلیمر به ذرات افزایش و در نتیجه مقاومت کشش بهبود یافته است. این نتیجه با نتایج مطالعه دیگران از جمله Mingeault (۲۰۰۸) [۱۹] هم‌راستا است. نسبت L/D ، بیشترین تأثیر را در استحکام و سختی

کاه گندم و میزان MAPP را بر ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت کاه گندم/ پلی‌پروپیلن بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزودن کاه گندم تا ۴۰٪ و افزایش میزان MAPP تا ۱۰٪ مدول و استحکام کششی و خمشی افزایش می‌یابد، اما اندازه ذرات تأثیری بر مقاومت خمشی ندارد.

به‌طور کلی تمامی نمونه‌ها مقاومت خمشی بیشتری را نسبت به نمونه شاهد دارند که به علت حضور کاه گندم در آن‌ها است چون بخش پرکننده (کاه گندم) به‌عنوان بخش تقویت‌کننده عمل کرده و مقاومت خمشی را بهبود داده است. این نتیجه که نمونه‌ها با اندازه ذرات مختلف، اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند با یافته‌های Pan و همکاران (۲۰۰۸) [۲۹] مطابقت دارد. آن‌ها تأثیر مقدار و اندازه ذرات



شکل ۳- تغییرات مقاومت خمشی نمونه‌ها بر اساس اندازه ذرات کاه گندم (۱: مش ۴۰، ۲: مش ۱۰۰ و ۳: مش ۱۴۰)

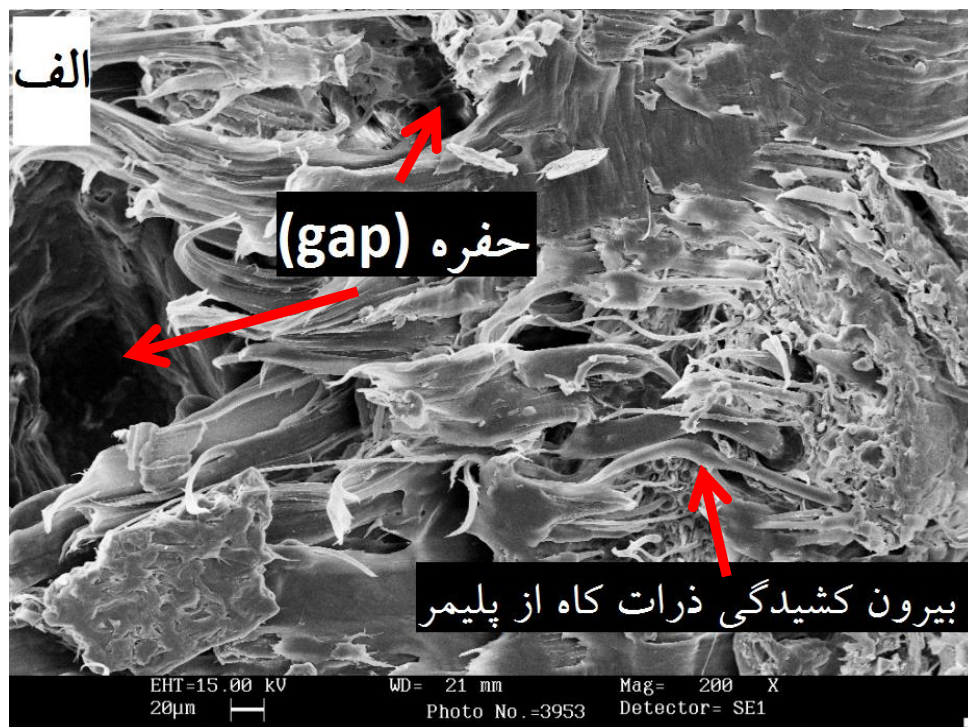
بیان‌کننده این است که درصد بالایی از ذرات کاه گندم از سطح پلیمر جدا شده و از آن بیرون کشیده شده‌اند که این امر سبب شکننده شدن و ویژگی‌های مکانیکی ضعیف این نمونه‌ها می‌شود. این موضوع ممکن است به این علت باشد که ذرات ریز تمایل به انباشتگی و کلوخه‌ای شدن^۴ دارند. انباشتگی ذرات کاه، سبب ایجاد مناطق غنی از کاه گندم می‌شود که مستعد ترک‌های ریزی هستند و در این صورت بین ذرات حفراتی ایجاد می‌شود در نتیجه هیچ باری از شبکه به ذرات کاه منتقل نمی‌شود که منجر به ویژگی‌های مکانیکی ضعیف چندسازه‌ها می‌گردد [۳۰].

