

مقایسه اثر آرد و زغال پوسته گردو بر ویژگی‌های کاربردی چندسازه‌های چوب - پلاستیک

میررضا موسوی^۱، اصغر تابعی^{۲*}، مصطفی معدنی‌پور^۳ و محمد فارسی^۴

۱- دانشجوی دکترای تخصصی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران

۲* - نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران، پست الکترونیک: tabei_asr@yahoo.com

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۰

چکیده

در این پژوهش، اثر آرد و زغال پوسته گردو بر ویژگی‌های کاربردی چندسازه‌های چوب پلاستیک حاصل از آن بررسی شد. برای این منظور، آرد و زغال پوسته گردو در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد، با پلی‌اتیلن سنگین توسط دستگاه مخلوط‌کن داخلی Brabender طی فرایند اختلاط مذاب مخلوط و بعد نمونه‌های آزمونی استاندارد با استفاده از روش قالب‌گیری تزریقی ساخته شدند. خواص مکانیکی شامل مقاومت کششی و خمشی، مدول کششی و خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار اندازه‌گیری شد. خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعته ارزیابی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز بررسی گردید. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه فاق‌دار چندسازه حاوی ۴۰ درصد آرد پوسته گردو از نمونه‌های حاوی ۴۰ درصد زغال پوسته گردو بالاتر بود. همچنین با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۳۰ درصد، مقاومت خمشی به ترتیب ۳/۳ و ۶/۱ درصد افزایش یافت و با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مدول خمشی به ترتیب ۵۱/۹ و ۶۳/۸ درصد افزایش یافت. دیگر نتایج حاصل از مقاومت مکانیکی حکایت از آن دارد که با افزایش زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مقاومت و مدول کششی به ترتیب ۲۲/۹ و ۱۰۹/۷ درصد افزایش یافت و با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مقاومت به ضربه فاق‌دار به ترتیب ۶/۶ و ۵/۴ درصد کاهش یافت. نتایج حاصل از ویژگی‌های فیزیکی نشان داد که با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، جذب آب ۲۴ ساعت به ترتیب ۱۹/۲ و ۸/۴ درصد و واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت به ترتیب ۵۳/۶ و ۴۶/۷ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آرد و زغال پوسته گردو، چندسازه چوب پلاستیک، مقاومت کششی، مدول خمشی.

مقدمه

علم مهندسی مواد نشان می‌دهد که هیچ ماده‌ای را نمی‌توان یافت که تمام خواص فنی مورد نظر را داشته باشد، پس تلفیق مواد با یکدیگر برای دستیابی به خواص مطلوب پیشنهاد گردید که این روند منجر به ساخت چندسازه‌ها شد (Faludi et al., 2013). در سال‌های اخیر استفاده از منابع

چوبی و پسماندهای کشاورزی به‌عنوان پرکننده و تقویت‌کننده پلیمرها، مورد پذیرش قرار گرفته است و تحقیقات بنیادی و کاربردی زیادی در زمینه پلیمرهای تقویت‌شده با مواد لیگنوسلولزی به‌سرعت در حال رشد است (Zahedi et al., 2013). امروزه چندسازه‌های چوب-پلاستیک به‌عنوان بخش مهمی از مواد مهندسی ظهور پیدا

مورد مطالعه قرار گرفته و امکان پذیر بودن استفاده از آن به اثبات رسیده است (Das et al., 2015).

زغال زیستی به عنوان یک ماده تجدیدپذیر از طریق پیرولیز انواع ضایعات محصولات کشاورزی و جنگلی تولید می شود (Colantoni et al., 2016). ذرات چوب یا مواد لیگنوسلولزی در درجه حرارت بالا تحت نیتروژن اتمسفری به زغال چوب تبدیل می شوند. ماهیت متخلخل زغال ممکن است قادر به ایجاد رابطه قوی تری بین ماده پرکننده و ماتریس پلیمری باشد، زیرا زنجیرهای پلیمر به دلیل آنکه سیالیت خوبی دارند، می توانند وارد منافذ زغال شوند (Li et al., 2014). علاوه بر ماهیت متخلخل ساختار زغال، این ماده ویژگی های آبریزی دارد که خود این موضوع می تواند عامل بسیار مهمی در مورد چندسازه های چوب-پلاستیک باشد. زغال به عنوان یک ماده فیلر تقویت کننده می تواند نقش بسیار مهمی در تولید چندسازه های چوب-پلاستیک ایفا کند و حتی شاید این یکی از استفاده های کارآمد این ماده در صنعت باشد (Ayrilmis et al., 2015). استفاده از زغال گونه های مختلف چوبی و غیرچوبی در ساخت فراورده های چندسازه چوب-پلاستیک در تحقیقات مختلف در خارج از کشور انجام شده است که در پیشینه تحقیق به چند مورد از آنها اشاره خواهد شد، ولی در سطح کشور تحقیقی در این زمینه انجام نشده است.

گردو محصول بسیار مهمی در مناطق معتدله است. تولید جهانی گردو در سال ۲۰۱۰ تقریباً ۲/۵۵ میلیون تن در کل جهان بوده است (Ayrilmis et al., 2013). از آنجا که پوسته گردو ۶۷ درصد از کل وزن میوه را تشکیل می دهد (Ayrilmis et al., 2013). از این رو در هر سال بیش از ۱/۵ میلیون تن پوسته گردو در جهان باقی می ماند. بنابراین باقی ماندن حجم بسیار بالایی از این ماده در هر کشوری، خود می تواند عاملی برای ایجاد انگیزه در استفاده از آن برای مقاصد اقتصادی باشد.

Li و همکاران (۲۰۱۴)، برای افزایش ویژگی های مکانیکی و حرارتی چندسازه چوب-پلاستیک، از زغال بامبو به عنوان پرکننده و تقویت کننده این چندسازه ها استفاده

کرده و در بسیاری از کاربردهای سازه ای و ساختمانی رواج پیدا کرده اند (Pilarski & Matuana, 2005; Hietala, 2013).

