خواص فیزیکی و مکانیکی چوب پلاستیک بر پایه خاک اره MDF با افزودنی‌های خاک اره زغال، گوگرد و پودر لاستیک بازیافتی

چکیده

در این پژوهش، اثر خاک اره MDF با افزودنی‌های خاک اره زغال، گوگرد و پودر لاستیک بازیافتی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. پودر لاستیک بازیافتی در سه سطح صفر، ۲/۵ و ۵ درصد و گوگرد در سه سطح صفر، ۲ و ۴ درصد همچنین خاک اره زغال و MDF با نسبت‌های ۳۰ و ۶۰ درصد مورداستفاده قرار گرفت. مواد در دستگاه میکسر گشتاوری مخلوط و پس از خارج کردن و سرد شدن مواد با دستگاه خردکن نیمه صنعتی به گرانول تبدیل و گرانول‌ها در داخل قالب ریخته و زیر پرس گرم قرار داده و در نهایت از پرس سرد استفاده شد. خواص مکانیکی شامل مقاومت خمشی، کششی و فشاری، مدول خمشی و کششی همچنین خواص فیزیکی شامل جذب آب، واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد افزودن ۶۰ درصد خاک اره MDF موجب افزایش مقاومت و مدول شد؛ اما با افزایش پودر لاستیک و گوگرد مقاومت و مدول کاهش یافت. جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت با افزودن ۶۰ درصد خاک اره زغال، ۴ درصد گوگرد و ۵ درصد پودر لاستیک بازیافتی کاهش یافت. نتایج مقاومت خمشی، کششی و فشاری توسط میکروسکوپ الکتریکی مورد تأیید قرار گرفت.

واژگان کلیدی: چوب پلاستیک، خاک اره زغال، گوگرد، پودر لاستیک ضایعاتی.

هادی علی‌یاری بروجنی[1*]
محمد شمسیان[2]
بابک نصرتی ششکل[3]

[1] دانشجو دکتری مهندسی صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[2] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[3] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مسئول مکاتبات:
hadialiyari@outlook.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۹

مقدمه

روزانه مقدار زیادی از زباله‌های پلاستیکی به محیط زیست وارد می‌شود که بازیافت آنها، اهمیت اقتصادی و زیستی زیادی دارد [۱]. با وجودی که جهان با کاهش منابع طبیعی تجدید شونده و تجدید ناپذیر روبرو است؛ ولی کماکان آسیب‌های جبران‌ناپذیر بر پیکره محیط زیست ادامه دارد. صنعت چوب پلاستیک به عنوان صنعتی جدید، علاوه بر حفظ بهتر محیط زیست و منابع طبیعی، قادر است نقش به سزایی در تولید محصولات جدید با ویژگی مهندسی شده داشته باشد [۲]. مواد چوب پلاستیک شامل چوب (پودر چوب یا الیاف چوب) به عنوان پرکننده و پلیمر گرمانرم (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل‌کلراید) به عنوان ماده زمینه است [۳]. از برتری‌های استفاده از این مواد در صنعت چوب پلاستیک می‌توان به سبکی، دانسیته پایین، قیمت پایین، سختی ویژه، تجدیدپذیری محصولات تولید شده اشاره کرد. افزایش مواد مصرف این محصول در فضاهای باز باعث توجه به دوام این محصول شده است [۴]. علی‌رغم کاربرد وسیع، از معایب چوب پلاستیک ناسازگاری بین الیاف طبیعی آب‌دوست و پلیمرهای آب‌گریز اشاره کرد. این ناسازگاری باعث چسبندگی ضعیف در سطح اتصال بین الیاف و ماده زمینه پلیمری شده که منجربه کاهش توانایی در انتقال تنش از

ماده زمینه پلیمری به الیاف و به تبع آن کاهش استحکام مکانیکی چندسازه مـی‌گـردد [۵].

کامپوزیت‌ها مواد ناهمگنی هستند که از یک ماتریس فاز پلیمری و انواع دیگر مواد کمکی-پرکننده تشکیل شده‌اند. پرکننده یا فاز تقویت‌کننده که معمولاً از استحکام مکانیکی بیشتری نسبت به فاز پلیمری برخوردار است. ماتریس پلیمری برای ترکیب تمام اجزای یک کامپوزیت طراحی شده است و وظیفه انتقال تنش‌ها بین پرکننده‌ها را بر عهده دارد [۶]. زغال چوب محصول اصلی پیرولیز چوب است و ممکن است به دلیل هزینه نسبتاً کم و دردسترس‌بودن بالا، گزینه مناسبی برای جایگزینی پرکننده‌های معمولی باشد. این منبع زیستی فراوان، سازگار با محیط زیست، کم‌هزینه و قابل‌تجدید روی زمین است. چوب و بقایای چوب را می‌توان در دمای بالا در غیاب اکسیژن به زغال چوب تبدیل کرد، که امروزه یک فناوری بالغ است [۷]. از خواص منحصربه‌فرد زغال چوب می‌توان به ترکیب یکنواخت و تخلخل زیاد آن اشاره کرد. زغال چوب با توجه به قابلیت جذب فوق‌العاده مواد شیمیایی که دارد به عنوان جاذب در فیلترهای آب، ماسک‌های گاز، مصارف ضدباکتری/ضدقارچ و قرص‌های ضد معده برای افراد مبتلا به سوءهاضمه و غیره استفاده می‌شود [۸]. علاوه بر مزایای ذکر شده، زغال چوب برای افزایش خواص کامپوزیت‌های پلیمری چوب (WPC[1]) نیز استفاده می‌شود [۹]. اهمیت زغال چوب بامبو (BC[2]) را در افزایش مقاومت در برابر آب، استحکام خمشی/کششی و خواص حرارتی WPC نشان داده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که BC در WPC ها تعامل بین سطحی قوی دارد [۱۰]. از ذرات زغال چوب بامبو (BC) به عنوان تقویت کننده برای پلی لاکتیک اسید (PLA[3]) استفاده کردند و دریافتند که استحکام کششی، مقاومت خمشی و شاخص شکل‌پذیری کامپوزیت‌های BC/PLA به ترتیب ۴۳، ۵۲ و ۹۹ درصد در مقایسه با PLA تمیز افزایش می‌یابد [۱۱]. زغال چوب را می‌توان به عنوان پرکننده رسانا استفاده کرد؛ زیرا رسانایی الکتریکی بالایی دارد و پایداری حرارتی بالا آن را برای پردازش مذاب مناسب می‌کند. با این حال، بسیاری از محققان زغال چوب را به عنوان یک جاذب موردمطالعه قرار داده‌اند و تحقیقات کمی در مورداستفاده از آن برای بهبود خواص مکانیکی و الکتریکی کامپوزیت‌های زغال چوب-پلاستیک وجود دارد [۷]. در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، زغال چوب به عنوان سوخت خانگی برای پخت‌وپز و گرمایش استفاده می‌شود [۸].

