نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و دوم، شماره اول، ۱۳۹٤
http://jwfst.gau.ac.ir

بررسی مقایسه‌ای خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده از مواد لیگنوسلولزی مختلف و پلی‌اتیلن سنگین

سعید ضیایی خسروشاهی[۱]، *میثم مهدی‌نیا[۲] و علی‌اکبر عنایتی[۳]

[۱]کارشناسی‌ارشد گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۲]دانشجوی دکتری فرآورده‌های چندسازه چوبی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۱

چکیده

در این پژوهش اثر سه نوع ماده لیگنوسلولزی مختلف به‌عنوان پرکننده و نیز درصد اختلاط آن‌ها با پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)، بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی چند سازه‌های چوب پلاستیک بررسی و مقایسه شد. نرمه MDF، ذرات آرد ساقه سویا و آرد چوب صنوبر با نسبت‌های وزنی ٤٠، ٥٠ و ٦٠ درصد به‌همراه MAPE به‌میزان ۳ درصد به‌عنوان ماده سازگار کننده، با استفاده از اکسترودر دو ماردون همسوگرد با HDPE مخلوط گردید و به‌صورت گرانول درآمد. نمونه‌های آزمونی شامل نمونه‌های مقاومت خمش، مدول کششی و مقاومت ضربه و جذب آب و واکشیدگی ضخامت با استفاده از قالب‌گیری تزریقی ساخته شد و مطابق استاندارد ASTM مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد وزنی ماده پرکننده از ٤٠ به ٥٠ و ٦٠ درصد، مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته خمشی و مدول کششی و همچنین میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در حالی‌که مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که نمونه‌های ساخته شده با ذرات نرمه MDF در مقایسه با دو ماده پرکننده دیگر، بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی را دارا هستند؛ در حالی‌که چند سازه‌های ساخته شده با ذرات ساقه سویا ضعیف‌ترین خواص را از خود نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: چندسازه چوب پلاستیک، نرمه MDF، ذرات ساقه سویا، آرد چوب صنوبر، خواص فیزیکی و مکانیکی

*مسئول مکاتبه: Meysammehdinia@hotmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه، استفاده از الیاف چوبی به‌عنوان پرکننده و تقویت کننده در صنایع پلاستیک کاربرد زیادی پیدا کرده است. چند سازه‌های چوب- پلاستیک، در دهه گذشته، رشد چشمگیری داشته‌اند (مارکاریان، ۲۰۰۵). دارا بودن خواص سازگار با محیط‌زیست این چند سازه‌ها و همچنین نیاز کم به تعمیر و نگهداری، از جمله دلایل رشد سریع این فرآورده‌ها در کاربردهای جایگزین چوب بوده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). با افزایش شدید تقاضای بازار برای چند سازه‌های چوب پلاستیک، توجه زیادی نیز به سوی این فرآورده‌ها معطوف گشته و گزارش‌های زیادی در مورد اصلاح و بهبود خواص این چند سازه‌ها موجود می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۰٦). در دهه اخیر قیمت پلیمرها به‌علت افزایش مصرف و تقاضای بالا به سرعت افزایش یافته است (هتزر و کی، ۲۰۰۸). از این رو یکی از راهکارهای پیشنهادی در ساخت چند سازه‌ها، استفاده از مواد لیگنوسلولزی ارزان قیمت است. این موضوع می‌تواند در تولید مقرون به صرفه و تعدیل قیمت آن نقش مهمی داشته باشد. منابع ارزان قیمت مختلفی در دنیا وجود دارند که می‌تواند در تولید صنعتی چند سازه‌های چوب پلاستیک مورد استفاده قرار بگیرد (نجفی و خادمی اسلام، ۲۰۱۱). در کشور ما نیز که کمبود منابع چوبی جنگلی از جدی‌ترین چالش‌های پیش رو در بخش صنعت چوب و فرآورده‌های چوبی می‌باشد، روی آوردن به استفاده از ضایعات صنعتی و پسماندهای گیاهان کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه ناگزیر می‌نماید (مهدی‌نیا، ۲۰۱۱). یکی از مواد ضایعاتی صنعتی نرمه‌های حاصل از پروفیل‌زنی و سنباده‌زنی سطح MDF است. از سنباده‌زنی هر ورق MDF حدود ۵ کیلوگرم نرمه و ذرات ریز تولید می‌شود (مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۸) که بدون استفاده می‌ماند. انباشته شدن آن در محیط، مشکلات متعددی را برای کارخانجات و محیط‌زیست به‌وجود می‌آورد (نجفی و خادمی‌اسلام، ۲۰۱۱). در میان پسماند گیاهان کشاورزی نیز می‌توان به پسماندهای حاصل از گیاه سویا اشاره کرد که در زمین‌های کشاورزی رها می‌شود یا در مزارع توسط کشاورزان سوزانده می‌شود و سبب آلودگی محیط و تخریب بیولوژیکی خاک می‌گردد (مهدی‌نیا، ۲۰۱۱). استفاده از این منابع می‌تواند پاسخگوی بخشی از نیاز صنایع چوبی کشور باشد.

در مورد ساخت چند سازه چوب پلاستیک با استفاده بهینه از پسماندهای گیاهان کشاورزی و ضایعات صنایع چوب، تحقیقات قابل توجهی در سطح دنیا انجام شده است. در پژوهشی اثر اندازه ذرات کاه گندم و ساقه برنج با مقادیر ۱۵، ۳۰ و ٤۵ درصد وزنی چندسازه، بر خواص مکانیکی