بررسی ریخت‌شناسی (مورفولوژی)

اتصال بین پرکننده و پلیمر تأثیر زیادی بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه دارد. وجه مشترک بهتر بین پرکننده/ پلیمر، سبب عملکرد مکانیکی نهایی بهتر چندسازه می‌شود. به همین دلیل، به‌منظور مطالعه ناحیه بینابینی ذرات کاه گندم با پلی‌اتیلن سبک، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگنمایی (200X) تهیه شد (شکل‌های ۴ و ۵) و ملاحظه گردید که نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی در تطابق با نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی است.

همچنین طبق نتایج SEM، با مشاهده سطح شکست نمونه حاوی ذرات ریز کاه (شکل ۴)، حفرات سیاه‌رنگی (gap) در سطح مشترک کاه گندم و پلیمر مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده اتصال ضعیف بین کاه و پلیمر است و

^۴ Agglomeration



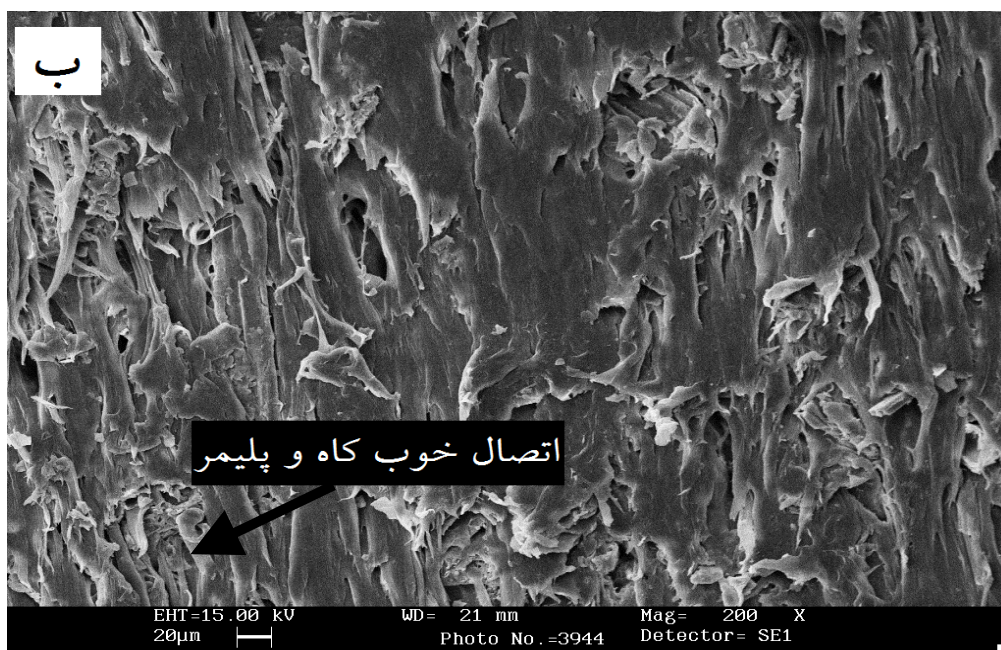
شکل ۴ - سطح شکست نمونه دارای کاه با اندازه مش ۱۴۰ با بزرگنمایی 200x

غوطه‌وری نمونه‌ها در آب مقطر، با سرعت زیادی افزایش یافت. سپس با گذشت زمان، سرعت جذب آب کم شد تا این‌که تقریباً در انتهای دوره نگهداری، به میزان حداکثر (اشباع) نزدیک گردید. جدول ۲، مقایسه میانگین درصد جذب آب نمونه‌های با اندازه مش مختلف را نشان می‌دهد. مقادیر بر اساس میانگین \pm انحراف از معیار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر سطر بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ذرات کاه با پلی اتیلن اتصالات قوی دارند و پلیمر به خوبی ذرات کاه را در بر گرفته است که این اتصال خوب به علت اندازه بزرگ ذرات است. چون ذرات با اندازه بزرگتر سبب انتقال تنش به شبکه پلیمری گردیده و تمرکز تنش را کاهش می‌دهد و همچنین با افزایش اندازه ذرات، توزیع ذرات در شبکه پلیمری بهتر صورت می‌گیرد و در نتیجه سبب ایجاد اتصالات بهتر می‌شود [۲۵].

