بررسی ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت ساخته شده از پلی‌پروپیلن و آرد چوب کنوکارپوس

امیر محمدی‌نیا[۱]، پریزاد شیخی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

* نویسنده مسئول: parizad.sheikhi@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

چکیده

در تحقیق حاضر، امکان ساخت کامپوزیت از پلی‌پروپیلن و آرد چوب کنوکارپوس مورد بررسی قرار گرفته است. کنوکارپوس ارکتوس[۱] یک گونه وارداتی است که در استان‌های جنوبی کشور مانند خوزستان کشت شده است و به عنوان یک منبع لیگنوسلولزی، پتانسیل آن تاکنون در ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک بررسی نشده است. کامپوزیت‌های حاوی ۰ ، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی آرد چوب و ۴ درصد وزنی جفت‌کننده انیدرید مالئیک پیوند شده با پلی‌پروپیلن به روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. سپس اثر مقدار آرد چوب با نمونه‌های پلی‌پروپیلن خالص مقایسه گردید. بر اساس نتایج، با افزایش نسبت آرد چوب، دانسیته و مقاومت‌های مکانیکی، به جز مقاومت به ضربه، افزایش معنی‌داری نشان دادند، ولیکن بین فرآورده‌های حاوی ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی آرد چوب تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین دانسیته و مقاومت‌های مکانیکی در فرآورده‌های حاوی ۴۰ درصد وزنی آرد چوب حاصل گردید. مقاومت به ضربه با افزودن ۱۰درصد آرد چوب کاهش چشمگیری داشت و افزایش آرد چوب از ۱۰ تا ۴۰ درصد تاثیر معنی‌داری نداشت. از تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست نمونه‌ها برای بررسی نحوه توزیع ذرات آرد چوب در ماتریس پلیمر هم استفاده شد. در این تصاویر هم همپوشانی الیاف توسط پلیمر و هم تجمع آرد چوب قابل مشاهده است.

کلمات کلیدی: کامپوزیت چوب پلاستیک، کنوکارپوس، پلی‌پروپیلن، ویژگی‌های مکانیکی

مقدمه

نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از افزایش مصرف پلیمرها و کامپوزیت‌های مصنوعی، موجب تمرکز تحقیقات سال‌های اخیر بر جایگزینی بخشی از پلیمرهای مصنوعی با پرکننده‌های طبیعی و تولید فرآورده چوب‌پلاستیک شده است[۱]. چوب‌پلاستیک، فرآورده مرکبی است که از اختلاط پلیمرهای گرمانرم مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل‌کلراید و غیره و همچنین پرکننده‌های آلی، معدنی و طبیعی تشکیل شده است و با توجه به روش ساخت، پرکننده‌ها می‌توانند ۱۰ تا ۸۰ درصد وزنی فرآورده را تشکیل دهند[۲-۵]. مزایای پرکننده‌های طبیعی شامل آرد یا الیاف حاصل از گیاهان چوبی یا غیرچوبی نظیر کتان، بامبو، کاه نسبت به پرکننده‌های معدنی نظیر رس، تالک، آهک و الیاف مصنوعی نظیر شیشه، کربن دارای فراوانی، تجزیه‌پذیری، عدم سایش ماشین‌آلات، عدم تولید مواد سمی، دانسیته پایین، نسبت مطلوب ابعاد الیاف و مدول کششی و خمشی بالا است[۶ و ۳]. به‌رغم مزایای فوق، پرکننده‌های طبیعی دارای معایبی نظیر ناسازگاری با زمینه پلیمری، تمایل به تشکیل کلوخه در حین فراوری، آب‌دوستی و دمای تخریب حرارتی پایین می‌باشند[۸ و ۷]. ناسازگاری بین پرکننده‌های طبیعی و ماده زمینه‌ی پلیمری به چسبندگی ضعیفی در سطح مشترک بین الیاف و پلیمر می‌انجامد که باعث عدم انتقال تنش از ماده زمینه به الیاف چوبی می‌گردد و این امر به افت خواص مکانیکی و فیزیکی فراورده می‌انجامد[۹].

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی روی ساخت کامپوزیت با پرکننده‌های طبیعی مختلف انجام شده است. ملینا و همکاران[۱۰] در بررسی امکان استفاده از پوست قهوه لیگنین‌زدایی شده با هیدروکسیدپتاسیم به عنوان پرکننده در ساخت کامپوزیت به نسبت وزنی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد، گزارش کردند که در فرآورده‌ی حاصل، مقاومت کششی و خمشی، کاهش و