Archive of SID

www.SID.ir

کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن سنگین- کاه (ساقه) برنج و گندم را بررسی شده است. نتایج نشان داد که افزایش ذرات کاه (گندم و برنج) تا مقدار ۳۰ درصد وزنی موجب بهبود استحکام کششی و خمشی چند سازه گشت ولی در ٤٠ درصد وزنی سبب کاهش خواص گردید. مقاوم در برابر ضربه با افزایش ذرات کاه، کاهش یافت. همچنین آمیزه‌های دارای ذرات ریزتر مقاومت به ضربه و مدول خمشی بهتری را نسبت به ذرات درشت‌تر نشان دادند. کامپوزیت‌های تهیه شده از کاه گندم در مقادیر یکسان نسبت به کاه ساقه برنج، خواص مکانیکی بهتری نشان دادند (شاکری و امیدوار، ٢٠٠٦). در مطالعه‌ای دیگر به‌منظور بررسی امکان استفاده از درصد بالای پرکننده در ساخت چوب پلاستیک، نرمه‌های حاصل از سنباده‌زنی سطح تخته خرده چوب با نسبت‌های متفاوت ٤٠، ٥٥ و ٧٠ درصد را به‌عنوان پرکننده برای ماتریس زمینه پلی‌پروپیلن به‌کار بردند. نتایج نشان داد که افزایش میزان پرکننده، سبب بهبود مدول خمشی و کاهش مدول کششی، مدول گسیختگی و مقاومت به ضربه چند سازه شده است (رامتین و همکاران، ٢٠٠٩). در یک مطالعه دیگر، الیاف کنف به‌عنوان فاز تقویت کننده در چند سازه‌های پلی‌پروپیلن- الیاف کنف به‌کار برده شدند. مقادیر الیاف کنف تا ٦٠ درصد عامل تغییر بود. نتایج نشان داد که مقاومت کششی و خمشی چندسازه تهیه شده با ٥٠ درصد کنف، قابل مقایسه با چندسازه تهیه شده با ٤٠ درصد الیاف شیشه می‌باشد. در نهایت عنوان شد که الیاف کنف می‌تواند به‌عنوان یک منبع جایگزین برای الیاف تقویت کننده معدنی به‌کار رود، در شرایطی که جذب آب زیاد، عامل بحرانی نمی‌باشد (سانادی و همکاران، ١٩٩٥). در مطالعه‌ای امکان استفاده از آرد سبوس برنج به‌عنوان پرکننده در تهیه چندسازه‌های پلی‌پروپیلن بررسی شد. نتایج نشان داد که مقاومت کششی چندسازه‌ها با افزایش میزان پرکننده به تدریج کاهش یافته و مدول کششی افزایش یافته است. همچنین مقاومت به ضربه چندسازه با افزایش مقدار پرکننده کاهش یافت (یانگ و همکاران، ٢٠٠٤). در پژوهشی دیگر تأثیر ویژگی‌های الیاف شامل تغییرات گونه چوبی به‌عنوان ماده پرکننده، اندازه ذرات و درصد وزنی استفاده از ذرات را بر روی خواص چوب پلاستیک بررسی شد. نتیجه گرفته شد که تغییرات در خواص سطحی الیاف، بلورینگی نسبی، تجزیه حرارتی و جرم ویژه گونه چوب باعث تغییر خواص چندسازه چوب پلاستیک می‌شود. افزایش اندازه ذرات و مقدار ذرات، مقاومت و سختی فرآورده را بهبود بخشید ولی مقاومت به ضربه کاهش یافت. جذب آب چند سازه نیز با افزایش مقدار ذرات بیشتر می‌شود. شد همچنین نوع ذرات آرد چوب در مقایسه با اندازه ذرات تأثیر بیشتری بر روی جذب آب داشتند. نتایج که این تحقیق نشان داد می‌توان با تنظیم اندازه و میزان استفاده از ذرات، بسته

Archive of SID

www.SID.ir

به استفاده نهایی، خواص چوب پلاستیک‌ها را بهینه‌سازی کرد (بوآفیف و همکاران، ۲۰۰۹). تحقیق حاضر به بررسی امکان استفاده از نرمه حاصل از پروفیل‌زنی MDF (به‌عنوان ضایعات صنعتی) و ذرات ساقه سویا (به‌عنوان ضایعات گیاهان کشاورزی) در تولید چندسازه چوب پلاستیک و مقایسه خواص آن‌ها با چوب پلاستیک ساخته شده از آرد چوب صنوبر می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

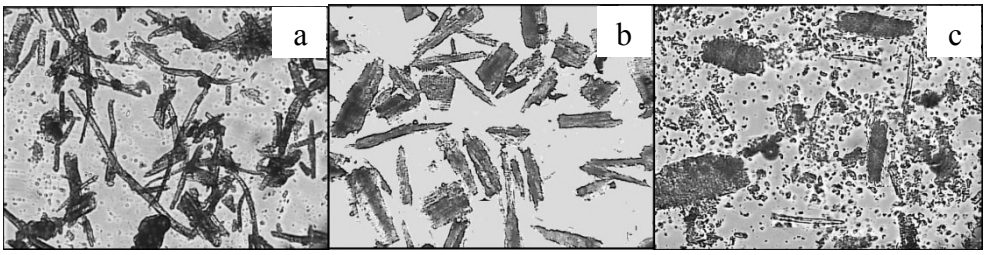
مواد: از سه نوع ماده لیگنوسلولزی شامل ذرات نرمه MDF حاصل از فرآیند پروفیل‌زنی MDF، ذرات آرد ساقه سویا و آرد چوب صنوبر به‌عنوان ماده پرکننده استفاده شد. نرمه‌های حاصل از پروفیل‌زنی MDF از خط تولید شرکت آیدا پروفیل تهیه شد. ساقه‌های سویا از مزارع استان گلستان و آرد چوب صنوبر نیز از خاک اره حاصل از برش چوب صنوبر (*Populus nigra*) تهیه شد. از پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) محصول شرکت پتروشیمی اراک با نام تجاری HD5620EA، شاخص جریان مذاب[1] ۲۰ g/10min و دانسیته ۰/۹۵٦ g/cm^3 به‌عنوان پلیمر و از مالئیک انیدرید پیوند داده شده با پلی‌اتیلن (MAPE) محصول شرکت کیمیا جاوید سپاهان با نام تجاری PE-G 101 و شاخص جریان مذاب ۵۰ g/10min به‌عنوان سازگار کننده استفاده شد.