از جمله فاکتورهایی که می تواند بر ویژگی های چندسازه های چوب-پلاستیک تأثیرگذار باشد، خصوصیات سطح فاز چوبی یا لیگنوسلولزی و ویژگی های سطحی میان چوب و پلاستیک می باشد که ویژگی های مکانیکی و فیزیکی چندسازه را تحت تأثیر قرار می دهد (Izekor et al., 2013). اصولاً چوب یا مواد لیگنوسلولزی، عناصری قطبی هستند و به دلیل داشتن گروه های هیدروکسیل در ساختار خود، بسیار آبدوست می باشند. در مقابل پلاستیک ها موادی غیرقطبی و آبریز هستند (Zhang et al., 2018). سازگاری ضعیف بین ذرات آبدوست و ماده زمینه پلیمری آبریز، منجر به مقاومت کم در برابر رطوبت، تمایل به انباشته شدن ذرات (تراکم) در طول فرایند و ثبات حرارتی پایین می گردد. این موضوع، یکی از معایب عمده است، زیرا اغلب باعث پراکنش غیریکنواخت ذرات لیگنوسلولزی در درون زمینه پلیمری می شود (Benbarek et al., 2013). بنابراین، ناسازگاری این دو فاز، منجر به چسبندگی سطحی ضعیف میان پلیمر و پرکننده لیگنوسلولزی می شود که نتیجه آن ضعیف بودن ویژگی های کاربردی چندسازه حاصل است. برای غلبه بر مشکل ناسازگاری دو فاز ماتریس زمینه و پرکننده لیگنوسلولزی، از روش های مختلفی استفاده می شود که از آن جمله می توان به استفاده از عوامل سازگارکننده (Yadvan & Bin Yusoh, 2015, Schrip & Stender, 2010)، تیمار شیمیایی برای اصلاح ویژگی های ذرات (Benbarek et al., 2013)، تیمار اسیدی یا قلیایی الیاف (Jayamani & Bakri, 2015, Hu & Lim, 2007)، اصلاح سطح ذرات به وسیله تیمار پلاسما (Levasseur et al., 2012, Manolache et al., 2008)، تیمار حرارتی (Zhang et al., 2007, Naguila et al., 2018) و ... اشاره کرد. در سال های اخیر، استفاده از زغال زیستی به عنوان یک افزودنی، برای بهبود خواص چندسازه های چوب-پلاستیک

زاویه تماس، دانسیته و همچنین اثر این متغیرها بر ویژگی های مکانیکی چندسازه ها بررسی شد. نتایج نشان داد که زغال بامبو، مقاومت در برابر جذب آب را افزایش می دهد. زاویه تماس آب با افزایش مقدار زغال بامبو و یا با کاهش اندازه ذرات زغال افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که زغال بامبو، خاصیت آب دوستی چندسازه را کاهش داد. آنان نتیجه گرفتند که زغال بامبو، با چندسازه های پلی اتیلنی با دانسیته کم، اتصال قوی برقرار می کند و مقدار زغال بامبو زیر ۱۲٪، ویژگی های خمشی این چندسازه ها را بهبود بخشیده و دانسیته آنها را افزایش می دهد. همچنین با کاهش اندازه ذرات زغال بامبو، مقاومت به ضربه چندسازه به طور چشمگیری کاهش می یابد (Chen et al., 2016).

Zhu و همکاران (۲۰۱۶)، اثرهای افزودن نانو زغال بامبو را بر ویژگی های مکانیکی و رفتار حرارتی کامپوزیت های بامبو/پلاستیک مطالعه کردند. برای روشن کردن اثر نانو زغال بامبو بر ویژگی های چندسازه های ذکر شده، آنان این چندسازه ها را در نسبت های وزنی ۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ درصد نانو زغال تهیه کردند. نتایج نشان داد که نانو زغال بامبو اثر مهمی در تقویت سطح مشترک فازهای چندسازه داشته است، به طوری که به مقدار زیادی چسبندگی فصل مشترک آرد بامبو و پلی اتیلن سنگین را بهبود بخشیده است. آنان دریافتند زمانی که حجم نانو زغال بامبو به یک سطح خاصی رسید، مقاومت به جذب آب و مقاومت های خمشی و کششی چندسازه ها حاوی نانو زغال در مقایسه با چندسازه های فاقد نانو زغال افزایش یافت. نتایج آنان مشخص کرد که افزودن نانو زغال بامبو، ویژگی های حرارتی این چندسازه ها را به مقدار اندکی بهبود بخشید (Zhu et al., 2016).

Zhang و همکاران (۲۰۱۸)، از زغال زیستی پوسته برنج برای تقویت HDPE استفاده کردند و به وسیله روش اکستروژن چندسازه زغال زیستی - پلاستیک (BPC) تهیه کردند. آنان در این تحقیق، علاوه بر ویژگی های مکانیکی، ویژگی های ریخت شناسی و رفتار کریستالی شدن (تبلور) غیر همدم چندسازه ها را بررسی کردند. میکروسکوپ

کردند و نوعی از چندسازه های چوب-پلاستیک-زغال بامبو را تهیه نمودند. آنان اثر زغال بامبو و تیمار آب (غوطه ور کردن کامل نمونه ها در ظرف حاوی آب جوش مقطر به مدت ۳۰ دقیقه) را بر روی ویژگی های جذب آب، ریخت شناسی و ویژگی های مکانیکی بررسی کردند. آنان همچنین اثر تیمار آب را بر روی ویژگی های مکانیکی و حرارتی چندسازه ها مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که زغال بامبو در چندسازه های چوب-پلاستیک می تواند سطح مشترک قوی را ایجاد کند. مقاومت به جذب آب، ویژگی های خمشی، کششی و حرارتی چندسازه های حاوی زغال بامبو در مقایسه با چندسازه های بدون زغال، بالاتر و بهتر بودند. بعد از تیمار آب چندسازه ها، مقاومت خمشی و کششی چندسازه ها کاهش یافته، ولی مقاومت به ضربه آنها افزایش یافت. آنان دریافتند که بعد از تیمار جذب آب، مقاومت مکانیکی نمونه های حاوی زغال بامبو نسبت به نمونه های بدون زغال کمتر کاهش یافت (Li et al., 2014).

Ikram و همکاران (۲۰۱۶)، در ارزیابی ویژگی های مکانیکی و مقاومت به آتش چندسازه های چوب-پلاستیک حاصل از اختلاط زغال زیستی، چوب و پلی پروپیلن، با در نظر گرفتن متغیرهایی مانند میزان چوب، عامل جفت کننده، اندازه ذرات و شاخص جریان مذاب پلی پروپیلن و نیز با استفاده از روش های اکستروژن و قالب گیری تزریقی، نتیجه گرفتند که وجود عامل جفت کننده و چوب به همراه زغال زیستی، نقش بسیار مهمی را در بهبود ویژگی های کششی و خمشی دارند. نتیجه مهم این پژوهش آن بود که بین چندسازه ها از نظر ویژگی اشتعال پذیری (مقاومت به آتش)، تفاوت چندانی از نظر میزان آزاد شدن (انتشار) گرما وجود نداشت، بنابراین در این پژوهش انتخاب کامپوزیت برتر تنها به چندسازه ای محدود می شد که ویژگی های مکانیکی بهتری داشت (Ikram et al., 2016).

Chen و همکاران (۲۰۱۶)، اثر زغال بامبو را بر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی چندسازه های حاصل از اختلاط آرد بامبو و پلی اتیلن با دانسیته کم، مطالعه کردند. در این تحقیق اثر مقدار و اندازه زغال بامبو بر جذب آب،

پوسته گردو، از سطح بازار تهیه و توسط آسیاب به پودر تبدیل شد. سپس پودر تهیه شده توسط یک الک ارتعاشی مش بندی گردید، به طوری که در این بررسی از آرد عبور کرده از الک با اندازه چشمه ۴۰ مش و باقیمانده بر روی الک با اندازه چشمه ۶۰ مش استفاده شد.