[1] Conocarpus Erectus

مقاومت به ضربه افزایش یافت. لیل و همکاران[۱۱] در بررسی ویژگی‌های کامپوزیت پلی‌پروپیلن -پودر پوسته قهوه به نسبت وزنی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد و مالئیک‌انیدرید جفت شده به پلی‌پروپیلن (۱۰ درصد وزنی پوسته قهوه) گزارش کردند که مصرف ۴۰ درصد پرکننده باعث افزایش خواص خمشی و مدول کششی، و کاهش کرنش شکست، مقاومت کششی و ضربه گردید. هایلو و همکاران[۱۲] در بررسی اثر تقویت کامپوزیت پلی‌پروپیلن با پرکننده، الیاف موز[1] تیمار قلیایی شده با هیدروکسیدپتاسیم و سپس ژل‌آلوئه‌ورا گزارش کردند که ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های حاوی الیاف تیمار شده با ژل‌آلوئه‌ورا بهتر از نمونه‌های تیمار نشده با ژل‌آلوئه‌ورا بود، و افزودن ۳۰ درصد پرکننده حداکثر مقاومت را به همراه داشت. جمالی‌راد و حسینی[۱۳] در بررسی امکان استفاده از بخش‌های چوبی و دورریز گیاه استبرق به عنوان ماده لیگنوسلولزی در ساخت کامپوزیت بر پایه پلی‌پروپیلن گزارش کردند که با افزایش نسبت آرد استبرق تا ۵۰ درصد، مدول کششی و خمشی افزایش، مقاومت به ضربه کاهش یافت، ولی تغییر معنی‌داری در مقاومت کششی و خمشی کامپوزیت‌ها مشاهده نگردید. نوربخش و همکاران[۸] در بررسی ویژگی‌های مکانیکی نانوکامپوزیت چوب پلاستیک حاوی پنج نوع پسماند سلولزی: باگاس، ساقه ذرت، ساقه برنج، ساقه آفتابگردان و ساقه کلزا گزارش کردند که افزودن پلیمرهای سلولزی خواص مکانیکی را بهبود بخشید و اثر باگاس از سایر پرکننده‌ها بیشتر بود. صفدری و همکاران[۱۴] در بررسی ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت پلی‌پروپیلن-آرد چوب و پوست صنوبر اظهار داشتندکه کامپوزیت پلی‌پروپیلن–آرد چوب صنوبر بیشترین مقاومت‌های کششی و خمشی به استثنای مقاومت به ضربه را داشت و ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت حاوی پرکننده آرد پوست صنوبر از پلی‌پروپیلن خالص هم بیشتر بود. بی‌اذیت و همکاران[۱۵] در بررسی امکان بکارگیری آرد نخل خرما در ساخت کامپوزیت پلی‌پروپیلن بیان داشتند که مصرف آرد نخل خرما تا نسبت ۳۰ درصد، ویژگی‌های مقاومتی را بهبود می‌بخشد، ولی افزایش نسبت آن به ۴۰ و ۵۰ درصد باعث کاهش ویژگی‌های مکانیکی می‌گردد. در سال‌های اخیر، اجرای طرح توقف بهره‌برداری با هدف صیانت از جنگل‌ها و متعاقبا کمبود منابع چوبی و به توسعه کاشت درختان تند رشد انجامید. درخت کنوکارپوس ارکتوس که به نام‌های درخت چنار یا حرای سفیدچوب دکمه‌ای هم شناخته می‌شود، یکی از گونه‌های وارداتی بسیار بادوام و تند رشد سازگار با اقلیم جنوب ایران است به طوری‌که در شرایطی مانند دمای بالا، زهکشی ضعیف، خاک فشرده، هوای آلوده و آب شور هم دوام می‌آورد[۱۶]. ویژگی‌های شیمیایی و آناتومی چوب کنوکارپوس خوزستان در جداول (۱) و (۲) آورده شده است[۱۷]. جاوید و همکاران[۱۸] با آنالیز ترکیبات شیمیایی و مورفولوژی چوب کنوکارپوس، آن را به عنوان یک تقویت‌کننده مناسب برای ساخت کامپوزیت پیشنهاد دادند. این تحقیق با هدف بررسی امکان استفاده از آرد چوب کنوکارپوس بدون هرگونه تیماری به عنوان پرکننده در ساخت کامپوزیت چوب-پلی‌پروپیلن انجام شده است.

جدول ۱: مقدار ترکیبات شیمیایی چوب کنوکارپوس به درصد[۱۷]

سلولز	همی‌سلولز	لیگنین	مواد استخراجی	خاکستر
۳۷/۹۶	۲۷/۲۳	۲۶/۳۶	۶/۴۳	۲/۰۲

جدول ۲: ویژگی‌های آناتومیکی چوب کنوکارپوس[۱۷]

میانگین طول فیبر (میکرومتر)	میانگین قطر فیبر (میکرومتر)	میانگین قطر حفره فیبر (میکرومتر)	میانگین ضریب انعطاف‌پذیری	میانگین ضریب لاغری	میانگین ضریب رانکل
۷۹۶/۴۷	۱۷/۸۲	۷/۸	۵۱	۴۴/۷	۴۹

مواد و روش‌ها

برای ساخت کامپوزیت مورد مطالعه در این تحقیق از پلی‌پروپیلن با نام تجاری Z30S محصول شرکت پتروشیمی مارون، در قالب ماده زمینه و انیدرید مالئیک پیوند شده با پلی‌پروپیلن تهیه شده از شرکت بوعلی سینا به عنوان جفت‌کننده استفاده

[1] Ensete Ventricosum

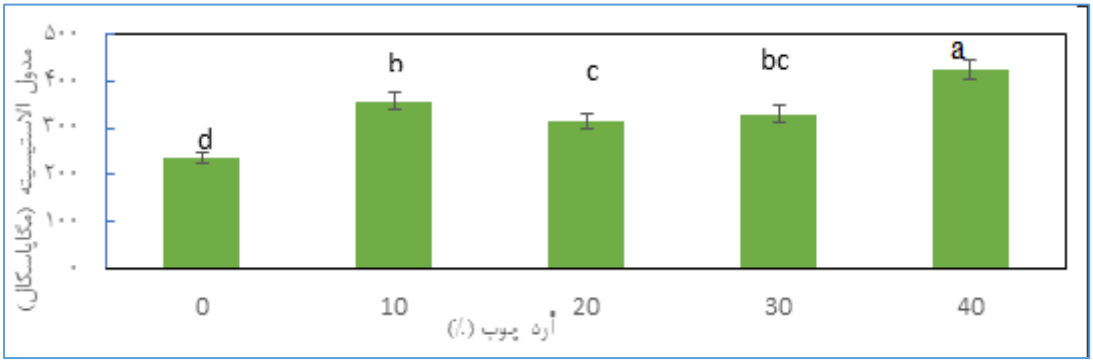
شد. پرکننده آرد چوب از چوب درخت کنوکارپوس واقع در شهر دزفول تهیه گردید. برای این منظور، ابتدا چوب خشک شده توسط دستگاه سه تیغه برقی به پوشال و سپس توسط آسیاب برقی به آرد تبدیل شد. آرد چوب با اندازه ذرات نسبتا یکنواخت (مش ۶۰+/۴۰-)، توسط الک آزمایشگاهی جداسازی گردید و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون تحت دمای ۲± ۱۰۳ درجه سانتی گراد گرمادهی شد.