ساقه‌های سویا پس از انتقال به کارگاه از هر گونه ناخالصی پاک و با استفاده از اره نواری به قطعات کوچک‌تر تبدیل شدند. سپس این قطعات به‌وسیله خردکن حلقوی آزمایشگاهی از نوع Pallmann به تراشه (Flake) و توسط آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل شدند. آرد چوب صنوبر نیز از آسیاب کردن خاک اره ناشی از برش چوب صنوبر تهیه شد. ذرات نرمه MDF نیاز به آماده‌سازی خاصی نداشتند. برای یکنواختی ذرات و رسیدن به ابعاد مناسب، آرد هر سه نوع ماده لیگنوسلولزی با استفاده از الک با اندازه منافذ ٦۰ مش (۰/۲۵ میلی‌متر) الک شده و ذراتی که از الک عبور کردند به‌عنوان ماده اولیه در نظر گرفته شدند. قبل از فرآیند اختلاط، نرمه‌ها در یک اتو آزمایشگاهی به‌مدت ۲٤ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس قرار گرفتند و تا رطوبت ۱ درصد خشک شدند.

1- Melt Flow Index (MFI)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- تصویر میکروسکوپی از سه نوع ماده پرکننده مورد استفاده (بزرگ‌نمایی ٤٠ برابر)
a- ذرات نرمه MDF، b- آرد چوب صنوبر، c- آرد ساقه سویا.

روش‌ها: هر سه ماده لیگنوسلولزی با نسبت‌های وزنی ٤٠، ٥٠ و ٦٠ درصد نسبت به وزن کل چندسازه (بر اساس جدول ١) به‌همراه سایر مواد افزودنی (سازگار کننده و روان کننده) با استفاده از دستگاه اکسترودر دو ماردون همسوگرد مدل USEON, TDS26B مخلوط شدند. دمای متوسط ١٦٠ درجه سلسیوس و سرعت موتور ١٩٠ دور دقیقه در نظر گرفته شد. مخلوط خارج شده از دستگاه به صورت رشته‌ای بوده که پس از خنک شدن و عبور از خردکن به گرانول تبدیل شدند.

برای ساخت نمونه‌های آزمونی از روش قالب‌گیری تزریقی[1] با دمای ١٨٠ درجه سلسیوس استفاده شد. نمونه‌های آزمونی شامل نمونه‌های خمش استاتیک، کشش و ضربه فاق‌دار و بدون فاق بودند که از هر نمونه تعداد ٤ قطعه برای هر یک از تیمارها ساخته شد. قبل از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، نمونه‌های ساخته شده برای رسیدن به تعادل رطوبتی، به‌مدت ٢ هفته در شرایط کلیمای استاندارد (دمای ٢٠ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ٦٥ درصد) قرار گرفتند.

خواص فیزیکی (جذب آب و واکشیدگی ضخامت) چند سازه‌های چوب پلاستیک مطابق استاندارد ASTM D570 و خواص مکانیکی شامل مقاومت به کشش مطابق استاندارد ASTM D638 و مقاومت خمشی با استفاده از آیین‌نامه استاندارد ASTM D790 اندازه‌گیری شدند. این آزمون‌ها با استفاده از ماشین آزمایش INSTRON-4486 با سرعت بارگذاری ٨ میلی‌متر بر دقیقه انجام گرفت. آزمون مقاومت به ضربه (فاق‌دار و بدون فاق) نیز بر اساس استاندارد ASTM D256 و توسط دستگاه ضربه پاندولی انجام شد.

1- Inection Molding

Archive of SID

www.SID.ir

این بررسی با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام و به‌منظور آنالیز آماری داده‌های حاصل از نرم‌افزار SPSS و تکنیک تجزیه واریانس استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

جدول ۱- ترکیب تیمارها و سطوح متغیر.

کد تیمار	نوع ماده پر کننده	درصد اختلاط ماده پر کننده	HDPE (درصد)	MAPE (درصد)
۱	آرد چوب صنوبر	٤۰	٦۰	۳
۲	آرد چوب صنوبر	۵۰	۵۰	۳
۳	آرد چوب صنوبر	٦۰	٤۰	۳
٤	نرمه MDF	٤۰	٦۰	۳
۵	نرمه MDF	۵۰	۵۰	۳
٦	نرمه MDF	٦۰	٤۰	۳
۷	آرد ساقه سویا	٤۰	٦۰	۳
۸	آرد ساقه سویا	۵۰	۵۰	۳
۹	آرد ساقه سویا	٦۰	٤۰	۳

نتایج

جذب آب و واکشیدگی ضخامت: با توجه به ناچیز بودن میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت کوتاه مدت (۲ و ۲٤ ساعت) چوب پلاستیک‌های حاصل از روش قالب‌گیری تزریقی، در مورد این چندسازه‌ها جذب آب بلندمدت مطرح می‌شود. به گونه‌ای که اندازه‌گیری میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها در طول دوره‌های مکرر تا زمان ثابت شدن مقدار این ویژگی‌ها ادامه پیداکرد. این زمان در مورد چند سازه‌های مورد مطالعه ۱۲۹٦ ساعت به طول انجامید.

Archive

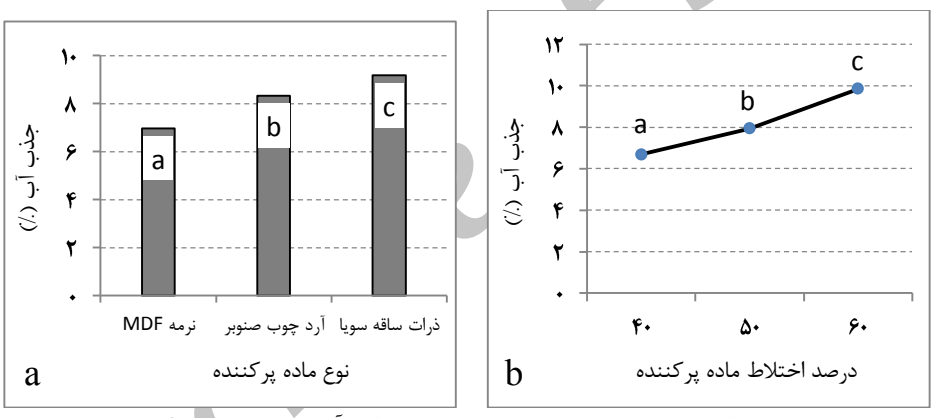
www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر روی جذب آب و واکشیدگی ضخامت طولانی مدت.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات		میانگین مربعات		مقدار F		Sig.	
		WA	TS	WA	TS	WA	TS	WA	TS
نوع پرکننده	۲	۲۹/۵۹	٤۱/٤۹	۱٤/۷۹	۲۰/۷٤	۱۱۷/۵۵	۷۳/۱٦	۰/۰۰۰ **	۰/۰۰۰ **
درصد اختلاط	۲	٦۱/۱٤	۱۵/۱۵	۳۰/۵۷	۷/۵۷	۲٤۲/۸۳	۲۵٦/۸۳	۰/۰۰۰ **	۰/۰۰۰ **
نوع پرکننده * درصد اختلاط	٤	۰/۱۷۳	۰/۲۵۲	۰/۰٤۳	۰/۰٦۳	۰/۳٤٤	۲/۱۳	۰/۸٤٦ ns	۰/۱۰۳ ns

WA جذب آب، TS واکشیدگی ضخامت، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns بدون اثر معنی‌دار.

نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر روی جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

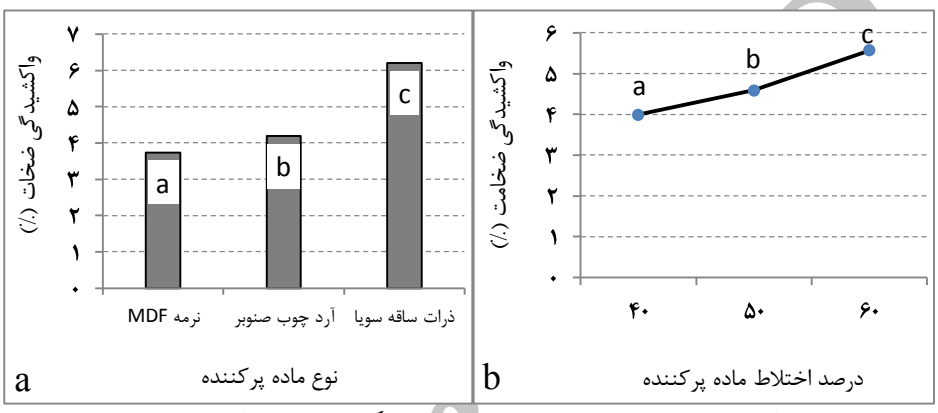


شکل ۲- اثر مستقل عوامل متغیر بر روی جذب آب طولانی مدت.

بر اساس جدول ۲، تأثیر مستقل نوع ماده پرکننده بر روی جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۲a و ۳a مشاهده می‌شود، کمترین میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت مربوط به نمونه‌های ساخته شده با نرمه MDF بوده و نمونه‌های ساخته شده با ذرات آرد ساقه سویا بیشترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت در طولانی مدت را دارا می‌باشند.

www.SID.ir

در مورد اثر مستقل درصد وزنی ماده پرکننده بر روی جذب آب و واکشیدگی ضخامت، همان گونه که در شکل‌های ۲b و ۳b قابل مشاهده است، با افزایش درصد وزنی ماده پرکننده از ٤۰ درصد به ۵۰ و ٦۰ درصد، میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌های آزمونی افزایش یافته و میانگین‌ها در گروه‌های مجزا قرار گرفته‌اند. بر اساس جدول ۱ تفاوت آن‌ها از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.



شکل ۳- اثر مستقل عوامل متغیر بر روی واکشیدگی ضخامت طولانی مدت.

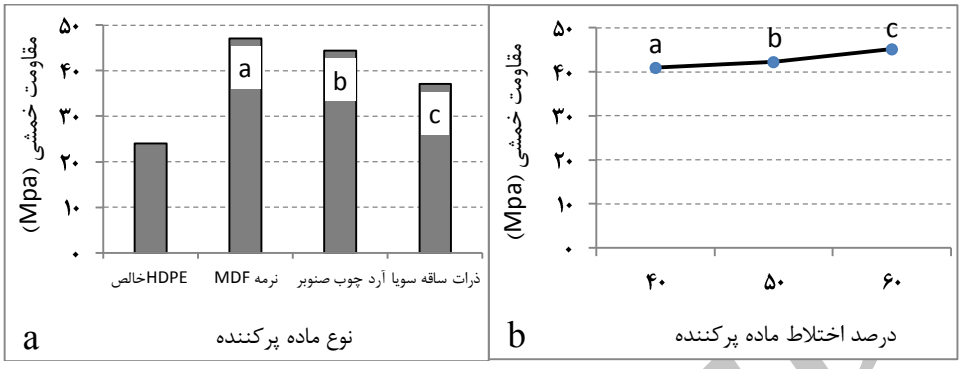
مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته خمشی: مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) در آزمون خمش استاتیک یکی از شاخص‌های مهم و کاربردی چند سازه‌های چوب پلاستیک بوده که کیفیت و میزان تحمل فرآورده را در برابر نیروهای خمشی نشان می‌دهد. مدول‌الاستیسیته خمشی نیز نشان دهنده مقاومت چندسازه در برابر تغییر شکل در محدوده‌الاستیک می‌باشد. جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر روی مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته خمشی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر روی مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته خمشی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات		میانگین مربعات		مقدار F		Sig.	
		MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE
نوع پرکننده	۲	٦٤۵/۰۱	۲۱۷۲۲۲۷/۵۵	۳۲۲/۵۰	۱۰۸٦۱۱۳/۷۷	۱٦۲/۷٦	٦۸/۳۳	۰/۰۰۰ **	۰/۰۰۰ **
درصد اختلاط	۲	۱۱۱/۱۰	۷۲٤۷٤٤۲/۰۵	۵۵/۵۵	۳٦۲۳۷۲۱/۰۲	۲۸/۰۳	۲۲۷/۹۹	۰/۰۰۰ **	۰/۰۰۰ **
نوع پرکننده * درصد اختلاط	٤	۸/۰۸	۱٤۲۷۷۱/۲۷	۲/۰۲	۳۵٦۹۲/۸۱	۱/۰۲	۲/۲٤	۰/۰۹۰ ns	۰/٤۱۵ ns