تایرهای فرسوده وسایل نقلیه از جمله مواد تجزیه ناپذیری هستند که بازیافت آنها کمک زیادی به محیط‌زیست می‌کند. در دهه‌های اخیر افزایش استفاده از اتومبیل باعث رشد چشمگیر تولید تایر شده است و به تبع آن شاهد انباشته‌های بزرگی از تایرهای استفاده شده هستیم. با توجه به حجم استفاده از تایر فرض حذف یکباره آن به دلیل تجزیه‌ناپذیر بودن و آلوده‌کردن محیط‌زیست وحشتناک بوده و معادل تعطیلی بخش قابل‌توجهی از صنایع جهان از جمله صنعت حمل‌ونقل است [۱۲]. بیشتر کشورهای جهان شرکت‌ها را تشویق به استفاده از ضایعات تایر اتومبیل برای جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست می‌کنند [۱۳]. ویژگی رزین فنل فرمالدهیدی که در آن پودر لاستیک ضایعاتی به عنوان پرکننده به‌کاررفته است را در ساخت LVL ۴ مورد بررسی قرارداد و در سه سطح ۱۰،۲۰ و۳۰ درصد پودر تایر ضایعاتی با اندازه ابعاد۴۰،۶۰ و ۸۰ مش را آزمایش کرد. نتیجه بررسی نشان می‌دهد که LVL ساخته شده با زرین فنل فرمالدهید حاوی۲۰درصد پرکننده پودر تایر با اندازه ابعاد۶۰ مش، بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی را در بین تمامی تیمارها داشتند [۱۴].

باسابقه گسترده گوگرد در سیستم‌های پلیمری (لاستیک و کوپلیمرها)، از آن به عنوان عامل تقویت کننده فیزیکی در فرمولاسیون‌های کامپوزیتی با ترموپلاستیک‌ها استفاده نشده است .اکثر تحقیقات در مورد شیمی گوگرد با پلیمرها اختصاص‌یافته است؛ زیرا در شرایط متوسط رادیکال‌هایی را تشکیل می‌دهد .اما این عنصر دارای خواص فیزیکی خوبی است که آن را به عنوان پرکننده غیرفعال در ترموپلاستیک‌ها مناسب می‌کند [۱۵]. گوگرد عنصری مستقیماً با اتصال دهنده عرضی در

[1] Wood plastic composites
[2] Bamboo charcoal
[3] Poly lactic acid
[4] Laminated veneer lumber

دمای بالا بدون استفاده از هیچ حلال یا آغازگر واکنش نشان داد تا کوپلیمرهای غنی از گوگرد بسیار دارای پیوند متقابل تولید کند .خواص کوپلیمرها نیز با کنترل محتوای مونومر و همچنین انتخاب پیوندهای متقابل مناسب قابل‌تنظیم هستند. با این حال، این روش گازهای سمی را در طول واکنش تولید می‌کند و همچنین فرایند تا سطح معینی به دلیل شتاب خودکار واکنش کم شده است .حتی اگر خواص پلیمر با ساختار مونومر و نسبت تغذیه قابل‌کنترل باشد، خواص مکانیکی آنها بسیار کمتر از ترموپلاستیک‌ها است [۱۶]. با توجه به کاهش روز افزون منابع چوبی و افزایش لاستیک فرسوده و مصرف کم بازیافت خاک اره MDF و خاک اره زغال در ایران در این تحقیق استفاده بهینه از خاک اره MDF و خاک اره زغال به جای ماده چوبی و پودر لاستیک بازیافتی و گوگرد استفاده و کامپوزیت چوب پلاستیک ساخته شد همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد مورداستفاده در این پژوهش شامل خاک اره MDF که از کارگاه کابینت‌سازی واقع در شهرستان بروجن و خاک اره زغال از کارگاه تولیدی زغال، برش و بسته بندی (مشهد) جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده و خاک‌اره‌ها با الک ۳۰ مش الک و ماده پلیمری از پلی اتیلن بازیافتی از کارگاه تولیدی بهمن پلیمر (اصفهان)، ضایعات لاستیک از شرکت مهر فانه تجارت (تهران) با ابعاد ۳۰ مش و گوگرد از شرکت آریا شیمی (زاهدان) تهیه شد.