اختلاط آرد چوب با پلی‌پروپیلن به نسبت وزنی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد در حضور انیدرید مالئیک پیوند شده با پلی‌پروپیلن به عنوان عامل جفت‌کننده به مقدار ۴ درصد وزن کل فراورده در دستگاه اکسترودر دو ماردونه غیرهمسوگرد مدل ۱۹۹۰ میلادی ساخت شرکت کولین آلمان به روش مذاب در دمای اختلاط ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش پیچ ۷۰ دور بر دقیقه انجام شد. سپس با دستگاه آسیاب نیمه‌صنعتی آلمانی مدل ویسر[1] نمونه‌های بی‌شکل حاصل از مخلوط‌ساز به گرانول تبدیل شدند. نمونه‌های آزمونی با روش قالب‌گیری تزریقی و با استفاده از دستگاه تزریق ساخت شرکت ایمن ماشین تهیه گردیدند. فشار تزریق ۱۲۰بار، دمای نازل ۱۸۰ درجه‌سانتی‌گراد و دمای قالب ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد، و زمان خنک شدن ۴۵ ثانیه تنظیم شده بود. نمونه‌ها با استفاده از مواد تهیه شده از مرحله اختلاط توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی ۱۲۵ گرمی ساخت شرکت ایمن ماشین با دمای سیلندر ۱۶۵ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار تزریقی ۹۰ بار ساخت شرکت اصلانیان مدل EM80 ساخته شدند. برای بررسی ویژگی‌های کامپوزیت آزمون‌های کشش، خمش، ضربه و دانسیته به ترتیب مطابق استانداردهای ASTM D638 ، ASTM D790، ASTM D256 و ISO 1183 انجام گرفت. برای مطالعه ریخت‌شناسی و کیفیت پراکنش ذرات چوب در ماده زمینه‌ی پلیمری از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل وگا[2] ساخت شرکت تسکان کشور جمهوری چک استفاده شد. تهیه عکس مطابق استاندارد ASTM F877-05 انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها هم با استفاده از نرم‌افزار SPSS (16.0) و آزمون آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام شد. همچنین گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

دانسیته

شکل (۱) مقادیر دانسیته چوب پلاستیک حاوی نسبت‌های مختلف آرد چوب را نشان می‌دهد. دانسیته یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی است که تاثیر زیادی روی کیفیت کامپوزیت می‌گذارد. محدوده‌ی دانسیته‌ی کامپوزیت‌ها در این تحقیق ۰/۱-۹۱۰/۰۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب است. افزودن ۱۰ تا ۲۰ درصد آرد چوب از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در دانسیته فرآورده چوب‌پلاستیک در قیاس با فرآورده پلیمر پلی‌پروپیلن خالص (۰/۸۹) ایجاد نکرد. بیشترین دانسیته در فرآورده‌ی حاوی ۴۰ درصد آرد چوب حاصل شد که حداکثر مقاومت‌های کششی و خمشی را هم نشان داد[۲۰ و ۱۹].



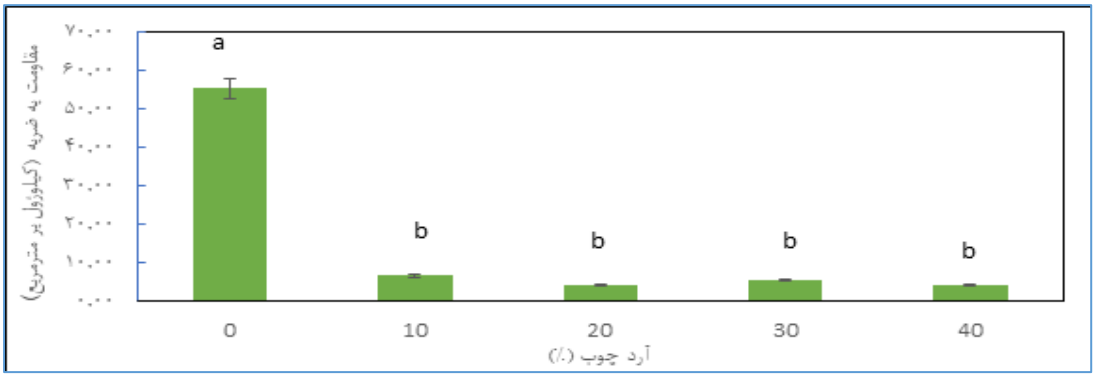
شکل ۱: اثر افزودن آرد چوب کنوکارپوس بر دانسیته چوب‌پلاستیک

[1] weiser
[2] Vega

ویژگی‌های مکانیکی

مقاومت به ضربه

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود بیشترین مقاومت به ضربه برای فرآورده پلی‌پروپیلن خالص اندازه‌گیری شد. افزودن آرد چوب در نسبت ۱۰ درصد کاهش معنی‌داری در این مقاومت ایجاد کرد، ولی افزایش نسبت وزنی آرد چوب از ۱۰ تا ۴۰ درصد تاثیر معنی‌داری نشان نداد.