تهیه زغال پوسته گردو

برای تهیه زغال پوسته گردو، ابتدا پوسته گردو شستشو و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شد. در مرحله بعد، پوسته گردو آسیاب و از الک با مش ۳۵ با اندازه منافذ ۰/۵ میلی متری عبور داده شد. سپس ماده خام الک شده، در کوره ای تحت گاز بی اثر نیتروژن تا دمای کربن سازی ۴۰۰ درجه سانتی گراد با میزان افزایش دمای ۱۰ درجه بر دقیقه به مدت ۲ ساعت پیرولیز گردید. بعد از آن دمای کوره تا رسیدن به دمای محیط، در شرایط اعمال گاز نیتروژن کاهش یافت (Rostamian et al., 2015). بدین ترتیب زغال مورد استفاده در این تحقیق تهیه شد.

روش ها

فرایند اختلاط

فرایند اختلاط مواد با دستگاه مخلوط کن داخلی با حجم ۵۵ml ساخت شرکت برابندر آلمان (مدل Brabender W50EHT) واقع در پژوهشگاه مواد پلیمری دانشگاه صنعتی سهند تبریز با دمای اختلاط ۱۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت اختلاط ۱۰۰ دور در دقیقه انجام شد. پس از اختلاط مواد، چندسازه بی شکل تولید شده، سرد و دوباره آسیاب شد، سپس مواد تولید شده به دستگاه قالب گیری تحت فشار Brabender منتقل و این دستگاه پس از ذوب دوباره، ماده مذاب را به درون قالب تزریق کرده و نمونه های مورد نظر برای آزمون های مکانیکی تهیه شدند. فاز پیوسته (HDPE)، فاز ناپیوسته (آرد و زغال پوسته گردو) و سازگارکننده (MAPE) مطابق با ترکیب تعیین شده در جدول ۱ استفاده شدند.

الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که HDPE به درون منافذ زغال زیستی نفوذ کرده است. مقاومت به خمش و کشش کامپوزیت های زغال زیستی - HDPE به طور قابل توجهی از مقاومت به خمش و کشش کامپوزیت های چوب - پلیاستیک فراتر رفته و به ترتیب توانست به ۵۳/۷ و ۲۰ مگاپاسکال برسد. اگرچه با افزایش مقدار پرکننده، مقاومت به ضربه هر دو کامپوزیت زغال زیستی - پلیاستیک و کامپوزیت های چوب - پلیاستیک تمایل به کاهش کلی از خود نشان دادند، ولی هنوز چندسازه های زغال زیستی - پلیاستیک در مقایسه با کامپوزیت های چوب - پلیاستیک قوی تر بودند. نتایج آنان نشان داد که با استفاده از زغال زیستی پوسته برنج، یک سطح مشترک قوی بین این ماده و HDPE به دست آمد (Zhang et al., 2018).

از این رو، با توجه به اینکه در ایران پوسته گردو به عنوان یک محصول جانبی کشاورزی بوده و در بسیاری از مواقع به عنوان پسماند، دور ریخته شده و یا سوزانده شده و استفاده ای از آن نمی شود، بنابراین بررسی استفاده از آن در تولید یک محصول مفید دیگر با ویژگی های کاربردی می - تواند بسیار حائز اهمیت باشد. در این راستا، این تحقیق با هدف استفاده از آرد و زغال پوسته گردو و مقایسه خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت شناسی چندسازه های حاصل از آنها انجام شد.

مواد و روش ها

مواد

پلی اتیلن مورد استفاده در این تحقیق از نوع پلی اتیلن با دانسیته سنگین بوده و از پتروشیمی جم با شاخص جریان مذاب ۱۸ گرم بر ۱۰ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سانتی گراد و دانسیته ۰/۹۵۲ گرم بر سانتی متر مکعب تهیه شد. پلی اتیلن گرافت شده با انیدرید مالئیک (MAPE) از شرکت دانش بنیان آریا پلیمر به میزان ۳ درصد وزنی پلیمر به عنوان اتصال دهنده برای ساخت چندسازه استفاده شده است.

جدول ۱- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیب تیمارهای مختلف چندسازه چوب-پلاستیک

Table 1. Weight percentage of components of different treatment of wood plastic composites

شماره No.	تیمار Treatment	آرد پوسته چوبی (%) Flour of walnut shell (%)	زغال پوسته گردو (%) Charcoal of walnut shell (%)	پلی اتیلن سنگین (%) HDPE (%)	سازگارکننده (%) Coupling agent (%)
1	20FW	20	0	80	3
2	30FW	30	0	70	3
3	40FW	40	0	60	3
4	20CW	0	20	80	3
5	30CW	0	30	70	3
6	40CW	0	40	60	3

آرد پوسته گردو = Flour of walnut shell (FW)

زغال پوسته گردو = Charcoal of walnut shell (CW)

الکترونی روبشی مدل MIRA3 FEG-SEM ساخت شرکت Tescan کشور چک موجود در دانشگاه تبریز استفاده شد.

تجزیه و تحلیل نتایج

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS با آزمون فاکتوریل ۳×۲ (آرد پوسته و زغال پوسته گردو و سه سطح آرد) در مجموع شش تیمار و هر تیمار سه تکرار (۱۸ نمونه) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

نتایج

برای بررسی اختلاف آماری بین میانگین خواص مورد بررسی، از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد. مقدار F به دست آمده حکایت از آن دارد که برای مقاومت خمشی، مدول کششی، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعته در سطح اعتماد ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در حالی که در سایر مقاومت‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲).

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمایش خمش براساس روش سه نقطه‌ای مطابق استاندارد ASTM D 790 توسط دستگاه آزمون مکانیکی Santam Stm_20 انجام شد. ابعاد اسمی نمونه‌ها ۱۳×۱۳×۵ میلی‌متر و طول دهانه ۸۰ میلی‌متر بوده است. آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 بر روی نمونه‌های دمبلی شکل با ابعاد ۱۰×۳×۱۶۷ میلی‌متر توسط دستگاه آزمون مکانیکی Z010 انجام شد. مقاومت به ضربه فاقدار نمونه بر اساس استاندارد ASTM D 256 توسط دستگاه ضربه Gotech مدل GT-7045-HML ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد. آزمون‌های مکانیکی برای هر تیمار با ۳ تکرار انجام شد.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت مطابق استاندارد ASTM D703 انجام شد.