روش‌ها

فرایند اختلاط و ساخت نمونه‌ها

خاک اره MDF، خاک اره زغال، درصد گوگرد بر مبنای وزن خشک پلیمر استفاده شد، درصد ضایعات لاستیک بازیافتی بر مبنای وزن خشک خاک اره MDF، خاک اره زغال استفاده شد و پلیمر مطابق جدول ۱ توسط دستگاه میکسر گشتاوری (پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران) با ظرفیت ۳۰۰ سی‌سی در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و دور ۸۰ rpm مخلوط و مواد داغ شکل‌پذیر به‌دست‌آمده از فرایند اختلاط، پس از خارج‌شدن از میکسر جمع‌آوری و پس از سرد شدن به منظور تهیه گرانول از دستگاه خردکن نیمه صنعتی مدل WG- LS 200/200 (آلمان) استفاده شد. گرانول در داخل قالب به ابعاد ۵×۸۰×۱۵۰ میلیمتر ریخته شد و در داخل پرس گرم هیدرولیک روغنی تخت ساخت شرکت رنجبر با مشخصات S. W. P.125 و Control system= p. l. c در دمای ۱۸۵، زمان ۱۰ دقیقه و فشار ۳۰ بار انجام شد. پس از پایان پرس گرم، پرس سرد قرار گرفت تا نمونه کامل سرد شود. پس از مرحله پرس سرد به منظور تهیه نمونه آزمونی به ابعاد برش داده شد که برای هر یک از تیمارها ۳ تکرار و کلیه آزمون خواص فیزیکی (جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت) و خواص مکانیکی (مقاومت خمش، کشش، فشار و مدول خمشی، کشش) انجام شد.

جدول ۱-درصد وزنی اجزای تشکیل‌دهنده ترکیبات مختلف کامپوزیت چوب پلاستیک

تیمار	گوگرد (٪)	پلیمر (٪)	خاک اره زغال (٪)	خاک اره MDF (٪)	ضایعات پودر لاستیک (٪)
۱	۰	۴۰	۶۰	۰	۰
۲	۰	۴۰	۳۰	۳۰	۰
۳	۰	۴۰	۰	۶۰	۰
۴	۲	۳۸	۵۷/۵	۰	۲/۵
۵	۲	۳۸	۲۸/۷۵	۲۸/۷۵	۲/۵
۶	۲	۳۸	۰	۵۷/۵	۲/۵
۷	۴	۳۶	۵	۰	۵
۸	۴	۳۶	۲۷/۵	۲۷/۵	۵
۹	۴	۳۶	۰	۵۵	۵

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی

مقاومت و مدول الاستیسیته خمشی مطابق با آیین‌نامه ASTM- D 790 و با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه و مقاومت و مدول الاستیسیته کشش مطابق با آیین‌نامه ASTM- D 638 و با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه و مقاومت فشاری ASTM D 6108 و با سرعت بارگذاری ۱ میلی‌متر بر دقیقه بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای این منظور از دستگاه HOUNS با مدل H 25 KS با ظرفیت سلول ۲۵۰۰۰ نیوتن استفاده شد. آزمون‌های فیزیکی نیز شامل جذب آب و کشیدگی ضخامت مطابق با آیین‌نامه ASTM- D 7031- 04 انجام و در نهایت مقدار جذب آب و وکشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری به ترتیب t با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$WA_{(t)} = \frac{W_{(t)} - W_{(o)}}{W_{(o)}} \times 100 \qquad (۱)$$

$W_{(t)}$ = مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری t (٪)،
$W(t)$ = وزن نمونه در زمان غوطه‌وری مورد‌نظر (gr)،
$W(o)$ = وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری (gr).

$$TS_{(t)} = \frac{T_{(t)} - T_{(o)}}{T_{(o)}} \times 100 \qquad (۲)$$

$TS_{(t)}$ = واکشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t (٪)،
$T_{(t)}$ = ضخامت نمونه در زمان غوطه‌وری مورد‌نظر (mm)،
$T_{(o)}$= ضخامت اولیه نمونه‌ها (mm).

میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

به منظور بررسی دقیق‌تر مرفولوژی سطوح شکست و ناحیه بینابینی پلیمری و پرکننده‌ها تصاویری توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی تهیه گردید. در این روش از سطح شکست نمونه‌های آزمون خمش، مقطع‌گیری و مقداری از هر نمونه روی یک نوار کربنی یک‌پایه از Al قرار داده شد، مقاطع به دلیل جلوگیری از پدیده شارژ ساکن توسط لایه نازکی از طلا به ضخامت ۱۱ nm پوشیده و تمام تصاویر با ولتاژ تسریع شده ۱۵ کیلوولت بررسی شدند. دستگاه واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گیلان **مدل PHILIPS-XL30** ساخت کشور هلند استفاده شد.

آنالیز آماری داده‌ها

داده‌های توسط نرم‌افزار SPSS با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی متعادل تجزیه و تحلیل شد و در صورت معنی‌داری تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه دانکن بررسی گردید.