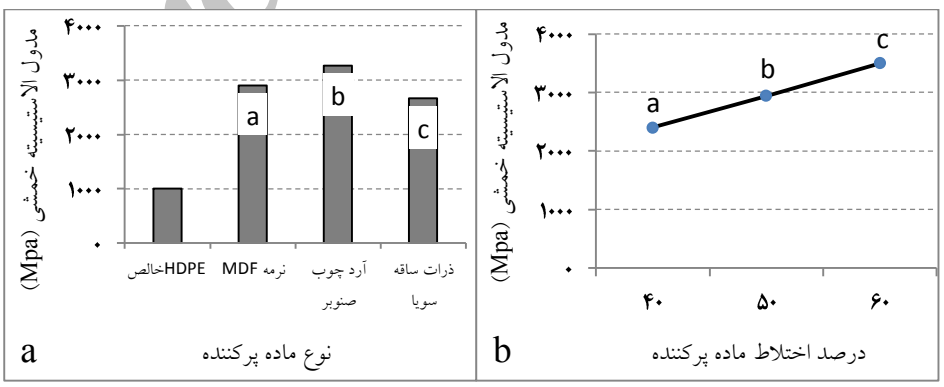
MOR مقاومت خمشی، MOE مدول‌الاستیسیته خمشی، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns بدون اثر معنی‌دار.

Archive
www.SID.ir



شکل ٤- اثر مستقل عوامل متغیر بر روی مقاومت خمشی.

اثر مستقل نوع ماده پرکننده بر روی مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته خمشی به‌ترتیب در شکل‌های ٤a و ٥a نشان داده شده است. در شکل ٤a مقاومت خمشی پلیمر خالص (HDPE) نیز آورده شده است و اثر تقویت‌کنندگی استفاده از مواد پرکننده بر روی مقاومت خمشی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است، بیشترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه‌های ساخته شده با ذرات نرمه MDF بوده و چوب پلاستیک‌های ساخته شده با ذرات آرد ساقه سویا در مقایسه با سایرین کمترین مقاومت خمشی و کمترین مدول‌الاستیسیته خمشی را دارا می‌باشند (شکل ٥a) و تفاوت بین آن‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. بر اساس شکل ٥a بیشترین مدول‌الاستیسیته خمشی مربوط به چندسازه ساخته شده با آرد چوب صنوبر است. اثر تقویت‌کنندگی استفاده از ماده پرکننده نیز در این شکل نمایان می‌باشد.



شکل ٥- اثر مستقل عوامل متغیر بر روی مدول‌الاستیسیته خمشی.

www.SID.ir

با توجه به شکل‌های ٤b و ٥b و جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد ماده پرکننده از ٤۰ درصد به ٥۰ و ٦۰ درصد، مقاومت خمشی و مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه‌های چوب پلاستیک افزایش معنی‌داری داشته است که این افزایش در مورد مدول‌الاستیسته خمشی (شکل ٥b) نمایان‌تر می‌باشد.

مدول کششی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نوع پرکننده و درصد اختلاط پرکننده بر روی مدول کششی در جدول ٤ خلاصه شده است.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر روی مدول کششی.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	Sig.
نوع پرکننده	۲	٤٦٦۰۱٥/۳۸	۲۳۳۰۰۷/٦۹	٥/۷۷	۰/۰۰۸**
درصد اختلاط	۲	۱/٥۹ × ۱۰^۷	۷۹۷۳۲٥۲/۷۷	۱۹۷/٦٥	۰/۰۰۰**
نوع پرکننده * درصد اختلاط	٤	۱۷٦٤٥٦/۷۷	٤٤۱۱٤/۱۹	۱/۰۹	۰/۳۸۰ns

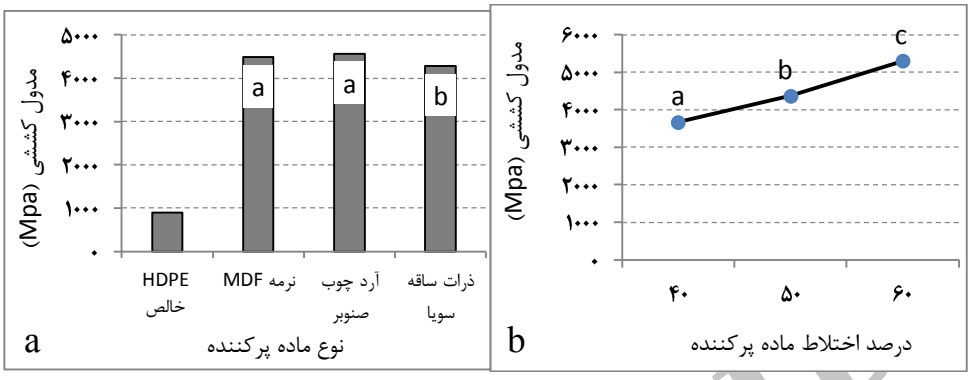
** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ٥ درصد، ns بدون اثر معنی‌دار.

نتایج حاکی از آن است که اثر مستقل هر دو عامل متغیر بر روی مدول کششی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. همان‌طور که در شکل ٦a مشاهده می‌شود، میانگین مدول کششی نمونه‌های حاوی ذرات نرمه MDF و آرد چوب صنوبر به‌طور مشترک در یک گروه قرار گرفته‌اند، در حالی که نمونه‌های حاوی ذرات آرد ساقه سویا، با مدول کششی کمتر در گروه دیگر قرار گرفته‌اند. در این شکل اثر تقویت کنندگی استفاده از ماده پرکننده بر روی مدول کششی چندسازه نیز قابل مشاهده است. همان‌گونه که مشخص است استفاده از ماده پرکننده باعث افزایش چشمگیر مدول کششی پلاستیک (HDPE) شده است که بیان‌گر توان بالای مواد لیگنوسلولزی به انتقال تنش (نسبت به پلیمر با مدول کم)، می‌باشد و این امر سبب بهبود ویژگی‌های چندسازه می‌شود.

شکل ٦b نشان می‌دهد که با افزایش درصد وزنی ماده پرکننده از ٤۰ درصد به ٥۰ و ٦۰ درصد، مدول کششی چندسازه‌های ساخته شده افزایش معنی‌داری داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٦- اثر مستقل عوامل متغیر بر روی مدول کشسی.