جذب آب

نتایج نشان داد که میزان جذب آب در ابتدای زمان



شکل ۵- سطح شکست نمونه دارای کاه با اندازه مش ۴۰ با بزرگنمایی 200x

جدول ۲- مقایسه میانگین درصد جذب آب نمونه‌ها

تیمار	افزایش وزن (%)
مش ۴۰	۶/۴۸ ± ۲/۷۳ b
مش ۱۰۰	۶/۶۱ ± ۲/۷۴ c
مش ۱۴۰	۶/۷۴ ± ۲/۷ d
شاهد	۰/۴۰۲ ± ۰/۴۳ a

در معرض واکنش قرار می‌گیرد افزایش یافته و در نتیجه کامپوزیت‌ها آب بیشتری را جذب می‌کنند. همچنین می‌توان گفت که با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات و در نتیجه افزایش سطح مخصوص آن‌ها، آگلومریزاسیون یا تجمع ذرات رخ می‌دهد و همین توزیع ناهمگن سبب افزایش جذب آب کامپوزیت می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات Ichazo و همکاران (۲۰۰۱) [۳۱] و Onuegbu و همکاران (۲۰۱۱) [۳۲]، با کاهش اندازه ذرات پرنکننده، مقدار جذب آب کامپوزیت‌ها افزایش می‌یابد. نتیجه پژوهش حاضر با این نتایج، مطابقت دارد. اما، برخلاف این نتایج، Zaini و همکاران (۱۹۹۶) [۱۲]، Chen و همکاران (۲۰۰۶) [۳۳]، Migneault و همکاران (۲۰۰۹) [۳۴] انجام شده است، اعلام کرده‌اند که با افزایش اندازه ذرات، میزان جذب آب افزایش می‌یابد.

مقایسه درصد جذب آب بین تیمارها با اندازه ذرات مختلف طبق آزمون دانکن نشان داد که بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد و نمونه‌های با اندازه ذرات ریزتر (مش بالاتر)، جذب آب بیشتری را در مقایسه با نمونه‌های دیگر داشتند طوری که نمونه حاوی مش ۱۴۰ بیشترین میزان جذب آب و نمونه شاهد کمترین میزان جذب آب (تقریباً صفر) را داشت. به عبارت دیگر، نمونه شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین میزان جذب در زمان‌های مختلف نگهداری نشان نداد. نمونه با مش ۴۰، در گروه b قرار دارد و بنابراین، نزدیک‌ترین گروه به نمونه شاهد است که در گروه a قرار دارد. از این رو، بهترین نمونه از نظر مقاومت به جذب آب است.

ممکن است علت افزایش میزان جذب آب با کاهش اندازه ذرات، به این دلیل باشد که با کاهش اندازه ذرات، سطح مخصوص آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، سطحی که

اتیلن مخلوط شد تا چندسازه کاه گندم/پلی‌اتیلن تهیه گردد. در این مطالعه، تأثیر اندازه ذرات کاه گندم بر خواص مکانیکی و جذب آب چندسازه حاصل بررسی گردید. نتایج نشان داد که اندازه ذرات ماده پرکننده و به تبع آن مقدار نسبت ظاهری (L/D)، عوامل مؤثری در ویژگی‌های مکانیکی و جذب آب چندسازه حاصل هستند. به‌طور کلی، اندازه ذرات تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی چندسازه داشت، به‌طوری‌که با افزایش اندازه ذرات کاه گندم و نسبت ظاهری بیشتر، مقاومت کششی نهایی چندسازه افزایش یافت. با وجود آنکه با افزایش اندازه ذرات (و نسبت ظاهری بیشتر)، مقاومت خمشی افزایش پیدا کرد، تأثیر آن معنی‌دار نبود. از نظر میزان جذب آب، ذرات ریزتر با نسبت ظاهری کمتر، جذب آب بیشتری را در مقایسه با ذرات بزرگ‌تر داشتند. به‌طور کلی، در این مطالعه، نمونه با مش ۴۰، بهترین خواص را از نظر مقاومت مکانیکی بیشتر و جذب آب کمتر نشان داد.

علیرغم بحث‌های مخالف و موافق در مورد تأثیر اندازه ذرات مواد پرکننده بر خاصیت جذب آب چندسازه‌ها، به دلیل هم‌سویی ویژگی‌های مورد مطالعه در این پژوهش مشتمل بر توزیع ذرات، خواص مکانیکی و جذب آب، استفاده از نمونه با اندازه ذرات درشت‌تر (مش ۴۰)، پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