جدول ۲- مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از تجزیه و تحلیل آماری

نوع آزمون	پودر لاستیک ضایعاتی (A)	گوگرد (B)	خاک اره زغال (C)	خاک اره MDF (D)	A × B ×D×C
مقاومت خمشی	۱۷/۷۵۹$^{(*)}$	۱۳/۳۹۲$^{(*)}$	۲/۸۶۷$^{(n.s)}$	۱/۱۱۷$^{(n.s)}$	۶/۱۶۸$^{(*)}$
مدول الاستیسیته خمشی	۱/۷۲۶$^{(n.s)}$	۱/۵۹۸$^{(n.s)}$	۰/۹۱۶$^{(n.s)}$	۰/۷۹۸$^{(n.s)}$	۱/۴۲۳$^{(n.s)}$
مقاومت کششی	۴/۱۴۰$^{(*)}$	۳/۶۶۲$^{(*)}$	۰/۶۶۸$^{(n.s)}$	۰/۴۷۱$^{(n.s)}$	۲/۱۷۶$^{(n.s)}$
مدول الاستیسیته کششی	۱/۶۸۵$^{(n.s)}$	۱/۶۱۵$^{(n.s)}$	۰/۵۹۱$^{(n.s)}$	۰/۵۲۱$^{(n.s)}$	۱/۳۰۲$^{(n.s)}$
مقاومت به فشار	۹/۸۷۷$^{(*)}$	۸/۲۸۹$^{(*)}$	۱/۱۴۱$^{(n.s)}$	۰/۵۹۴$^{(n.s)}$	۳/۷۹۴$^{(n.s)}$
جذب آب ۲ ساعت	۲۷۸/۵۲۲$^{(*)}$	۴/۴۲۶$^{(*)}$	۲۷۵/۸۲۴$^{(*)}$	۴/۳۶۷$^{(*)}$	۲۵۶/۱۷۴$^{(*)}$
جذب آب۲۴ ساعت	۱۸۷/۵۳۶$^{(*)}$	۵/۴۹۸$^{(n.s)}$	۲۰۷/۵۷۴$^{(*)}$	۶/۳۹۸$^{(*)}$	۱۴۶/۹۷۲$^{(*)}$
واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت	۲/۷۸۸$^{(n.s)}$	۲/۲۹۰$^{(n.s)}$	۳/۸۵۸$^{(*)}$	۳/۴۱۹$^{(*)}$	۲/۰۹۹$^{(n.s)}$
واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت	۶/۳۶۷$^{(*)}$	۲/۴۸۷$^{(n.s)}$	۱۸/۵۸۳$^{(*)}$	۱۱/۹۷۷$^{(*)}$	۷/۰۵۰$^{(*)}$

معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد (*)، غیرمعنی داری (n.s)

نتایج و بحث

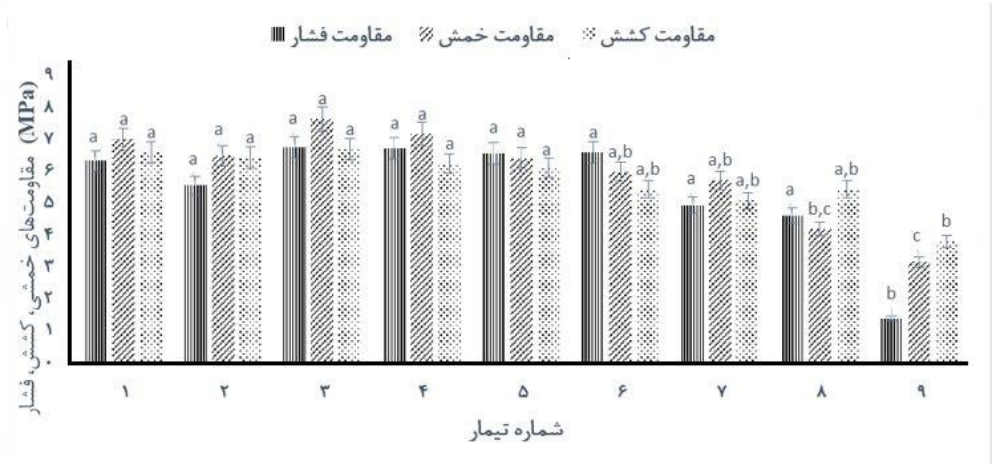
در جدول ۲ مقدار F و سطح معنی‌دار مربوط به تجزیه و تحلیل آماری را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول مشخص است مقادیر میانگین خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک ساخته شده و در صورت اختلاف معنی داری بین میانگین‌ها، گروه بندی آنها توسط ازمون دانکن در سطح ۹۵ درصد انجام شد.

مقاومت خمشی، کششی، فشار و مدول خمشی، کششی

نتایج نشان داد در تأثیر متقابل خاک اره زغال، خاک اره MDF، گوگرد و پودر لاستیک ضایعاتی در سطح ۹۵ درصد تفاوت در مقادیر مقاومت خمشی، کششی و فشاری به ترتیب (معنی‌دار، غیرمعنی‌دار، غیرمعنی‌دار) و در مدول خمشی و کششی هر دو غیرمعنی‌دار می‌باشد. وقتی هم زمان همه تیمار استفاده شد موجب تعدیل مقاومت خمشی گردید.

همان‌طور که در شکل ۱ و ۲ مشاهده می‌شود بیشترین مقاومت خمشی، کششی و فشاری همچنین مدول خمشی و کششی مربوط به نمونه حاصل از ۶۰درصد خاک اره MDF می‌باشد که با نتایج Chaharmahali و همکاران (۲۰۰۵) و Bouafif و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد [۱۷ و ۱۸]. و با افزایش پودر لاستیک ضایعاتی ازصفر به ۵ درصد مقاومت‌ها و مدول کاهش یافت [۱] و همچنین با افزایش گوگرد از صفر به ۴ درصد مقاومت‌ها و مدول کاهش پیدا کرد [۱۶].