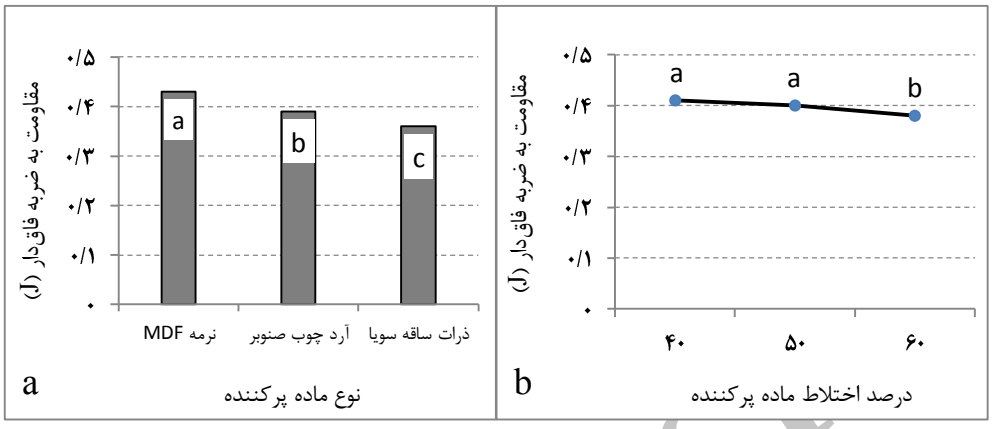
مقاومت به ضربه (فاق‌دار و بدون فاق): مقاومت به ضربه فاق‌دار یا شکاف‌دار، معرف مقاومت ماده در برابر گسترش و چگونگی شکست است. در حالی‌که مقاومت به ضربه بدون فاق نشان دهنده مقاومت ماده در برابر ایجاد شکست می‌باشد. بنابراین بالا بودن این مقاومت نشان‌دهنده انرژی جذب شده بیشتر است.

جدول ٥- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر روی مقاومت به ضربه فاق‌دار و بدون فاق.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات		میانگین مربعات		مقدار F		Sig.	
		فاق‌دار	بدون فاق	فاق‌دار	بدون فاق	فاق‌دار	بدون فاق	فاق‌دار	بدون فاق
نوع پرکننده	۲	۰/۰۲۷	۰/۲٤٥	۰/۰۱۳	۰/۱۲۳	۲۸/۲۱	۱۱۹/۱۱	۰/۰۰۰ **	۰/۰۰۰ **
درصد اختلاط	۲	۰/۰۰۸	۰/۰۳۱	۰/۰۰٤	۰/۰۱٦	۸/۵۳	۱۵/۲٤	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۰ **
نوع پرکننده * درصد اختلاط	٤	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۳۷	۰/٦٥	۰/۸۲٤ ns	۰/٦۳۱ ns

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns بدون اثر معنی‌دار.

www.SID.ir



شکل ۷- اثر مستقل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه فاق‌دار.

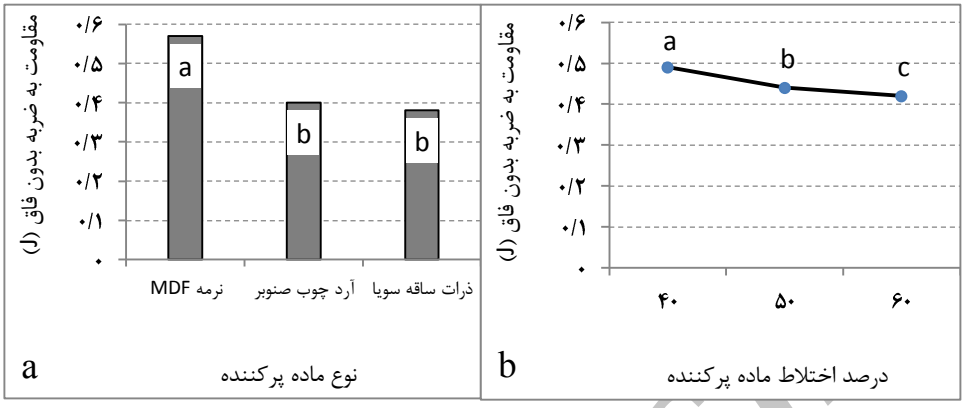
تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه (فاق‌دار و بدون فاق) نمونه‌ها در جدول ۵ آورده شده است که حاکی از وجود اثر معنی‌دار نوع و مقدار ماده پرکننده بر مقاومت به ضربه چندسازه می‌باشد.

با توجه به شکل ۷a مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار مقاومت به ضربه فاق‌دار، مربوط به چند سازه‌های ساخته شده با نرمه MDF بوده و نمونه‌های حاوی ذرات آرد ساقه سویا کمترین مقدار مقاومت به ضربه فاق‌دار را دارا می‌باشند. به‌علاوه شکل ۸a نشان می‌دهد که بین مقاومت به ضربه نمونه‌های بدون فاق چندسازه‌های ساخته شده با آرد چوب صنوبر و آرد ساقه سویا تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و بیشترین میزان مقاومت مربوط به چوب پلاستیک حاوی ذرات نرمه MDF می‌باشد.

اثر مستقل مقدار ماده پرکننده بر مقاومت به ضربه (فاق‌دار و بدون فاق) نمونه‌ها معنی‌دار می‌باشد (شکل‌های ۷b و ۸b). به‌طوری که با افزایش درصد وزنی ماده پرکننده از ٤۰ به ۵۰ و ٦۰ درصد، میزان این مقاومت کاهش یافته و میانگین‌های این ویژگی در تیمارهای مختلف در گروه‌های مجزا قرار گرفته‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸- اثر مستقل عوامل متغیر بر مقاومت به ضربه بدون فاق.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این بررسی بیان‌گر این است که چوب پلاستیک ساخته شده با آرد ساقه سویا، بیشترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت را دارا می‌باشند. در حالی‌که کمترین میزان این ویژگی‌ها مربوط به نمونه‌های حاوی ذرات نرمه MDF می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توضیح داد که ساقه‌های سویا به‌دلیل دارا بودن مغز چوب پنبه‌ای، پس از خرد و آسیاب شدن نیز حاوی این ذرات بوده و وجود این ذرات در آرد ساقه سویا، پس از اختلاط آن با پلیمر، موجب افزایش جذب آب چند سازه می‌گردد. در صورتی‌که در نمونه‌های حاوی نرمه‌های MDF آغشته به چسب و ماده آب‌گریز (پارافین)، تا حدی از آب‌دوستی ذرات نرمه کاسته شده و چوب پلاستیک ساخته شده با این ذرات از خواص فیزیکی مطلوب‌تری برخوردار هستند.