صنعت بسته‌بندی از جمله صنایعی است که استفاده از مواد پلیمری مصنوعی (سنتزی) سهم بسزایی در بخش‌های مختلف آن دارد و اهداف گوناگونی را دنبال می‌کند. در حال حاضر، از طرفی به دلیل مشکلات ناشی از عدم زیست تخریب‌پذیری این مواد، و از طرف دیگر به علت مدیریت تجمع ضایعات آن‌ها در محیط‌زیست، توجه جهانی به کاهش سهم این مواد در صنعت معطوف شده است. از این‌رو، با هدف کاهش سهم ماده پلیمری پلی‌اتیلن در صنعت بسته‌بندی، کاه گندم به‌عنوان پرکننده با پلی-

منابع

- [1] Enayati, A.A., Hosseinaei, O., Wang, S., Mirshokraie, S.A. and Tajvidi, M., 2009. Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Prepared from Hemicellulose-extracted Wood Flour. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 22 (3): 171-181. (In Persian).
- [2] Cerpakovska, D., Kalnins, M., Tupureina, V. and Dzene, A., 2009. Characterization of various kinds of paper as reinforcement for biodegradable polymer composites. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 58 (1): 40-44.
- [3] Zahedi, Y., Sedaghat, N. and Ghanbarzadeh, B., 2010. Effects of palmitic fatty acid on mechanical, thermal and permeability of pistachio edible film. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6 (2): 91-99. (In Persian).
- [4] Kord, B., Sheikholeslami, A., Najafi, A., 2016. A Study on Creep Behavior of a Wood Flour-Polypropylene-Nanoclay Hybrid Composite. *Iranian journal of wood and paper industries*, 7(1): 1-12. (In Persian).
- [5] Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S. and Rosa, M., 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19: 634-643.
- [6] Rouhani, M., kord, B., 2017. Fire performance, mechanical strength and dimensional stability of wood flour-polyethylene composites under the influence of different fire retardants. *Iranian journal of wood and paper industries*, 8(1): 145-158. (In Persian).
- [7] Rezaei, M., Tajeddin, B. and Mohammadi Sani, A., 2011. A study on the effect of different compatibilizers on mechanical properties of wheat straw-low density polyethylene (LDPE) biocomposites. *Journal of Food Science and Technology*, 3 (2): 1-9. (In Persian).

- [8] Moradian, M.H., Jahan Latibari, A., Resalati, H. and Fakhrian, A., 2003. Investigation on CMP pulping of wheat straw. *Iranian Journal of Natural Resources*, 56 (4): 469-480. (In Persian).
- [9] Rezaei Niaraki, P., Jahan Latibari, A., Roohnia, M. and Tajdini, A., 2014. The influence of fiber lignin content on mechanical properties of wood fiber-polypropylene composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29 (1): 1-11. (In Persian).
- [10] Yue, X. and Zou, X., 2011. Improved interfacial bonding of pvc/wood-flour composites by lignin amine modification. *Bio Resources*, 6(2): 2022-2034.
- [11] Xanthos M., 2010. *Functional fillers for plastics*, 2nd ed., updated and Enlarged, Wiley-Vch, 531 p.
- [12] Zaini, M.J., Fuad, M.Y.A., Ismail, Z., Mansor, M.S. and Mustafah, J., 1996. The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites. *Polymer International*, 40 (1): 51-55.
- [13] Stark, N. and Berger, M.J., 1997. Effect of particle size on properties of wood-flour reinforced polypropylene composites. In: *Proceedings of Fourth international conference on woodfiber/plastic composites*. May 12-14 Forest Product Society, Madison, WI, USA, p 134-143.
- [14] Bouafif, H., Koubaa, A., Perré, P. and Cloutier, A., 2009. Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites, *Composites*, 40 (12): 1975–1981.
- [15] Gorjani, F. and Omidvar, A., 2006. Investigation on manufacturing process and mechanical properties wheat straw / recycled polyethylene composite. *Pajouhesh & Sazandegi*, 72: 84-88. (In Persian).
- [16] Kociszewski, M., Gozdecki, C., Wilczynski, A., Zajchowski, S. and Mirowski, J., 2012. Effect of industrial wood particle size on mechanical properties of wood-polyvinyl chloride composites. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70:113–118.
- [17] Rafighi, A., Dorostkar, A. and Madhoushi, M., 2014. Investigation on mechanical properties of composite made of sawdust and high density Polyethylene. *International Journal of Lignocellulosic Products*, 1 (2): 134-141.
- [18] Campbell, F.C., 2010. *Structural composite materials*. ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 630 p.
- [19] Migneault, S., Koubaa, A., Erchiqui, F., Chaala, A., Englund, K., Krause, C. and Wolcott, M., 2008. Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 110(2): 1085–1092.
- [20] Tajeddin, B., 2014. Cellulose-based polymers for packaging applications, in "Lignocellulosic polymer composites", Vijay Kumar Thakur (Ed.). 477–498, Scrivener Publishing LLC.
- [21] Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM Standard D 638–03, 2005.
- [22] Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM Standard, D 790-07, 2008.
- [23] Standard test methods for water absorption of plastics. ASTM Standard, D 570-98, 2010.
- [24] Verbeek, J., 2003. The influence of interfacial adhesion, particle size and size distribution on the predicted mechanical properties of particulate thermoplastic composites. *Materials Letters*, 57 (13-14): 1919-1924.
- [25] Gozdecki, C., Kociszewski, M., Wilczyński, A. and Zajchowski, S., 2011. Mechanical properties of wood-polymer composites with different polymers. *Forestry and Wood Technology*, 74: 82-85.