دلیل این امر این است که ذرات نرمه MDF به صورت الیاف بسیار ریز بوده و از طول سطح ویژه و همین طور ضریب لاغری بیشتری برخوردار بودند، واکنش مناسب‌تری با ماده زمینه برقرار نموده و در انتقال تنش بیشتر مؤثر بوده‌اند؛ بنابراین چندسازه حاصل خواص مقاومتی بالاتری نشان داد. مقدار جزئی چسب موجود بر روی این ذرات به‌هیچ‌وجه باعث عدم واکنش‌پذیری آن‌ها نشده؛ بلکه بهبود ویژگی‌ها را همچنین می‌توان به وجود مقدار اندک چسب (سخت شده) بر روی نرمه‌های MDF نسبت داد که باعث سازگاری بهتر این ذرات با پلیمر شده و موجب ایجاد اتصالات بهتر می‌شود [۱۹ و ۲۰]. رزین اوره فرمالدئید در ذرات نرمه MDF و فشار اعمال شده بر روی تخته‌های MDF باعث افزایش سختی می‌شود. چوب پلاستیک‌های ساخته شده با ذرات نرمه MDF ، مقادیر سختی بالاتری نسبت به تخته‌های ساخته شده از آرد چوب نشان دادند [۲۱]. استفاده از لاستیک بازیافتی موجب کاهش در خواص مکانیکی می‌گردد. همچنین می‌توان به سست‌تر بودن مقاومت ذاتی ذرات تایر از یک‌سو و ضعیف‌بودن اتصالات برقرار شده بین ذرات و لاستیک از سوی دیگر اشاره کرد [۱۳]. همچنین ضعف ذاتی و افزایش تعداد چنین اتصالات ضعیفی با افزایش مقدار پودر به طور سیستماتیک افزایش می‌یابد. گرچه این ذرات ماهیتاً ضدآب هستند؛ اما به دلیل مقاومت پایین مکانیکی سبب کاهش مقاومت خمشی می‌شوند [۲۲]. همچنین با افزایش مصرف پودر تایر در ساخت چندسازه، مقاومت‌های مکانیکی کاهش می‌یابند و علت آن را باید افزایش تمرکز تنش در اطراف ذرات در مصرف بالای پودر تایر دانست. دمای پرس مورداستفاده در ساخت پانل‌ها، قادر به ذوب کردن ذرات پودر تایر نبوده، درنتیجه منجر به چسبندگی ضعیفی بین ذرات شده است [۲۳]. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد گوگرد مذاب پس از سرد شدن ابتدا دارای مقاومت بالایی بوده؛ اما باگذشت زمان بخش چشمگیری از مقاومت خود را از دست می‌دهد [۲۴]. با این حال، استفاده مستقیم از گوگرد به دلیل ماهیت بسیار شکننده و حلالیت کم آن در حلال‌های آلی محدود است . تکنیک ولکانیزاسیون معکوس با واکنش گوگرد با پیوندهای متقاطع آلی برای تولید کوپلیمرهای گوگرد بر این مسائل غلبه می‌کند. کوپلیمرها در مقایسه با ترموپلاستیک‌های سنتی، خواص مکانیکی بسیار پایین‌تری از خود نشان می‌دهند با افزایش گوگرد، ذرات گوگرد اضافی تا حدی تکه، تکه شده و تمایل به خروج از ماتریس را دارد. این رفتار نشان‌دهنده کاهش چسبندگی سطحی در کامپوزیت‌ها است. خارج‌شدن گوگرد در درصدهای بالا نشان‌دهنده کم‌شدن قابل‌توجه بازده تقویت کننده گوگرد است [۱۶].



شکل ۱- تأثیر متقابل پودر لاستیک، گوگرد، خاک اره زغال، خاک اره MDF بر مقاومت خمشی، کششی و فشاری کامپوزیت چوب پلاستیک (تیمار مربوط به جدول۱)

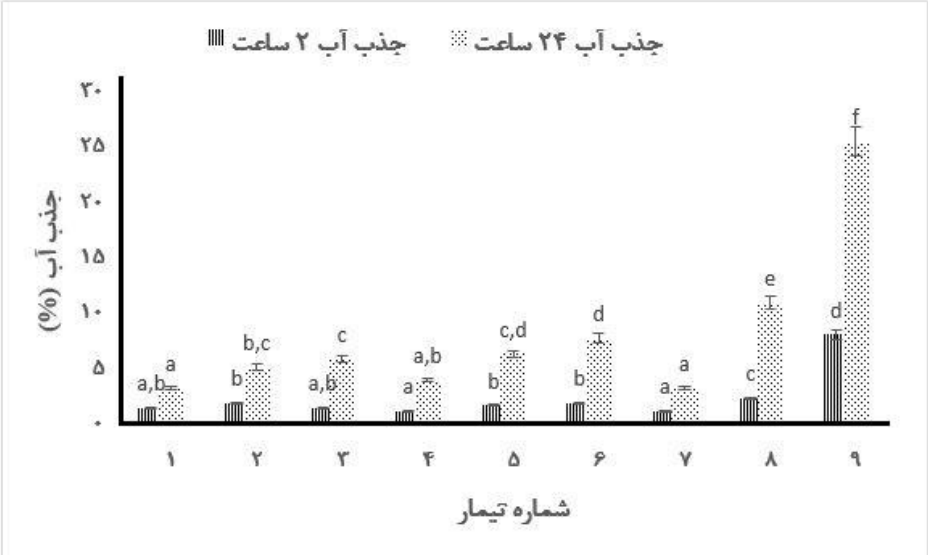
شکل ۲- تأثیر متقابل پودر لاستیک، گوگرد، خاک اره زغال، خاک اره MDF بر مدول الاسیسیته خمشی، کششی کامپوزیت چوب پلاستیک (تیمار مربوط به جدول۱)

جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

نتایج نشان داد تأثیر متقابل خاک اره زغال، خاک اره MDF، گوگرد و پودر لاستیک ضایعاتی در سطح ۹۵ درصد تفاوت در مقادیر جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت به ترتیب (معنی‌دار، معنی‌دار، غیرمعنی‌دار، معنی‌دار) می‌باشد. وقتی هم زمان همه تیمار استفاده شد موجب تعدیل جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت و واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت گردید. همان گونه که در شکل ۳ و ۴ مشاهده می‌شود کمترین جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت مربوط به نمونه حاصل از ۶۰ درصد خاک اره زغال [۲۵]، افزایش ۵ درصد پودر لاستیک ضایعاتی [۲۳] و همچنین افزایش ۴ درصد گوگرد [۲۶] می‌باشد.

افزودن زغال چوب به چوب پلاستیک جذب آب را بهبود می‌بخشد جذب آب و واکشیدگی ضخامت با افزایش زغال چوب کاهش می‌یابد زغال چوب پراکندگی همگن و برهم‌کنش‌های سطحی قوی در کامپوزیت داشت [۹]. نفوذناپذیری ذرات زغال مانع نفوذ آب به درون زمینه پلیمری می‌گردد. فرایند تبدیل آرد چوب به زغال سبب می‌شود که گروه‌های هیدروکسیل آب‌دوست قابل‌دسترس زنجیره‌های سلولزی کاهش یابد که این عمل باعث جذب آب و واکشیدگی ضخامت کمتر در کامپوزیت می‌گردد [۲۵ و ۲۷]. پودر لاستیک یک ماده آبریز و چوب یک ماده آب‌دوست می‌باشد؛ بنابراین طبیعی است هرچه از مقدار ماده آب‌دوست چوب کم و به مقدار ماده آب‌گریز پودر لاستیک در ساخت پانل افزوده شود، کاهش جذب آب و

واکشیدگی ضخامت پانل را به همراه دارد [۱۳ و ۲۲]. همچنین افزایش پودر لاستیک ضایعاتی سبب بهبود واکشیدگی ضخامت پانل‌های ساخته شده می‌گردد. ضایعات لاستیک به دلیل ویژگی هیدروفوبیک شان، مقاومت به رطوبت را بهبود می‌بخشند. گروه‌های هیدروکسیل با افزایش ذرات لاستیک کاهش می‌یابد که موجب بهبود واکشیدگی ضخامت می‌شود. سطوح ذرات پودر لاستیک به‌طورکلی دارای انرژی سطحی کم، غیرقطبی و آب‌گریز است [۲۲]. جذب آب کامپوزیت با درصدهای مختلف گوگرد مورد بررسی قرار گرفت که با افزایش درصد گوگرد موجب کاهش جذب آب به دلیل افزایش اتصالات عرضی می‌باشد [۲۸ و ۲۳].

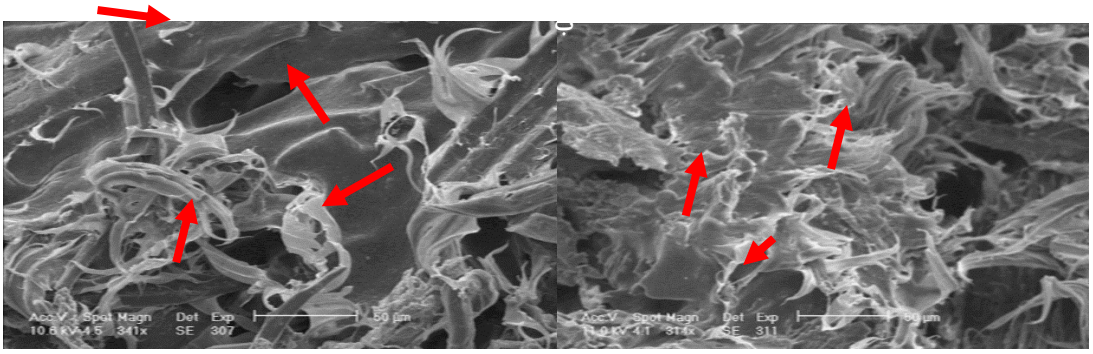


شکل ۳- تأثیر متقابل پودر لاستیک، گوگرد، خاک اره زغال، خاک اره MDF بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت کامپوزیت چوب پلاستیک (تیمار مربوط به جدول۱)

شکل ۴- تأثیر متقابل پودر لاستیک، گوگرد، خاک اره زغال، خاک اره MDF بر واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت کامپوزیت چوب پلاستیک (تیمار مربوط به جدول۱)

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

بررسی سطح شکست کامپوزیت به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌تواند اطلاعات مناسبی از اتصالات بین دو فاز و چگونگی تأثیر مواد افزودنی از قبیل لاستیک بازیافتی و گوگرد به ساختمان کامپوزیت را نشان دهد. شکل ۵- الف، به‌وضوح نشان می‌دهد که اتصال بین خاک اره MDF به عنوان پرکننده و پلی اتیلن بازیافتی به عنوان ماتریس باعث ایجاد پیوند قوی‌تر بین دو فاز شده و خاک اره و پلیمر فعل‌وانفعالات بهتری را نشان می‌دهد همچنین حفرات کمتر وجود دارد که موجب می‌شود مقاومت مکانیکی افزایش پیدا کند [۲۹]. شکل ۵- ب، نشان می‌دهد که با اضافه‌کردن گوگرد و لاستیک بازیافتی در کامپوزیت حاصل از خاک اره MDF و پلیمر موجب کاهش پیوند بین دو فاز شده پراکندگی الیاف بیشتر است حفرات بیشتر و بزرگ‌تر در تصویر مشاهده می‌شود در نتیجه موجب کاهش مقاومت مکانیکی می‌گردد [۱۶ و ۳۰].