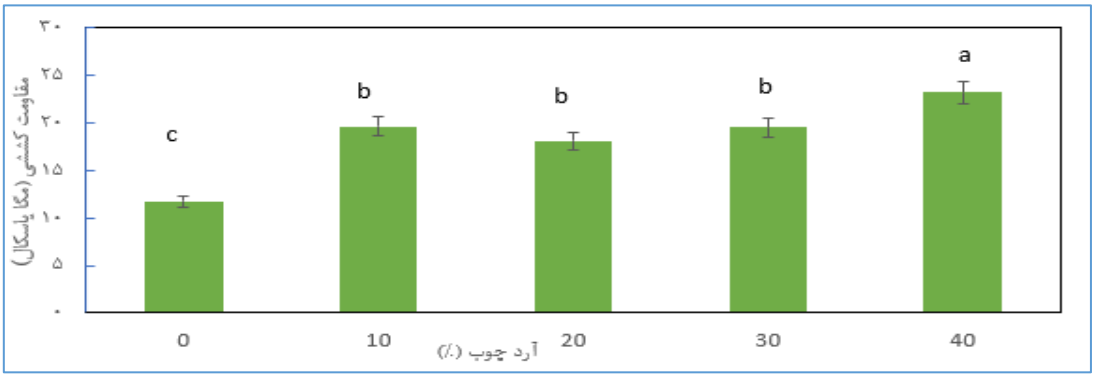
شکل ۲: اثر افزودن آرد چوب کنوکارپوس بر مقاومت به ضربه کامپوزیت

مقاومت به ضربه پایین چوب پلاستیک موجب محدودیت بکارگیری آن در کاربردهای مهندسی شده است. احتمالا محدودیت تحرک زنجیره و ناسازگاری ماده زمینه با پرکننده، از دلایل کاهش مقاومت به ضربه فرآورده می‌باشد[۲۱ و ۱۱]. همچنین، افزودن الیاف طبیعی با ایجاد نواحی تمرکز تنش به صرف انرژی کمتر در بروز ترک منتهی می‌گردد[۲۳ و ۲۲]. در تحقیقات صفدری و همکاران[۱۴] هم با افزودن آرد چوب و پوست صنوبر به پلی‌پروپیلن مقاومت به ضربه برخلاف مقاومت‌های کشش و خمش کاهش یافت. نتایج تحقیق شارما و مایتی[۲۴] در مورد تقویت پلی‌پروپیلن با آرد چوب و تیک همچنین نتایج تحقیق شارما و همکاران[۲۵] بر تقویت پلی‌پروپیلن با الیاف باگاس نیز موید نتایج تحقیق حاضر بود. بر این اساس، برخی محققین برای تقویت مقاومت به ضربه از ماده الاستومری مانند اتیلن پروپیلن داین مونومر[۲۷ و ۲۶] یا یک پلاستیسایزر مانند گلیسرول استفاده نمودند[۲۸].

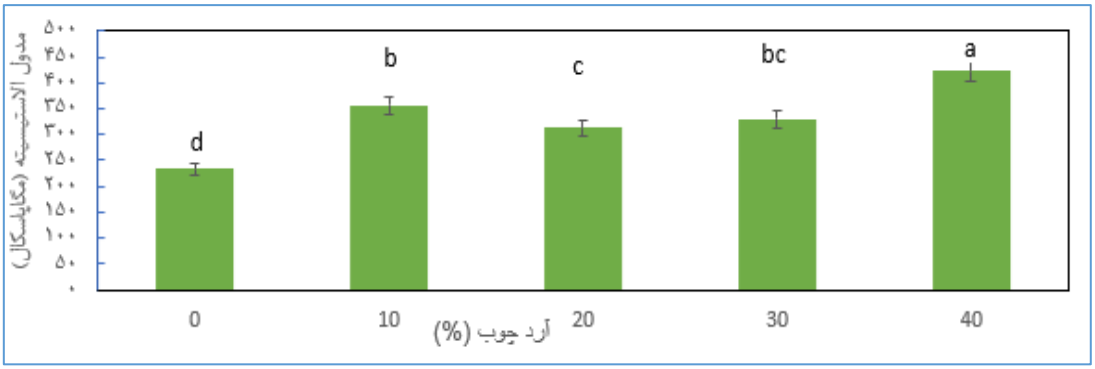
ویژگی‌های مقاومت کششی

شکل (۳) مقاومت و مدول کششی کامپوزیت‌های تقویت شده با آرد چوب کنوکارپوس را در مقایسه با پلیمر خالص نشان می‌دهد. با افزودن پرکننده، ویژگی‌های مذکور بهبود یافت و بیشترین مقدار مقاومت و مدول کششی در فرآورده‌ی حاوی نسبت وزنی ۴۰ درصد پرکننده حاصل گردید و تفاوت معنی‌داری بین این نسبت با سایر نسبت‌های پرکننده مشاهد شد. مقاومت کششی کامپوزیت‌های حاوی نسبت وزنی ۲۰،۱۰ و ۳۰ درصد آرد چوب اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند.

در کامپوزیت چوب پلاستیک، پلاستیک نقش چسب را برای اتصال ذرات چوبی به عهده دارد که باعث بهبود مقاومت کششی کامپوزیت می‌شود[۲۹]. توزیع یکنواخت پرکننده در زمینه پلیمری نیز منجر به انتقال یکنواخت تنش از پرکننده به پلیمر می‌شود[۳۰]. همچنین جایگزینی بخشی از پلیمر با آرد چوب دارای خواص ساختاری و کشسانی بالاتر موجب افزایش مقاومت کششی کامپوزیت می‌شود[۳۲ و ۳۱]. به عبارت دیگر، مقاومت کششی کامپوزیت هم به اجزای سازنده آن (زمینه و پرکننده) و هم به فصل مشترک بین آنها بستگی دارد[۳۳]. با افزایش مدول‌الاستیسیته که تغییر شکل در حد الاستیک را نشان می‌دهد، خم‌پذیری نمونه کمتر و استحکام بیشتر خواهد شد. از طرف دیگر بین مدول الاستیسیته کامپوزیت و مدول اجزای تشکیل دهنده آن رابطه مستقیمی وجود دارد بنابراین با وجود مدول الاستیسیته بالاتر ماده چوبی، مدول الاستیسیته کامپوزیت افزایش می‌یابد[۳۴ و ۲۹].