مطالعه ریخت‌شناسی (SEM)

برای تحلیل بهتر نتایج حاصل و مطالعه ساختار چندسازه حاصل از HDPE و آرد و زغال پوسته گردو از میکروسکوپ

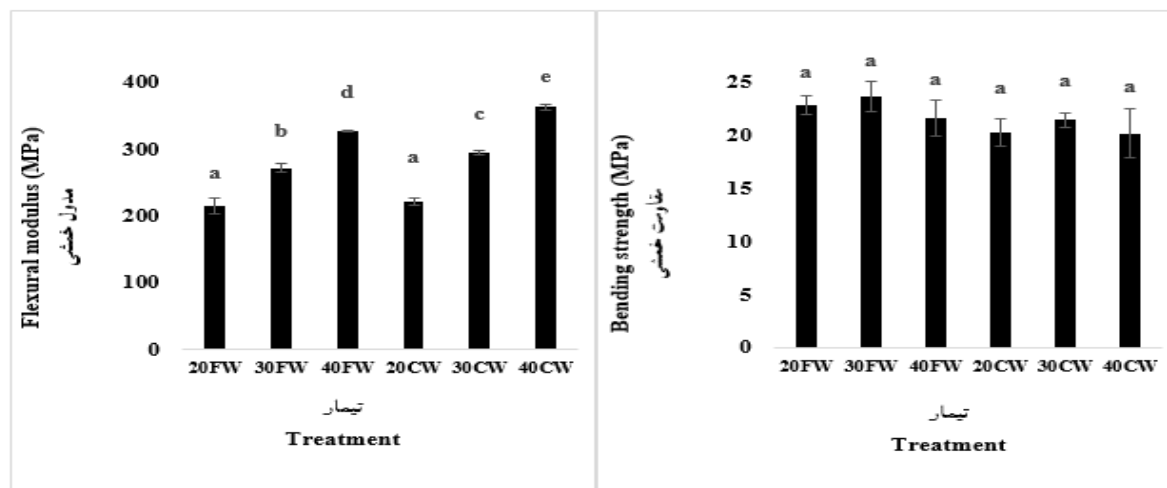
جدول ۲- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی داری) اثر متغیرهای ساخت بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی
Table 2. Variance analysis (F value and significance level) of effect of construction variables on physical and mechanical properties

واکنش پذیری ضخامت ۲۴ ساعت (%) Thickness swelling 24h (%)	جذب آب ۲۴ ساعت (%) Water absorption 24h (%)	مقاومت به ضربه با قاعده Impact resistance (J/m)	مدول کششی (Mpa) Tensile modulus (MPa)	مقاومت کششی (Mpa) Tensile strength (Mpa)	مدول خمشی (Mpa) Flexural modulus (MPa)	مقاومت خمشی (Mpa) Bending strength (MPa)
1.692 ^{ns}	0.664 ^{ns}	3.752*	1.569 ^{ns}	22.278*	60.016*	0.582 ^{ns}

سطح معنی داری: *۹۵٪، ns: عدم معنی داری
 Significance level: 95%, ns: no significance

HDPE، آرد و زغال پوسته گردو را نشان می دهد. آزمون دانکن، میانگین مدول خمشی را در گروه های مختلف قرارداد. همان گونه که ملاحظه می گردد بیشترین مدول خمشی مربوط به چندسازه حاصل از ۴۰ درصد آرد و زغال پوسته گردو است. همچنین بین چندسازه با ۲۰ درصد آرد چوب و زغال پوسته گردو اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

شکل ۱ (الف) مقاومت خمشی چندسازه حاصل از ترکیب HDPE، آرد و زغال پوسته گردو را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشاهده می شود با افزایش آرد و زغال پوسته گردو تا ۳۰ درصد، مقاومت خمشی افزایش و بعد با افزایش ۴۰ درصدی مقاومت خمشی کاهش می یابد. شکل ۱ (ب) مدول خمشی چندسازه حاصل از ترکیب



(b) ب

(a) الف

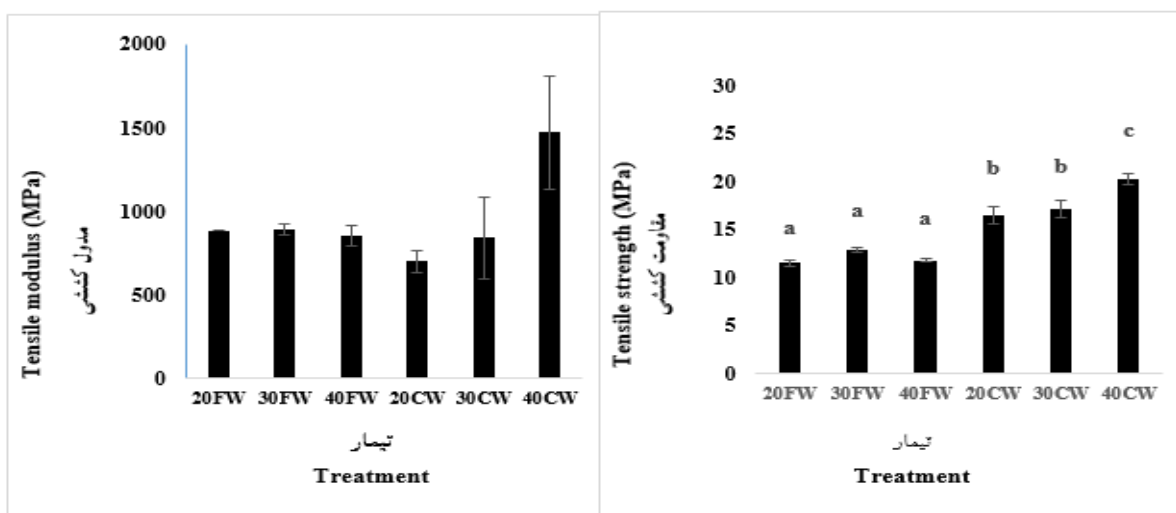
شکل ۱- تأثیر اثر آرد و زغال پوسته چوبی گردو بر: (الف) مقاومت خمشی، (ب) مدول خمشی

Figure 1. The effect of flour and charcoal of walnut shell on: a) bending strength, b) flexural modulus

مشاهده نشد اما با افزایش زغال پوسته گردو تا ۴۰ درصد مقاومت کششی افزایش یافت.

شکل ۲ (ب) مدول کششی چندسازه حاصل از ترکیب HDPE، زغال پوسته و آرد پوسته گردو را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش آرد زغال پوسته گردو تا ۴۰ درصد مدول کششی افزایش می‌یابد.