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی پویشی: الف) کامپوزیت حاوی خاک اره MDF، ب) کامپوزیت حاوی خاک اره MDF، گوگرد ۴ درصد و ضایعات لاستیک بازیافتی ۵ درصد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت چوب پلاستیک بر پایه خاک اره MDF با افزودنی‌های خاک اره زغال، گوگرد و پودر لاستیک بازیافتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که ۶۰ درصد خاک اره MDF در کامپوزیت چوب پلاستیک موجب افزایش مقاومت‌های خمشی (N/mm^2 ۷/۶۷)، کشش (N/mm^2 ۶/۷۱) و فشاری (N/mm^2 ۶/۷۹) همچنین موجب افزایش مدول خمشی (N/mm^2 ۱۲۲/۶) و کشش (N/mm^2 ۸۴۸/۵۱) می‌شود. استفاده ۶۰ درصد خاک اره زغال، ۵ درصد پودر لاستیک بازیافتی و ۴درصد گوگرد موجب کاهش جذب آب ۲ ساعت (۱/۱۷ درصد) و ۲۴ ساعت (۳/۱۹ درصد) و واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت (۰/۵۰ درصد) و ۲۴ ساعت (۲/۷۳ درصد) کاهش می‌دهد. تصاویر SEM نیز نشان داد که افزایش مقاومت مکانیکی کامپوزیت حاصل اتصالات بهتر بین دو فاز خاک اره MDF و پلیمر می‌باشد. توصیه می‌گردد با توجه به این که خاک اره MDF بیشترین مقاومت مکانیکی را در این تحقیق داشت در آینده با توجه به کاهش منابع چوبی از بازیافت خاک اره MDF در چوب پلاستیک استفاده شود. همچنین با توجه به این که استفاده از ۲/۵ درصد پودر لاستیک بازیافتی موجب افزایش مقاومت مکانیکی چوب پلاستیک نسبت به ۵ درصد پودر لاستیک بازیافتی بود پیشنهاد می‌شود ۲/۵ درصد پودر لاستیک بازیافتی در چوب پلاستیک استفاده شود.

منابع

[1] Habibi, M., KazemiNajafi, S. and Ghasemi, I., 2017. The effect of mixing method and nanoclay on physical, mechanical and morphological properties of wood plastic composite made from recycled low and high density polyethylene blends, Forest and Wood Products, Volume, 70(1), pp, 167-177. (In Persian).

[2] Ebrahimpour Kasmani, J. and Mahdavi, S., 2020. The effect of the addition of nanoclay on the properties of WPC made of MDF and wood composite board wastes with recycled polyethylene and polypropylene, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 35(1), pp, 1-10. (In Persian).

[3] Shahrajabian, H. and Maleki Khorasgani, A. R., 2018. Investigation of the physical and mechanical properties of Wood plastic composites based on high density polyethylene/ polypropylene/recycled poly (ethylene terephthalate, Journal of Science and Technology of Composites, 5(1), pp, 127-134. (In Persian).

[4] Rahmati, M. and Farajpour Roudsari, A., 2019. Physical and mechanical properties of nanocomposites obtained by mixing Lanjan rice husk flour, corn starch and nanoclay biopolymer, biannual journal of research on renewable natural resources, 10(1), pp, 39- 52. (In Persian)

[5] Kord, B., Nabinejad Maleh, M., Bandboni, A. and Najafi, A., 2016. Effect of chemical modification of wood material on the thermal properties and wettability of wood flour-polypropylene composites, J. of Wood & Forest Science and Technology, 23(4) pp, 215- 231. (In Persian).

[6] Polok-Rubiniec, M. and Włodarczyk-Fligier. A., 2020. Polypropylene matrix composite with charcoal filler, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 103(2), pp, 60- 66.

[7] Li, S., Li, X., Deng, Q. and Li, D., 2015. Three kinds of charcoal powder reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composites with excellent mechanical and, Materials and Design, 85, pp, 54–59.

[8] Kumar, R., Gunjalm, J. and Chauhan, S., 2021. Effect of carbonization temperature on properties of natural fiber and charcoal filled hybrid polymer composite, Composites Part B, 217, 108846, pp, 1- 9.

[9] 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, pp, 419- 424.

[10] Ho, M. P., Lau, K.T., Wang , H. and Hui, D., 2015. Improvement on the properties of polylactic acid (PLA) using bamboo charcoal particles, Composites Part B, 81, pp, 14-25.

[11] Das, O., Sarmah AK, Bhattacharyya D. A., 2015. novel approach in organic waste utilization through biochar addition in wood/polypropylene composites, Waste Manag, 38, pp, 132– 40.

[12] Ghasemzadeh Mosavi-nejad, S.H. and Alam Falaki, A., 2013. Physical and mechanical properties of plastic concrete containing waste rubber powder, 6th National Conference Concrete of Iran – Tehran, (pp. 1-10.) (In Persian).

[13] Kazemi, R., Faraji, F., Aminian, H. and Vaziri, V., 2022. The possibility of using waste tire particles for oriented strand board production, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 37(2), pp, 113-127. (In Persian).

[14] Babaei, H., 2017. Effect of using waste tire powder as a filler of alcohol soluble PF resin on physical and mechanical properties of poplar LVL, MS.c. thesis, 105p.