(الف)



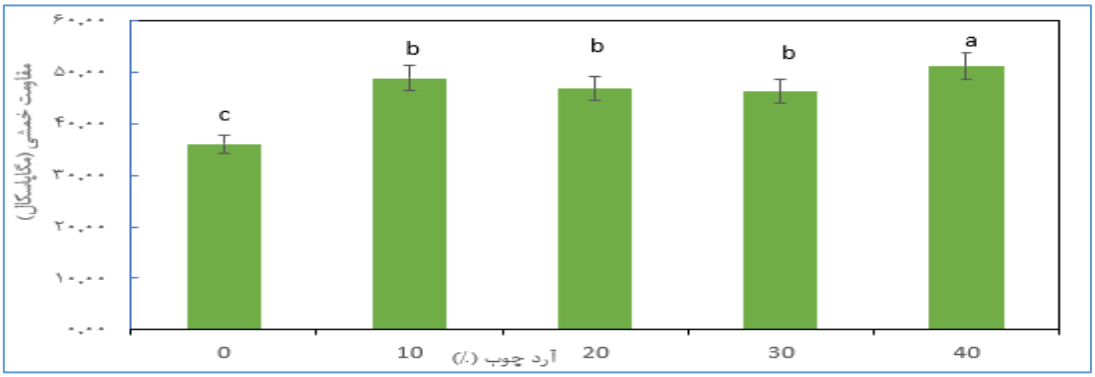
(ب)

شکل ۳: اثر افزودن آرد چوب کنوکارپوس بر (الف) مقاومت کششی و (ب) مدول الاستیسیته

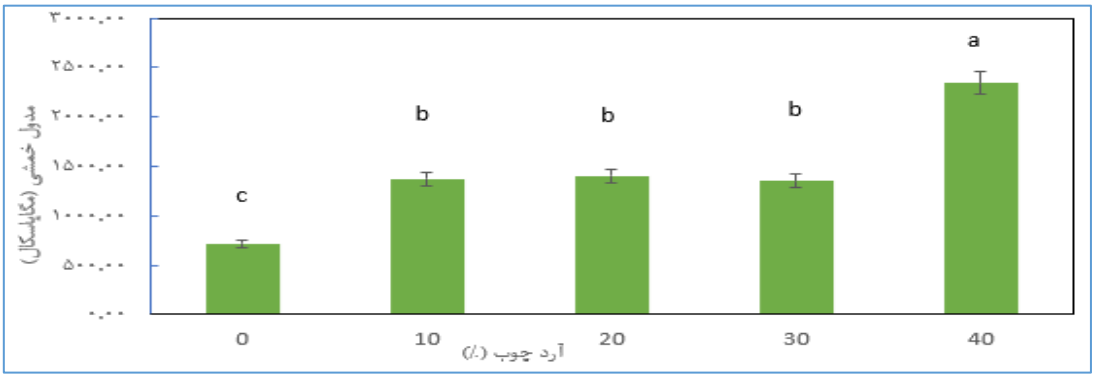
ویژگی های مقاومت خمشی

نتایج آنالیز آماری در سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد با افزایش نسبت آرد چوب از ۱۰ به ۳۰ درصد تفاوت معنی‌داری در مقاومت و مدول خمشی حاصل نمی‌گردد. مطابق شکل (۴) بیشترین مقدار خواص خمشی در فرآورده حاوی ۴۰ درصد آرد چوب حاصل شد و در مقایسه با پلیمر خالص، مقاومت و مدول خمشی به ترتیب بیش از ۴۰ و ۲۰۰ درصد افزایش یافت.

بر اساس نتایج آنالیز آماری، اثر افزودن آرد چوب کنوکارپوس بر مقاومت و مدول خمشی کامپوزیت‌ها معنی‌دار می‌باشد. بیشترین مقاومت و مدول خمشی در فرآورده‌ی حاوی نسبت وزنی ۴۰ درصد آرد چوب اندازه‌گیری شد که اتصال بین پلیمر و ذرات چوب در حدی بوده که تنش بین پلیمر و پرکننده توزیع شده است[۳۵]. وقتی بین دو فاز کامپوزیت سازگاری وجود داشته باشد مقاومت بهتری در مقابل تنش از خود نشان می‌دهد[۲۹]. نتایج تحقیق صفدری و همکاران[۱۳] که مقایسه اثر آرد پوست و آرد چوب صنوبر در تقویت کامپوزیت با زمینه پلی‌پروپیلن بود، نشان داد که ویژگی‌های مقاومتی از جمله مقاومت خمشی کامپوزیت تقویت شده با آرد چوب بهبود می‌یابد. آنها علت آن‌را ویژگی‌های ذاتی ذرات چوب و اندازه مناسب آنها بیان نمودند. این در حالی است که ملکانی و همکاران[۳۶] مقاومت خمشی کامپوزیت ساخته شده از پلی‌پروپیلن و آرد باگاس را با افزودن نانوذره کربن تقویت کردند. دا لوز و همکاران[۳۷] از الیاف باگاسی که در ابتدا تحت تیمار زیستی و شیمیایی قرار گرفته بود برای تقویت پلی‌پروپیلن استفاده کردند تا مقاومت خمشی کامپوزیت بهبود یابد. در تحقیق حاضر هم بدون هیچگونه افزودنی و یا تیماری روی آرد چوب کنوکارپوس ویژگی مقاومت خمشی بهبود یافته است که می‌تواند به ویژگی ذاتی چوب مورد استفاده ارتباط داشته باشد.