شکل ۲ (الف) مقاومت کششی چندسازه حاصل از ترکیب HDPE، آرد و زغال پوسته گردو را نشان می‌دهد. آزمون دانکن، میانگین مقاومت کششی را در گروه‌های مختلف قرارداد و میان چندسازه‌های حاصل از ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد آرد چوب گردو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود هرچند بین چندسازه‌های حاصل از ۲۰ و ۳۰ درصد زغال پوسته گردو اختلاف معنی‌داری

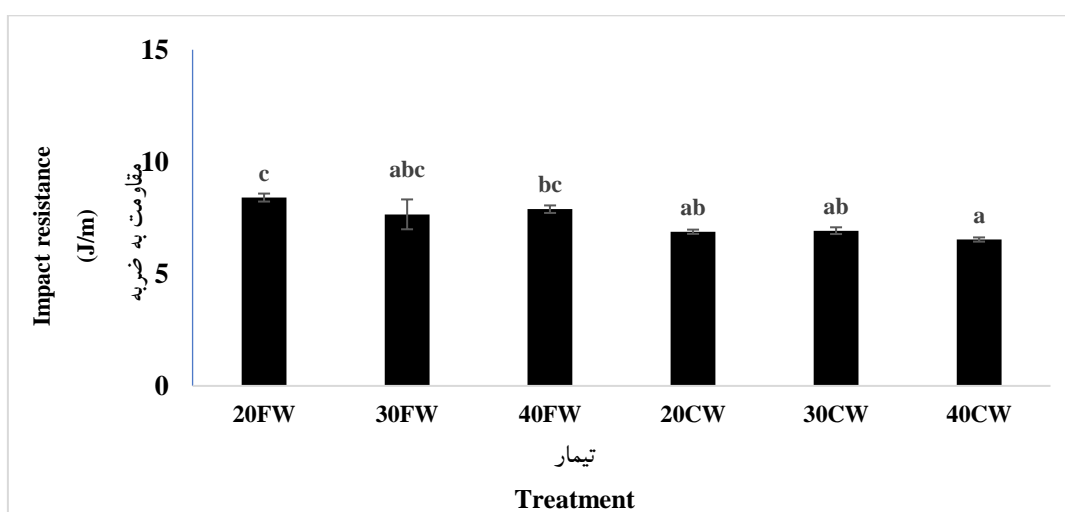


شکل ب (b)

شکل الف (a)

شکل ۲- تأثیر اثر آرد و زغال پوسته چوبی گردو بر: الف) مقاومت کششی، ب) مدول کششی

Figure 2. The effect of flour and charcoal of walnut shell on: a) tensile strength, b) tensile modulus

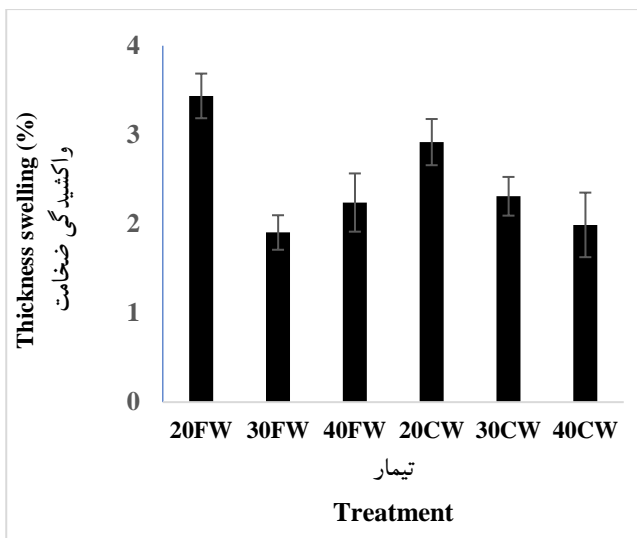


شکل ۳- تأثیر اثر آرد و زغال پوسته چوبی گردو بر مقاومت به ضربه

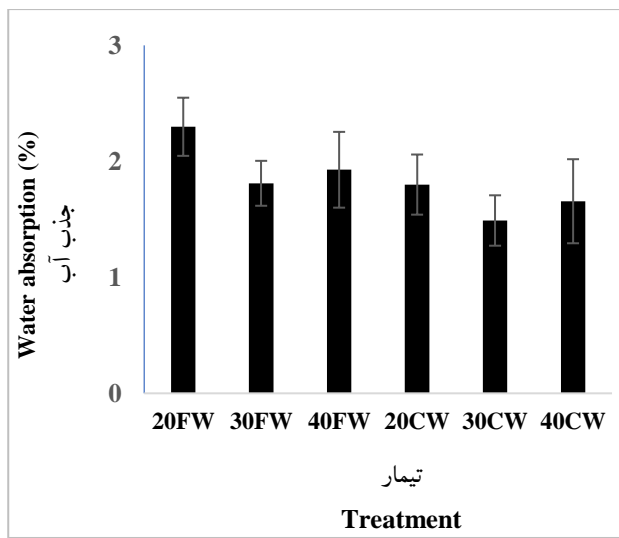
Figure 3. The effect of flour and charcoal of walnut shell on impact resistance

شکل ۴ (الف و ب) جذب آب و واکنش پذیری ضخامتی چندسازه حاصل از ترکیب HDPE، آرد و زغال پوسته گردو را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل افزایش زغال پوسته و آرد پوسته از ۲۰ به ۴۰ درصد مقدار جذب آب و واکنش پذیری ضخامت ۲۴ ساعت کاهش می‌یابد.

شکل ۳ مقاومت به ضربه فاقدار حاصل از ترکیب HDPE، آرد و زغال پوسته گردو را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، هرچند میان چندسازه‌های حاصل از ۲۰ و ۳۰ درصد آرد زغال پوسته چوب گردو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش آرد زغال پوسته و آرد پوسته گردو تا ۴۰ درصد مقاومت به ضربه فاقدار کاهش یافت.



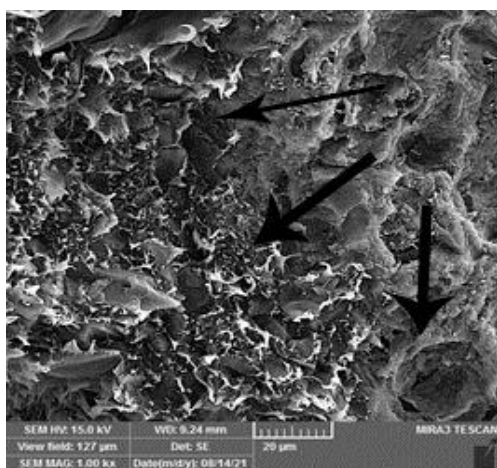
ب (b)



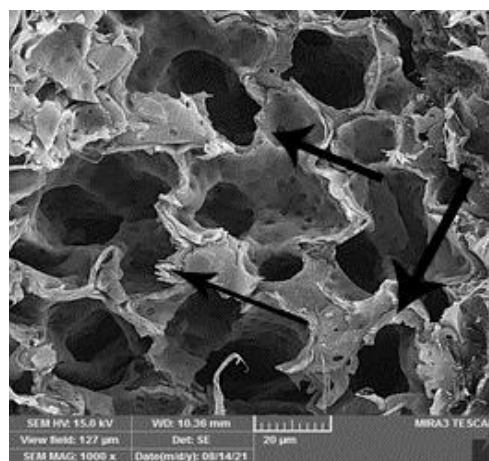
الف (a)

شکل ۴- تأثیر اثر آرد و زغال پوسته چوبی گردو بر: الف) جذب آب و ب) واکنش پذیری ضخامت

Figure 4. The effect of flour and charcoal of walnut shell on a) Water absorption, b) Thickness swelling



ب (b)



الف (a)

شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM چندسازه: الف) ۴۰ درصد آرد پوسته چوبی گردو و ب) ۴۰ درصد