با افزایش درصد وزنی ماده پرکننده در چندسازه‌ها، میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت افزایش یافته است. این گمان که الیاف سلولزی یا ذرات چوبی در چندسازه با پلاستیک پوشانده می‌شود، به‌طور کامل معتبر نیست. طبیعت قطبی و آب‌دوست الیاف سلولزی باعث می‌شود که با اضافه کردن ماده پرکننده لیگنوسلولزی به ماتریس پلیمری (و افزایش مقدار آن در ساختار چند سازه)، و متقابلا کاهش مقدار پلیمر، میزان در برگرفتگی ذرات پرکننده با پلیمر کاهش یافته و در نتیجه میزان

Archive of SID

www.SID.ir

جذب آب و واکشیدگی ضخامت افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج تحقیقات دیگر مطابقت دارد (شاکری و امیدوار، ۲۰۰۷؛ مهدی‌نیا، ۲۰۱۱ و بوآفیف و همکاران، ۲۰۰۹).

در تمامی تیمارها، چند سازه‌های ساخته شده با ذرات آرد ساقه سویا، در مقایسه با نمونه‌های حاوی دو نوع پرکننده دیگر (آرد چوب صنوبر و نرمه MDF)، خواص مکانیکی ضعیف‌تری را نشان دادند. دلیل این امر را نیز می‌توان به وجود ذرات بی‌شکل و چوب پنبه‌ای (مغز ساقه سویا) در آرد ساقه سویا نسبت داد که اتصالات مناسبی را با پلی‌اتیلن ایجاد نکرده و در انتقال و توزیع تنش کمتر مؤثر بوده‌اند. نوع ماده سلولزی و سازگاری آن با ماده زمینه گرمانرم در تولید چند سازه‌های چوب پلاستیک بسیار مؤثر است. طول الیاف سلولزی، اجزای تشکیل دهنده و مقدار ضریب کشیدگی آن‌ها از ویژگی‌های مهم در افزایش مقاومت مکانیکی چند سازه است (شاکری و امیدوار، ۲۰۰۷). ذرات نرمه MDF به‌عنوان پرکننده، سازگاری بهتری با پلی‌اتیلن و MAPE نشان داده و چندسازه‌های حاصل خواص مکانیکی مطلوب‌تری ارائه دادند. همچنین می‌توان گفت چون ذرات نرمه MDF به صورت الیاف بسیار ریز بوده (در مقایسه با دو ماده پرکننده دیگر که تنها آرد شده بودند) و از طول، سطح ویژه و همین‌طور 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. ضمن این‌که مشاهدات حاکی از آن است که مقدار جزئی چسب موجود بر روی این ذرات به هیچ‌وجه باعث عدم واکنش‌پذیری آن‌ها نشده بلکه بهبود ویژگی‌ها را همچنین می‌توان به‌وجود مقدار اندک چسب (سخت شده) بر روی نرمه‌های MDF نسبت داد که باعث سازگاری بهتر این ذرات با پلی‌اتیلن شده و موجب ایجاد اتصالات بهتری می‌شود (نجفی و خادمی‌اسلام، ۲۰۱۱). افزایش درصد وزنی ماده پرکننده از ٤۰ درصد به ۵۰ و ٦۰ درصد باعث افزایش معنی‌دار خواص مکانیکی (مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته خمشی و مدول کششی) در چندسازه‌های مورد بررسی گردید که با نتایج شاکری و همکاران (۲۰۰٦)، مهدی‌نیا (۲۰۱۱) و بوآفیف (۲۰۰۹) مطابقت دارد. در توضیح علت این اثر می‌توان گفت که پلاستیک‌ها به‌طور کلی مقاومت خمشی مدول‌الاستیسیته پایینی دارند و یکی از اهداف استفاده از پرکننده تقویت این ویژگی‌ها در پلاستیک می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). زمانی‌که تمرکز و مقدار الیاف پرکننده کم است، مقدار الیاف کافی جهت تقویت ماتریس پلیمری وجود ندارد. همچنین مقدار کم الیاف فقط قسمت کمی از شبکه پلیمری را پوشش می‌دهند. در نتیجه حفره‌هایی بین الیاف و ماتریس به‌وجود می‌آید. در اثر افزایش مقدار الیاف (تا حد خاصی) این حفرات

Archive of SID

www.SID.ir

بین الیاف و ماتریس کاهش یافته و مقدار ذرات محکم و سفت چوبی در سیستم افزایش می‌یابد. بنابراین انتقال تنش از فاز پلیمری به‌ماده پرکننده به‌خوبی انجام شده و در نتیجه ماده تحت بار بیشتری می‌شکند در نتیجه مقاومت‌ها در مقایسه با حالتی‌که الیاف کمتر است، بهبود می‌یابند (مهدی‌نیا، ۲۰۱۱ و بوآفیف و همکاران، ۲۰۰۹). البته قابل ذکر است که در مواد مرکب چوب پلاستیک با مقادیر بالای الیاف پرکننده، پلاستیک نقش چسب را برای اتصال ذرات چوبی به هم ایفا کند که در نتیجه آن مقاومت‌ها کاهش می‌یابد (چهارمحالی و همکاران، ۲۰۰۷). مدول‌الاستیسیته کششی فرآورده‌ها نیز متأثر از مدول کششی اجزای تشکیل دهنده آن است. با توجه به این‌که مواد سلولزی مدول کششی نسبتاً زیادی دارند، در نتیجه می‌توانند مدول کششی چندسازه را بهبود بخشند. بنابراین با افزایش مقدار ماده پرکننده از ٤٠ به ٥٠ و ٦٠ درصد، مدول کششی چندسازه افزایش می‌یابد (مهدی‌نیا، ۲۰۱۱ و بوآفیف و همکاران، ۲۰۰۹).