- [26] Sain, M. and Panthapulakkal, S., 2004. Green fiber thermoplastic composites, in "Green Composites, Polymer Composites and the Environment", Baillie, C. (Ed.). 181-206. CRC Press.
- [27] Zimmermann, M.V.G., Turella, T.C., Santana, R.M.C. and Zattera, A.J., 2014. The influence of wood flour particle size and content on the rheological, physical, mechanical and morphological properties of EVA/wood cellular composites. *Materials and Design*, 57: 660–666.
- [28] Karmaker, A. and Prasad, A., 2000. Effect of design parameters on the flexural properties of fiber-reinforced composites. *Journal of Materials Science Letters*, 19(8): 663-665.
- [29] Pan, M., Zhou, D., Bousmina, M. and Zhang, S.Y., 2008. Effects of wheat straw fiber content and characteristics, and coupling agent concentration on the mechanical properties of wheat straw fiber-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 113(2): 1000–1007.
- [30] Zhang, W., Chen, J., Dadi Bekele, L., Liu, Y., Duns, J.G. and Jin, L., 2016. Physical and Mechanical Properties of Modified Wheat Straw-Filled Polyethylene Composites. *BioResources*, 11(2): 4472- 4484.
- [31] Ichazo, M.N., Albano, C., González, J., Perera, R. and Candal, M.V., 2001, Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. *Composite Structures*, 54 (2–3): 207–214.
- [32] Onuegbu, C.G. and Igwe, I.O., 2011. The Effects of filler contents and particle sizes on the mechanical and end-use properties of snail shell powder filled polypropylene. *Materials Sciences and Application*, 2(7): 811-817.
- [33] Chen, H.C., Chen, T.Y. and Hsu, C.H., 2006. Effects of wood particle size and mixing ratios of HDPE on the properties of the composites. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64(3): 172–177.
- [34] Migneault, S. Koubaa, A. Erchiqui, F. Chaala, A. Englund, K. and Wolcott, M P., 2009. Effects Of Processing Method And Fiber Size On The Structure And Properties Of Wood–Plastic Composites. *Composites*, 40 (1): 80-85.

The Effect of wheat straw particle size on the mechanical and water absorption properties of wheat straw/low density polyethylene biocomposites for packaging applications

Abstract

Natural composites with biodegradability properties can be used as a renewable alternative for replacing conventional plastics. Thus, to reduce the plastics applications in the packaging industry, biocomposites were produced containing wheat straw (with 40, 100, 140 mesh) as a natural biodegradable composite and low density polyethylene (LDPE) as a common synthetic polymer in the packaging industry. The effect of wheat straw particle size on the mechanical and water absorption properties of these biocomposites was studied. Polyethylene-graft-maleic anhydride was used as a compatibilizer material. Morphology of wheat straw flour was studied by optical microscopy to obtain the aspect ratio (L/D). The tensile and flexural tests were applied for determining the mechanical properties and scanning **electron** microscope (SEM) was used to assess particle distribution and sample structure. The water absorption of the samples was calculated by weight differences. The results indicated that the particle size of wheat straw and the L/D amount significantly affected the tensile strength and water absorption of the samples. However, the effect of wheat straw particle size on the flexural strength was not significant. Overall, it can be concluded that by increasing the particle size of the filler (wheat straw), biocomposites with better tensile strength and less water absorption can be prepared.

Keywords: biocomposite, mechanical and water absorption properties, low density polyethylene, particle size, wheat straw.

B. Tajeddin^{1*}
M. Hajibagher Naeeni²

¹ Associate Prof., Agricultural engineering research institute (AERI), Agricultural research, Education and extension organization (AREEO), Karaj, Iran

² Msc. in Food Science & Technology, Islamic azad university- science and research branch, Tehran, Iran

Corresponding author:
behjat.tajeddin@yahoo.com

Received: 2016/07/14
Accepted: 2016/12/31