[15] Jena, K. and Alhassan, S., 2015. Melt processed elemental sulfur reinforced polyethylene composites, Journal of Applied Polymer sclence, pp, 1-14.

[16] Wadi, V., Halique, K. and Alhassan, S., 2020. Polypropylene–Elemental Sulfur (S8) Composites: Effect of Sulfur on Morphological, Thermal, and Mechanical Properties, ACS Paragon Plus Environment, 59(29), pp, 13079–13087.

[17] Chaharmahali, M., Kazemi Najafi, S., Tajvidi, M. and Pudinapur, M. A., 2005. Investigating the mechanical properties of wood-plastic composites made from chipboard and MDF wastes and heavy polyethylene wastes. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, pp, 20(2): 271-284. (In Persian)

[18] 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 Part A: Applied Science and Manufacturing, 40(12) pp, 1975–1981.

[19] Najafi, A., and Khademi-Eslam, H., 2011. Lignocellulosic filler/recycled HDPE composites: Effect of filler type on physical and flexurak properties, BioResources, 6(3), pp, 2411-2424.

[20] Ziyaie Khosroshahi, S., Mehdinia, M. and Enayati, A.A., 2014. A Comparative study of the physical and mechanical properties of Wood plastic composites made from different lignocellulosic materials and high density polyethylene, J. of Wood & Forest Science and Technology, 22(1), pp, 75- 92). (In Persian).

[21] Ghofrani, M., Ansari Movahed, D., Hasan Payan, M. and Khojasteh Khosro, S., 2014. Dimensional Stability and Mechanical Properties of Wood/Polypropylene Composite Containing MDF Sanding Dust, Environmental Sciences, 11(4), pp, 41- 50.

[22] Samouie, H., Faraji, F., Jamalirad, L. and Vaziri, V., 2021. Effect of using used tire rubber on physical and mechanical properties of Paulownia Oriented strand boards, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 36(1), pp, 1-13.

[23] Abasi, M., Vaziri, V., Faraji, F. and Aminian, H., 2018. Study on physical and mechanical properties of particleboard made of Wood particles-waste tire powder. Journal of Wood & Forest Science and Technology, J. of Wood & Forest Science and Technology, 25(2), pp, 165-176. (In Persian).

[24] Bahrami Ade, N., Mehtadi Haqiqi, M., Mohammad Hosseini, N., Papen, A., Khorram Jah, F. and Khani, H., 2013. Investigating the effect of mineral fillers on the mechanical properties and viscosity of modified sulfur, Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 33(2), pp, 1- 10. (In Persian).

[25] Chun Chen, Y. and Tai, W., 2018. Castor Oil-Based Polyurethane Resin for Low-Density Composites with Bamboo Charcoal, Polymers, 10, 1100, pp, 1- 12.

[26] Ismail Salmah, H. and Nasir, V., 2003. The effect of dynamic vulcanization on mechanical properties and water absorption of silica and rubberwood filled polypropylene/natural rubber hybrid composites, International Journal of Polymeric Materials, 52, pp, 229- 238.

[27] Mousavi, M. R., Tabei, A., Madanipour, M. and Farsi, M., 2022. Comparison of the effect of walnut shell and charcoal flour on the characteristics of wood-plastic composites, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 37(2), pp, 128- 140. (In Persian).

[28] Szajerski, P., Celinska, J., Gasiorowski, A. and Anyszka, R., 2020. Radiation induced strength enhancement of sulfur polymer concrete composites based on waste and residue fillers, Journal of Cleaner Production, 271,122563, pp, 1- 16.

[29] Kalagar, M., Marzban Moridani, E., Asadi, M. and Kolabi, B., 2017. The mechanical and morphological properties of recycled polyethylene-MDF saw dust composites, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 8(2), pp, 185- 195. (In Persian).

[30] Cakir Kabakçi, G., Aslan, O. and Bayraktar, E., 2022. A Review on Analysis of Reinforced Recycled Rubber Composites, Journal of Composites Science,225(6), pp, 1- 22.

Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites Based on MDF Sawdust with the Addition of Sawdust Coal, Sulfur, and Recycled Rubber Powder

Abstract

This study investigates the influence of MDF sawdust with coal sawdust additives, sulfur, and recycled rubber powder on the physical and mechanical properties of wood plastic composites. Recycled rubber powder was incorporated at three levels (0, 2.5, and 5 wt%) and sulfur at three levels (0, 2, and 4 wt%) , while coal sawdust and MDF were used at ratios of 30 and 60%, respectively. The materials were mixed in a torque mixer, converted into granules using a semi-industrial crushing machine, and then molded under hot and cold pressing conditions. Mechanical properties, including bending, tensile, and compressive strength, as well as bending and tensile modulus, were evaluated. Additionally, physical properties, such as water absorption and thickness swelling at 2 and 24 hours, were measured. The results revealed that the addition of 60% MDF sawdust enhanced the strength and modulus of the composites. Conversely, increasing the rubber powder and sulfur content led to a decrease in strength and modulus. Furthermore, the incorporation of 60% coal sawdust, 4 wt% sulfur, and 5 wt% recycled rubber powder was found to reduce water absorption and thickness swelling at both 2 and 24 hours. Scanning electron microscopy confirmed the observed trends in bending, tensile, and compressive strength.

Keywords: Wood, plastic, sawdust coal, sulfur, waste rubber powder.

H. A. Boroujeni[1*]
M. Shamsian[2]
B. Nosrati Sheshkal[3]

[1] PhD student in wood and cellulose industry engineering, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[2] Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[3] Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

Corresponding author:
hadialiyari@outlook.com

Received: 2023/09/05
Accepted: 2023/11/10