زغال پوسته چوبی گردو

Figure 5. Scanning electron microscopy of composites: a) Containing 40% flour of walnut shell, b) Containing 40% charcoal of walnut shell,

غیرقطبی، تنش انتقال یافته از ماده زمینه به الیاف کمتر می شود و زمینه پلیمری قادر به پوشش و دربرگیری کامل الیاف نبوده و چسبندگی کاهش پیدا می کند و منجر به کاهش جزئی مقاومت خمشی نیز می شود. در چندسازه چوب-پلاستیک، پلیمر نقش چسب را برای اتصال ذرات چوبی ایفا می کند که این اتصال در نتیجه ذوب شدن پلیمر به وجود می آید (Charmahali et al., 2006)، به طوری که زمانی که درصد پلیمر کاهش می یابد مقدار اتصالات نیز کاهش خواهد یافت که احتمالاً علاوه بر موارد بالا یکی از دلایل کاهش مقاومت خمشی کاهش درصد مقدار پلیمر نیز بوده است.

با افزایش آرد و زغال پسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مدول خمشی افزایش یافت. از مهمترین عواملی که بر مدول خمشی مواد مرکب تأثیر دارد، مدول اجزای تشکیل دهنده آن می باشد. مدول خمشی مواد لیگنوسلولزی (آرد و الیاف سلولزی) بیشتر از پلی اتیلن سنگین است (Kazemi Najafi et al., 2006). بنابراین با افزایش مقدار ماده لیگنوسلولزی، مدول خمشی چندسازه افزایش یافته است. بالا رفتن مدول خمشی، معرف کمتر شدن تغییر شکل ماده مرکب تحت بار است که در سازه های مهندسی که باید بار زیادی را بدون تغییر شکل تحمل کنند، عامل مثبتی به شمار می آید. همچنین علت افزایش مدول خمشی می تواند فعل و انفعالات مثبت در سطح مشترک حاصل از نمونه های زغال پسته گردو در مقایسه با نمونه های حاصل از آرد پسته گردو باشد (Li et al., 2014).

با افزایش زغال پسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مقاومت کششی افزایش یافت. مقاومت کششی بیشتر از آنکه به خصوصیات پرکننده مرتبط باشد به خصوصیات ماده زمینه و ویژگی های چسبندگی، سطح اتصال و کیفیت سطح مشترک بین دو فاز ماده مرکب بستگی دارد، زیرا انتقال تنش از ماده زمینه به الیاف (فاز تقویت کننده) به وسیله این ناحیه انجام می شود. اصولاً نقش ماده زمینه نگهداری الیاف و انتقال نیرو به فاز ثانویه بوده و نقش فاز ثانویه، تقویت فیزیکی و مکانیکی ماده زمینه است، از این رو با افزایش مقدار پرکننده، میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز

از آنجا که بیشتر مقاومت های مکانیکی و خصوصیات فیزیکی نمونه ها در سطح ۴۰ درصد بهینه است، برای مطالعه سطوح شکست و بررسی چگونگی سطح مشترک بین فاز پلیمری و تقویت کننده، تصاویری از سطح شکست نمونه ۴۰ درصد آرد و زغال پسته گردو با بزرگنمایی 1000X (شکل ۵ الف و ب) تهیه شد.

همان طور که در شکل ۵ الف مشاهده می شود هنگام شکست نمونه، ذرات آرد پسته گردو به شکل سالم از جای خود در پلیمر زمینه خارج شده است و نیز فواصل و شکاف هایی اطراف ذرات آرد چوب وجود دارد که به معنی برهم کنش ضعیف بین سطح آرد پسته گردو و پلی اتیلن سنگین است. اما همان گونه که در شکل ۵ ب ملاحظه می گردد در ناحیه سطح مشترک بین پلیمر و آرد زغال گردو، فاصله و عدم پیوند کمتر مشاهده می شود و عمل دربرگرفتن ذرات آرد پسته زغال گردو به دلیل خلل و فرج بیشتر و نفوذ بهتر پلیمر به درون این مجاری اتفاق افتاده است. در واقع افزودن زغال پسته گردو سبب بهبود چسبندگی بین پلیمر و زغال پسته گردو می شود.

بحث

با افزایش آرد و زغال پسته گردو از ۲۰ به ۳۰ درصد مقاومت خمشی افزایش یافت. مقاومت خمشی چندسازه چوب-پلاستیک به شدت به کیفیت سطح مشترک بین دو مرحله ماده مرکب بستگی دارد، زیرا انتقال تنش از فاز زمینه به فاز تقویت کننده به وسیله این ناحیه انجام می شود. اصولاً نقش فاز زمینه، نگهداری الیاف و انتقال نیرو به فاز ثانویه است و نقش فاز ثانویه تقویت فیزیکی و مکانیکی ماده زمینه می باشد، از این رو با افزایش مقدار پرکننده میزان تنش قابل تحمل چندسازه بر اثر وجود فاز تقویت کننده افزایش می یابد (Ahmadi et al., 2015). به همین دلیل با افزایش مقدار مواد لیگنوسلولزی از ۲۰ به ۳۰ درصد مقاومت خمشی چندسازه چوب-پلاستیک افزایش یافته است. در عین حال، با افزایش بیش از حد آرد چوب تا ۴۰ درصد، احتمالاً به دلیل عدم سازگاری بین خواص سطحی الیاف قطبی با پلی اتیلن

کاهش پیدا می‌کند (Razavi-Nouri *et al.*, 2006). مقاومت به ضربه فاق‌دار، سفتی و چقرمگی آن را بیان می‌کند که در حقیقت معرف مقاومت ماده در برابر شکسته شدن می‌باشد (Nourbakhsh *et al.*, 2010). علاوه بر این، افزودن آرد زغال پوسته و آرد پوسته احتمال انباشتگی (کلوخه‌ای شدن) الیاف سلولزی را افزایش می‌دهد و موجب تمرکز تنش شده و به انرژی کمتری برای شکست نیاز دارد (Ashori & Nourbakhsh, 2008). مقاومت در برابر شکسته شدن کامپوزیت‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که بعضی از آنها به شرح ذیل است: خصوصیات ماتریس، میزان پراکندگی مؤلفه‌های کامپوزیت، تجمع و جهت‌گیری ذرات پرکننده و مهمترین آنها برهم‌کنش بین ذرات پرکننده و ماتریس است. وجود مواد لیگنوسلولزی نواحی تمرکز تنش و نقاط شروع شکست را ایجاد می‌کنند که با افزایش مقدار پرکننده، میزان مقاومت به ضربه نیز کاهش می‌یابد (Zhang *et al.*, 2018).