(الف)

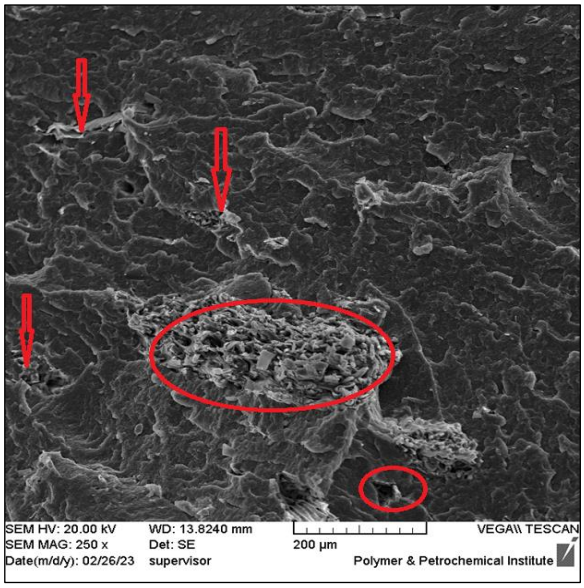


(ب)

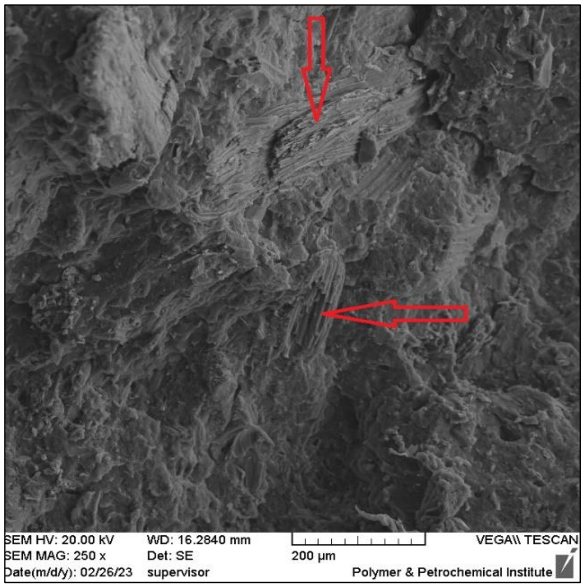
شکل ۴: اثر افزودن آرد چوب کنوکارپوس بر (الف) مقاومت خمشی و (ب) مدول خمشی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی چوب پلاستیک

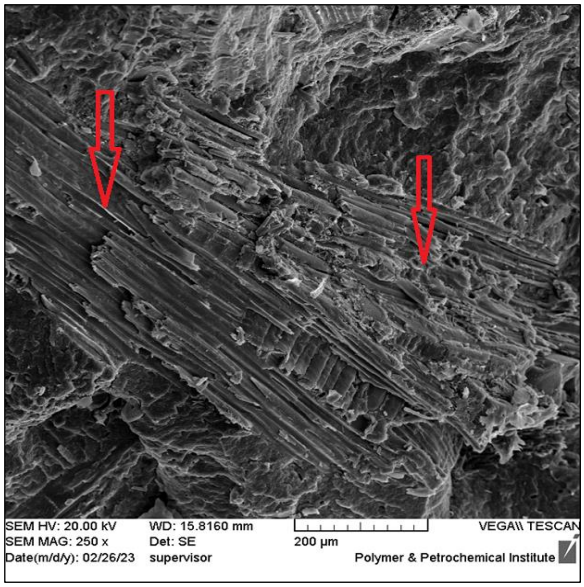
شکل (۵) تصاویر سطح شکست نمونه‌ها را با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد. مطالعات نشان داده است که کامپوزیت‌ها سیستم ناهمگن دارند به طوری‌که پرکننده در طول فرآیند اختلاط و توزیع آنها تمایل به ایجاد کلوخه دارند در نتیجه ماتریس پلیمری به صورت نامنظم مشاهده می‌شود[۷].



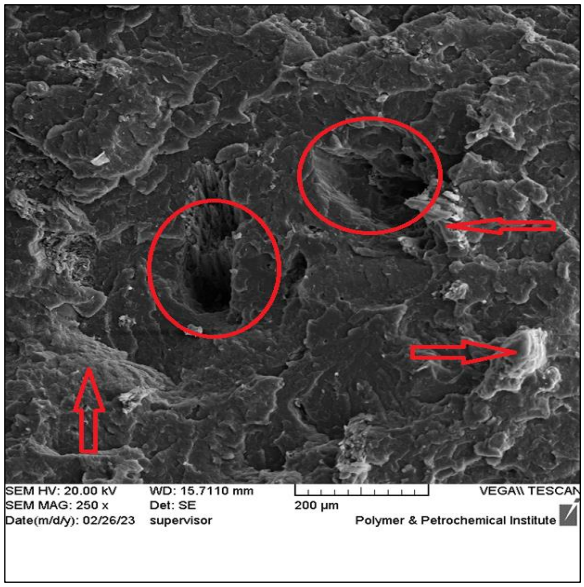
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۵: تصاویر میکروسکوپی از سطح شکست کامپوزیت‌ها با ۱۰ (الف) ۲۰ (ب) ۳۰ (ج) ۴۰ درصد آرد چوب کنوکارپوس

وجود دستجات در تصاویر کامپوزیت‌های حاوی ۲۰ و ۳۰ درصد آرد چوب بیشتر است و نتایج آزمون‌های مکانیکی هم نشان داد که افزایش معنی‌داری در بهبود مقاومت‌ها در مقایسه با کامپوزیت حاوی ۱۰ درصد آرد چوب نداشتند. کامپوزیت حاوی ۴۰ درصد آرد چوب ببشترین مقاومت‌ها را داشت که تصاویر میکروسکوپی هم نشان می‌دهد که پراکنش الیاف در زمینه یکنواخت‌تر است هر چند حفرات ناشی از کنده شدن ذرات چوب درشت‌تر هم در تصویر مشاهده می‌شود و ذرات ریزتر داخل ماده زمینه نگه داشته شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از آرد چوب کنوکارپوس برای ساخت کامپوزیت با زمینه پلی‌پروپیلن استفاده گردید. کنوکارپوس گونه‌ایی وارداتی است که در جنوب ایران کاشته شده است. پس از آسیاب کردن چوب ذراتی که از الک با مش ۴۰ عبور کرده و بر الک با مش ۶۰ باقی ماندند برای ساخت کامپوزیت استفاده شدند. دانسیته و مقاومت‌های مکانیکی کامپوزیت، به جز مقاومت به ضربه، افزایش معنی‌داری نشان دادند و نتایج زیر به دست آمده است:

- ویژگی‌های دانسیته، مقاومت و مدول کششی و خمشی با افزودن ۱۰ درصد آرد چوب افزایش معنی‌داری به لحاظ آماری در مقایسه با پلی‌پروپیلن خالص داشت.
- افزایش مقدار آرد چوب به ۲۰ تا ۳۰ درصد وزنی در مقایسه با ۱۰ درصد وزنی افزایش خاصی نداشت و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی این دو کامپوزیت هم نشان می‌دهد که ذرات آرد چوب پراکنش مناسبی در ماده زمینه نداشته است، همین موضوع می‌تواند علت عدم افزایش مقاومت‌ها در مقایسه با کامپوزیت حاوی ۱۰ درصد آرد چوب باشد.
- بیشترین دانسیته، مقاومت‌ها و مدول کششی و خمشی با افزودن ۴۰ درصد وزنی آرد چوب کنوکارپوس به دست آمد، که افزایش معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد و کامپوزیت‌های حاوی ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی داشت.
- ویژگی مقاومت به ضربه کامپوزیت حاوی ۱۰ درصد وزنی آرد چوب کاهش قابل ملاحظه‌ایی در مقایسه با نمونه شاهد داشت که این موید ضعف فرآورده در مقابل نیروی ضربه و ترک برداشتن است. در کل پرکننده‌های لیگنوسلولزی پلیمر را شکننده‌تر می‌کنند و در این شرایط با انرژی کمتری برای ایجاد ترک در نمونه نیاز است. همچنین افزایش مقدار آرد چوب از ۱۰ تا ۴۰ درصد وزنی تاثیری بر ویژگی مقاومت به ضربه نداشت.

مراجع

[1] Kajaks, J., Kalnins, K., Uzulis, S., Matvejs. J., (2014). Physical and Mechanical Properties of Composites Based on Polypropylene and Timber Industry Waste. Cent. Eur. J. Eng. 4(4), pp 385-390.

[2] Bengtsson, M., Stark, N. M., Oksman, K., (2007). Durability and mechanical properties of silane cross-linked wood thermoplastic composites. Compos.Sci. Technol. 67, pp 2728–2738.

[3] Kuo, P.-Y., Wang, S.-Y., Chen, J.-H., Hsueh, H.-C., Tsai, M.-J., (2009). Effects of material compositions on the mechanical properties of wood–plastic composites manufactured by injection molding. Mater. Des. 30, pp. 3489–3496.

[4] Durmaz, S., Erdil, Y. Z., Ozgenc, O., (2021). Accelerated weathering performance of wood-plastic composites reinforced with carbon and glass fiber-woven fabrics. Color. Technol. 138, pp 71–81.

[5] Guo, J., Cao, M., Ren, W., Wang, H., Yu, Y., (2021). Mechanical, dynamic mechanical and thermal properties of TiO2 nanoparticles treatment bamboo fiber reinforced polypropylene composites. J. Mater. Sci. 56, pp 12643–12659.

[6] Rowell, R.M., (2002). Sustainable composites from natural resources. High performance structures and composites. Southampton, Boston, WIT Press, pp. 183 -192.

[7] Ramakrisha, M., Kurmar, V., Singh, Y.N., (2009). Recent Development in Natural Fibre reinforced Polypropylene composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 28, pp 1169-1189.

[8] Nourbakhsh, A., Kargarfard, A., Hajihassani, R., Ghahri, S., Golbabaei, F., (2020). Production of plastic wood nanocomposites using agricultural residues and urban polymer waste. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 35(4), pp 393-406.

[9] Albano, C., Ichazo, M., Gonzalez, J., Delgado, M., Poleo, R., (2001). Effects of Filler Treatments on the Mechanical and Morphological Behavior of PP+Wood Flour and PP+Sisal Fiber. Journal of Material Research Innovation, 4, pp 284-293.

[10] Melynaa, E., Pratiwi Afridanab, A., (2023). The Effect of Coffee Husk Waste Addition with Alkalisation Treatment on the Mechanical Properties of Polypropylene Composites. Equilibrium Journal of Chemical Engineering, 7(1), pp 014–022.

[11] Leal, H. D. A., Babetto, A. S., Bonse, B. C., (2020). Properties of lignocellulosic composites of coffee husk filled polypropylene. AIP Conf. Proc., 2205.

[12] Hailu, G., Shimels, 1., Ketema, S., Trzepieci ´ nski, T., Batu, T., (2023). Experimental Investigation of Aloe Vera-Treated False Banana (Ensete Ventricosum) Fiber-Reinforced Polypropylene Composite. J. Compos. Sci., 7, 288.