با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد ویژگی نفوذناپذیری ذرات زغال پوسته گردو مانع از نفوذ آب به درون زمینه پلیمری می‌گردد. فرایند تبدیل آرد چوب به زغال پوسته گردو سبب می‌شود که گروه‌های هیدورکسیل آب‌دوست قابل دسترس زنجیره‌های سلولزی کاهش یابد که این عمل احتمالاً باعث جذب آب و تورم (واکنشیدگی ابعاد) کمتر در چندسازه می‌گردد. البته نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های ساخته شده توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز تأیید شدند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای ساخت چندسازه چوب-پلاستیک از آرد و زغال پوسته گردو استفاده شد و نتایج به‌دست آمده با یکدیگر مقایسه گردید.

ویژگی‌های مکانیکی شامل ویژگی‌های کششی و خمشی و ضربه چندسازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و برای تحلیل بهتر نتایج توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ارزیابی شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده

تقویت‌کننده افزایش می‌یابد (George *et al.*, 2001). از جمله عوامل تأثیرگذار دیگر بر این مورد را می‌توان به پیوند شیمیایی مناسب بین مؤلفه‌های کامپوزیت، تمرکز تنش کم و جهت پرکننده نسبت داد (Razavi-nouriet *al.*, 2006). هنگامی که به پرکننده نیرو وارد می‌شود، این نیرو ابتدا به ماده زمینه و بعد به ذرات پرکننده انتقال داده می‌شود. در سازوکار انتقال بار، تنش در انتهای ذرات پرکننده کاهش پیدا می‌کند. از سویی جهت‌دهی ذرات پرکننده و کنترل آنها مشکل می‌باشد، در نتیجه در صد حجمی استفاده از آنها باید کنترل شود. در هنگام تنش کششی انتقال بار بین ماده زمینه و ذرات پرکننده به صورت برشی در سطح مشترک پلیمر و ذرات پرکننده ایجاد می‌شود. بنابراین سطح مشترک بین ذرات پرکننده و پلیمر باید بتواند این انتقال را به نحو مطلوب انجام دهد (Svab *et al.*, 2005). این افزایش مقاومت، عمدتاً به بالا بودن تعداد منافذ آرد زغال نسبت داده شده است. زیرا پلی‌اتیلن ذوب شده، به درون منافذ و سوراخ‌های آرد زغال وارد و چسبندگی سطحی بهتری میان پلیمر HDPE و پرکننده چوبی به وجود می‌آورد (Ayrilmis *et al.*, 2015). با افزایش زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مدول کششی نیز افزایش یافت. مدول کششی چندسازه‌ها متأثر از مدول کششی اجزای تشکیل‌دهنده آن است. از این رو استفاده از الیاف طبیعی در ماده زمینه سبب افزایش مدول کلی چندسازه خواهد شد (Febrianto *et al.*, 2006). بنابراین، با افزایش آرد زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، به دلیل فعل‌وانفعالات قوی در منطقه سطح مشترک، مدول کششی چندسازه افزایش می‌یابد (Li *et al.*, 2014).

با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مقاومت به ضربه فاق‌دار کاهش یافت. این مسئله به دلیل عدم سازگاری بین الیاف و ماده زمینه است، به نحوی که در اثر اعمال نیرو انتقال تنش در این ناحیه وجود ندارد و مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد. با افزایش درصد آرد و زغال پوسته گردو این عدم سازگاری بیشتر شده و فراورده در مقابل ضربه ضعیف‌تر می‌شود. در واقع به دلیل کاهش چقرمگی (ضربه‌پذیری) و افزایش تردی نمونه‌ها، مقاومت به ضربه

- flour. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(3): 908-914.
- Ayrilmis, N., Kwon, J.H., Hyong, H.T. and Durmus, A., 2015. Effect of wood – derived charcoal content on properties of wood plastic composites. *Materials Research Journal*. 18(3): 654-659.
- Benmbarek, T., Robert, L., Sammouda, H., Charrier, B., Orteu, J.J. and Hugot, F., 2013. Effect of acetylation and additive on the tensile properties of wood – fiber – HDPE composite. *Journal of Reinforced Plastics and composites*, SAGE Publications, 32(21), 1646 – 1655.
- Charmhali, M., Kazemi Najafi, S., Tajvidi, M. and Poudinehpoor, M.A., 2006. Mechanical properties of wood- plastic composite made from particleboard and MDF wastes and polyethylene (HDPE) wastes, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 20(2): 271- 284.
- Chen, Q., Zhang, R., Wang, Y., Wen, X. and Qin, D., 2016. The effect of bamboo charcoal on water absorption, contact angle, and the physical-mechanical properties of bamboo/low-density polyethylene composites. *BioResources*, 11(4): 9986-10001.
- Colantoni, A., Evie, N., Lord, R., Retschitzegger, S., Proto, A.R. Gallucci, F. and Monarca, D., 2016. Characterization of biochars produced from pyrolysis of pelletized agricultural residues. *Renew.Sustain.Energy Rev*, 64: 187–194.
- Das, O., Sarmah, A.K. and Bhattacharya, D., 2015. A novel approach in organic waste utilization through biochar addition in wood / polypropylene composites. *Waste Management*, 38, 132-140.
- Faludi, G., Renner, K., Móczó, J. and Pukánszky, B., 2013. Biocomposite from polylactic acid and lignocellulosic fibers: Structure–property correlations. *Carbohydrate Polymers*, 92: 1767–1775.
- Febrianto, F., Setyawati, D., Karina, M., Bakar, E.S. and Hadi, Y.S., 2006. Influence of wood flour and modifier contents on the physical and mechanical properties of wood flour-recycle polypropylene composites. *Journal of Biological Sciences*, 6(2): 337-343.
- George, J., Sreekala, M.S. and Thomas, S., 2001. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites, *Polymer engineering and Science*, 41(9): 1471-1485.
- Hietala, M., 2013. Extrusion processing of wood – based biocomposites. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Department of Engineering Sciences and Mathematics, Division of Wood and Bionanocomposites, SE – 97187 Lulea, Sweden/ University of Oulu, Department of Process and

می توان بیان کرد که:

- ۱- با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۳۰ درصد، مقاومت خمشی به ترتیب ۳/۳ و ۶/۱ درصد افزایش یافت.
- ۲- با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مدول خمشی به ترتیب ۵۱/۹ و ۶۳/۸ درصد افزایش یافت.
- ۳- با افزایش زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مقاومت و مدول کششی به ترتیب ۲۲/۹ و ۱۰۹/۷ درصد افزایش یافت.
- ۴- با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، مقاومت به ضربه فاق دار به ترتیب ۶/۶ و ۵/۴ درصد کاهش یافت.
- ۵- با افزایش آرد و زغال پوسته گردو از ۲۰ به ۴۰ درصد، جذب آب ۲۴ ساعت به ترتیب ۱۹/۲ و ۸/۴ درصد و واکنش پذیری کاهش یافت.
- ۶- نتایج کلی حکایت از آن دارد که افزودن آرد زغال پوسته گردو نسبت به آرد پوسته گردو، نتایج بهتری از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی را در چندسازه های حاصل به وجود می آورد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H., Hamassi, H. and Mahdavi, S., 2015. Investigation on Mechanical Properties of Composite From Recycled Hdpe Filled by Furfural Residue Produced From Bagasse, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30 (3): 376-387.
- Ashori, A. and Nourbakhsh, A., 2008. Effect of Press Cycle Time and Resin Contents on Physical and Mechanical Properties of Particleboard Panels Made from the Underutilize Low-quality Raw Materials, *Industrial Crops and Products*, 28(2): 225–230.
- Ayrilmis, N., Kaymakci, A. and Ozdamir, F., 2013. Physical, Mechanical and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell

- Nourbakhsh, A., 2010. Effects of particle size and coupling agent concentration on mechanical properties of particulate-filled polymer composites, *Thermoplastic Composites Material*, 23(2): 169-174.
- Pilarski, J.M. and Matuana, L.M., 2005. Durability of wood – plastic composites exposed to accelerated freeze – thaw cycling. Part I. Rigid PVC matrix. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 11(1): 1 – 8.
- Razavi-nouri, M., Dogouri, F.J., Oromiehie, A. and Langroudi, A., 2006. Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Chopped Rice Husk Filled Polypropylene Composites, *Iranian Polymer Journal* 15 (9): 757-766.
- Rostamian, R., Heidarpour, M., Mousavi, S. and Afyuni, M., 2015. Application of Rice Husk Biochar to Desalinate Irrigation Water, *Journal of Water and Soil Sciences*, 19(71): 21-30
- Schip, A. and Stender, J., 2010. Properties of extruded wood – plastic composites based on refiner wood fibers (TMP fibers) and hemp fibers. *European Journal of Wood Products*, 68, 219 – 231.
- Svab, I., Musil, V. and Leskovac, M., 2005. The adhesion Phenomena in Polypropylene/wollastonite, *Journal of acta chimica Sinica*, 52: 264-271.
- Yadvan, S.M. and Bin Yusoh., K., 2015. Mechanical and physical properties of wood – plastic composites made of polypropylene, wood flour and nanoclay. *International Journal of Agriculture, Forestry and plantation*, Vol. 1. (Sept.), 52 – 58.
- Zahedi, M., Tabarsa, T., Madhoushi, M. and Shakeri, A.R., 2013. Effect of nanoclay (Montmorillonite) on the physical-mechanical properties of polypropylene/ wood flour composites. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20(3): 95-110.
- Zhang, Q., Yi, W., Li, Z., Wang, L. and Cai, H., 2018. Mechanical properties of rice husk biochar reinforced high density polyethylene composites. *Polymers Journal*, 10: 286: 1-10.
- Zhu, S. Guo, Y. Chen, Y. Su, N. Zhang, K. and Liu, S., 2016. Effects of incorporation nano-bamboo charcoal on the mechanical properties and thermal behaviour of bamboo-plastic composites. *BioResources*, 11(1): 2684-2697.
- Environmental Engineering. FI – 90014, Oulu yliopisto, Finland. p: 116.
- Hu, R. and Lim, J. K., 2007. Fabrication and mechanical properties of completely biodegradable hemp fiber reinforced PLA composites. *Journal of composite materials*, 41, 1655 – 1669.
- Ikram, S., Das, O. and Bhattacharyya, D., 2016. A parametric study of mechanical and flammability properties of biochar reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 91, 177-188.
- Izekor, D.N., Amiandamhen, S.O. and Agbarhoaga, O.S., 2013. Effect of geometric particle sizes of wood flour on strength dimensional properties of wood plastic composites. *Journal of Applied and Natural Science*, 5(1), 194 – 199.
- Jayamani, E. and Bakry, M.K.B., 2015. Dielectric properties of lignocellulosic fibers reinforced polymer composites: Effect of fiber loading and alkaline treatment. *Material Today Proceeding*, 2(4-5), 2757 – 2766.
- Levasseur, O., Stafford, L., Gherardi, N., Naude, N., Blanchard, V., Blanchet, P. and Riedle, B., 2012. Deposition of hydrophobic functional groups on wood surfaces using atmospheric-pressure dielectric barrier discharge in helium-hexamethyldisiloxane gas mixtures, *Plasma Processes and Polymers*, 9(11-12), 1168-1175.
- Li, X., Lei, B., Lin, Z., Huang, L., Tan, S. and Cai, X., 2014. The utilization of bamboo charcoal enhances wood plastic composites with excellent mechanical and thermal properties, *Material and Design*, 53: 419-424.
- Manolache, S., Jiang, S., Rowell, R.M. and Denes, F.S., 2008. Hydrophobic wood surfaces generated by non-equilibrium, atmospheric pressure (NEAPP) plasma enhanced coating. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 483(1), 348 – 351.
- Nagulia, I.G., Petrissans, M. and Gerardin, P., 2007. Chemical reactivity of heat - treated wood. *Wood Science and Technology Journal*, 41(2), 157-168.
- Najafi, S.K., Hamidinia, E. and Tajvidi, M., 2006. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(5): 3641-3645.
- Nourbakhsh, A., Karegarfard, A., Ashori, A. and

Comparison of the effect of walnut shell and charcoal flour on the characteristics of wood-plastic composites

M.R. Mousavi¹, A. Tabei^{2*}, M. Madanipour³ and M. Farsi⁴

1-Ph.D Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran

2*-Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran, Email: Tabei_asr@yahoo.com

3-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran

4-Associated Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

Received: Dec., 2021

Accepted: Jan., 2022

Abstract

In this study, the effect of walnut shell and charcoal flour on the applied characteristics of the resulting plastic composites was investigated. For this purpose, walnut shell and charcoal flour in three levels of 20, 30 and 40% were mixed with high density polyethylene using Brabender internal mixer during the melt mixing process, then standard test samples were made by injection molding method. Mechanical properties including tensile and flexural strength, tensile and flexural modulus and impact strength were measured. Physical properties including water absorption and thickness swelling after 24 hours immersion were evaluated and scanning electron microscopy images were also examined. The results showed that the flexural strength and impact strength of the wood plastic composite containing 40% walnut shell flour were higher than the samples containing 40% charcoal flour. Also, by increasing the walnut shell and charcoal flour from 20 to 30%, the flexural strength increased by 3.3% and 6.1%, respectively, and by increasing the walnut shell and charcoal flour from 20 to 40%, the flexural modulus increased by 51.9% and 63.8%, respectively. Other results of mechanical strength indicate that with increasing walnut shell charcoal from 20 to 40%, tensile strength and modulus increased to 22.9 and 109.7%, respectively, and with increasing walnut shell and charcoal flour from 20 to 40%, the impact strength decreased by 6.6 and 5.4%, respectively. The results of physical properties showed that with increasing walnut shell and charcoal flour from 20 to 40%, water absorption for 24 hours decreased by 19.2 and 8.4%, respectively, and thickness swelling by 24 hours decreased by 53.6 and 46.7%, respectively.

Keywords: Walnut shell and charcoal flour, wood plastic composite, Tensile strength, Flexural modulus