[13] Jamalirad, L., Hosseini, S. B., (2019). The effect of the skin presence on the mechanical properties of milkweed wood flour-plastic composite. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(1), pp 115-124.

[14] Safdari, V., Khodadadi, H., Hosseini hashemi, S. K., Ganjian, E., (2011). The effects of Poplar bark and wood content on the mechanical properties of wood-polypropylene composites. Wood & bark/plastic composite, BioResources 6(4), pp 5180-5192.

[15] Biazyat, A., Jamalirad, L., Aminian, H., 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), pp 30-39.

[16] Chehrazi, M., Shirakani, A., Balef, R., Khoradmehr, A., Rasti, N., Tamadon, A., (2021). Conocarpus Tree the Marine-Medicinal Treasure of Southern Iran: A Review of Botani-cal, Phytochemical and Medicinal Properties. Iran South Med J., 24(2), pp 111-125.

[17] Mehri, F., Moradian, M. H., (2018). Investigation of chemical properties, morghology and papermaking coefficients Conocarpus Erectus. The second National Conference of knowledge and Innovation in wood and paper industry, Taleghan.

[18] Jawaid, M., Kia Kian, L., Fouad, H., Saba, N., Alothman, O. Y., Hashem, M., (2021). Morphological, structural, and thermal analysis of three part of Conocarpus cellulosic fibres. journal of materials research and technology, 10(C): pp 24 -33.

[19] Bjarnestad, S., Dahlman, O., (2002). Chemical compositions of hardwood and softwood pulps employing photoacoustic fourier transform infrared spectroscopy in combination with partial least-squares analysis Analytical. Chemistry, 74(22), pp 5851-5858.
[20] Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., Bateman, S., (2008). Wood fiber reinforced polyethylene and polypropylene composite with high modulus and impact strength. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 21(3), pp 195-208.
[21] Subramanian, M. N., (2017). Polymer Blends and Composites. Beverly: Scrivener Publishing.
[22] Rowell, R. M., Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Jacobson, E., (1997). Utilization of natural fibers in plastic composites: Problems and opportunities. Lignocellulosic-Plastic Composites, São Paulo, USP & UNESP, 23-51.
[23] Ashori, A., Nourbakhsh, A., (2008). Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. Industrial crops and products, 28(2), pp 225-230.
[24] Sharma, R., Maiti, S.N., (2015). Effects of crystallinity of polypropylene (PP) on the mechanical properties of PP/styrene-ethylene-butylene-styrene-g-maleic anhydride (SEBS-g-MA)/teak wood flour (TWF) composites. Polym. Bull. 72, pp 627–643.
[25] Samariha, A., Pourabbasi, S., Khademi Eslami, H., (2023). Investigating the characteristics of wood-plastic composites made from bagasse. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 14(3), pp 271-283.
[26] Ruksakulpiwat, Y., Sridee, J., Suppakarn, N., Sutapun, W., (2009). Improvement of impact property of natural fiber–polypropylene composite by using natural rubber and EPDM rubber. Composites Part B: Engineering, 40(7), pp 619-622.
[27] Manchado, M. A. L., Arroyo, M., Biagiotti, J., Kenny, J. M., (2003). Enhancement of mechanical properties and interfacial adhesion of PP/EPDM/flax fiber composites using maleic anhydride as a compatibilizer. Journal of applied polymer science, 90(8), pp 2170-2178.
[28] Sailaja, R. R. N., Girija, B. G., Madras, G., Balasubramanian, N., (2008). Effect of compatibilization on mechanical and thermal properties of polypropylene-soy flour composites. Journal of Material Science, 43, pp 64-74.
[29] Jamalirad, L., Hosseini, S. B., (2019), The effect of the skin presence on the mechanical properties of milkweed wood flour-plastic composite. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(1), pp 115-124.
[30] Farahbakhsh, N., Shahbeigi Roodposhti, P., Ayoub, A., Venditti, R. A., Jur, J. S., (2015). Melt extrusion of polyethylene nanocomposites reinforced with nanofibrillated cellulose from cotton and wood sources. J. APPL. POLYM. SCI., 32(17).
[31] Park, B.D., Balatinecz J., (1997). Mechanical Properties of Wood-Fiber Foughened lsotactic Polypropylene Composites. Polym. Compos., 18, pp 79-89.
[32]. Hoseini, S.K., Ebrahimi, Gh., Shakeri, A., (2003). Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylene Cellulose Fiber Composites. Iran. J. Natural Resourc, 1, pp 121-132.
[33] Arjomand, F., Barmar, M., Barikani, M., (2011). Investigating the effect of Isocyanate modification of wood fibers on physical-mechanical properties and torque graph of wood-polyethylene composite. Scientific Research Journal of Mechanics of Structures and Fluids, 2(1), pp 1-12.
[34] Stark, N.M., Rowlands, R.E., (2003). Effects of wood fiber characteristicson mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood and Fiber Science, 35(2), pp 167-174.
[35] Rowell, M.R., Lange, S.E., Jacobson, R.E., (2000). Weathering performance of plant-fiber thermoplastic composites. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 353, p 85-94.
[36] Malakani, A., Madhoushi, M., Ebrahimi, Gh., Rashidi, A,. (2019). Improving of impact strength of composite PP/bagasse by using of nano carbon (GNPR) for application in automotive industry. Forest and Wood Products, 72(1), pp 77-87.
[37] da Luza, S.M., da Costab, S.M., Gonçalvesc, A. B., Del´Arco Juniord, A. P., da Costab, S. A., (2016). Polypropylene Composites Reinforced with Biodegraded Sugarcane Bagasse Fibers: Static and Dynamic Mechanical Properties. Materials Research, 19(1), pp 75-83.