با افزایش درصد وزنی پرکننده، مقاومت به ضربه (فاق‌دار و بدون فاق) چندسازه‌ها کاهش یافت. چون با افزایش مقدار ماده چوبی، میزان نقاط تمرکز تنش افزایش یافته و از همگنی ماده زمینه (پلیمر) کاسته می‌شود. در نتیجه چندسازه در برابر بار و نیروی کمتری می‌شکند. نتایج بررسی‌های بوآفیف (۲۰۰۹) و مهدی‌نیا (۲۰۱۱) نیز با این نتایج هم‌خوانی دارد.

نتایج این بررسی نشان داد که در تولید چندسازه چوب پلاستیک به روش قالب‌گیری تزریقی، استفاده از نرمه MDF (با اندازه ٦٠+ مش) به‌عنوان یکی از پسماندهای صنایع چوب، نتایج بسیار مطلوبی راحتی در مقایسه با چوب پلاستیک تقویت شده با ذرات آرد چوب ارائه می‌دهد. از آن‌جا که این نوع ذرات جهت استفاده در صنعت چوب پلاستیک نیاز به آماده‌سازی خاصی ندارند و تنها باید الک شوند، از نظر اقتصادی نیز بسیار مقرون به صرفه است. می‌توان در کنار واحدهای تولید تخته و پروفیل‌های MDF، جهت استفاده بهینه از نرمه‌های تولید شده، واحدهای صنعتی تولید چوب پلاستیک را راه‌اندازی کرد. لازم به یادآوری است که استفاده از الیاف ساقه سویا به‌عنوان عامل تقویت کننده نیز نتایج رضایت‌بخشی را نشان داد که در صورت دستیابی به روش‌هایی جهت حذف ذرات مغز و پوست از الیاف ساقه، می‌توان نتایج مطلوب‌تری به‌دست آورد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1.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 40: 1975–1981.

2.Chaharmahali, M., Tajvidi, M., and Kazemi Najafi, S. 2008. Mechanical Properties of Wood Plastic Composite Panels Made From Waste Fiberboard and Particleboard. POLYMER COMPOSITES 26:606-610. 2008 Society of Plastics Engineers. Published online (www.interscience.wiley.com).

3.Cheharmahali, M., Kazemi Najafi, S., and Tajvidi, M. 2007. Effect of manufacturing method on the mechanical and physical properties of wood plastic composites made from Particleboard wastes. Journal of wood and Paper researches, 21(1): 33-42. (In Persian)

4.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 Roh Werkst 64(3): 172-177.

5.Ebrahimi, Gh., and Rostampour Haftkhani, A. 2011. Wood Plastic Composites. Tehran University Press, 886p. (In Persian)

6.Hetzer, M., and Kee, D.De. 2008. Wood/polymer/nanoclay composites, environmentally friendly sustainable technology: A review. chemical engineering research and design. 86: 1083–1093.

7.Markarian, J. 2005. Wood plastic composites: current trends in materials and processing. Plastics, Additives and Compounding, 7(5): 20–26.

8.Mehdinia, M. 2011. Investigation the effect of soya stalk particles amount and geometry on physical and mechanical properties of natural fiber/plastic composite. 81p. MSc thesis. Natural Resources College. Tehran University

9.Mostaphazade, M., Kazemi Najafi, S., Cheharmahali, M., and Haj Hasani, R. 2008. Study of Creep behavior of composites made of particleboard and MDF Flour- high density polyethylene waste and its effect on water absorption. Journal of wood and Paper researches, 24(2): 194-205. (In Persian)

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

11.Ramtin, A.A., Karimi, A.N., and Tajvidi, M. 2011. Study the mechanical properties of composite made of fines resulting from the sanding particleboard – polypropylene. Journal of wood and Paper researches, 24(1): 58-68. (In Persian)

12.Sanadi, A.R. 1995. Renewable agricultural fibres as reinforcing fillers in plastics: Mechanical properties of Kenaf fiberpolypropylene composites. Industrial and Engineering Chemistry Research, 34(5): 1889-1896.

13.Shakeri, A., and Omidvar, A. 2007. Effect of straw type, content and particle size on the mechanical properties of PE/ straw composites. Journal of Polymer Sciences and Technology, 19(4): 301-308. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

14. Yang, H.S., Kim, H.J., Son, J., Park, H.J., Lee, B.J., and Hwang, T.S. 2004. Rice husk flour filled polypropylene compositesL; mechanical and morphological study. Journal of composite structures, 63: 305-312.
15. Zhang, Z.M., Du, H., Wang, W.H., and Wang, Q.W. 2010. Property changes of wood-fiber/HDPE composites colored by iron oxide pigments after accelerated UV weathering. Journal of Forestry Research 21(1): 59–62.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (1), 2015
http://jwfst.gau.ac.ir

A Comparative study of the physical and mechanical properties of Wood plastic composites made from different lignocellulosic materials and high density polyethylene

S. Ziyaie Khosroshahi[1], *M. Mehdinia[2] and A.A. Enayati[3]
[1]M.Sc. Student, Dept., of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tehran University, [2]Ph.D. Student, Dept., of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Professor, Dept., of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tehran University
Received: 11/21/2012 ; Accepted: 12/2/2014

Abstract

In this paper, the effects of 3 various lignocellulosic materials (as filler) and their mixture ratios with high density polyethylene (HDPE) on the physical and mechanical properties of WPC have been investigated and compared. MDF dust, soya stalk flour and poplar flour particles, with mixture ratios of 40, 50 and 60% (by weight) and HDPE were mixed using co-rotating twin-screw extruder. Maleic anhydrate polyethylene (MAPE) was used as coupling agent with mixture ration of 3%. Testing samples comprising fractural, tensile and impact samples, were prepared by injection molding, and then were tested with regard to the ASTM standards. Results showed that the increment of filler percentage in 40, 50 and 60 wt. % order could improve tensile and flexural strength, water uptake and thickness swelling, significantly while impact absorbing energy was on the wane. It was found that the samples made from MDF dust, had superior physical and mechanical properties comparing two other fillers. Meanwhile, composites made with soya stalk flour showed the weak physical and mechanical properties.

Keywords: Wood Plastic Composite, MDF dust, Soya stalk flour, Poplar flour particles, Physical and mechanical properties

*Corresponding author: Meysammehdinia@hotmail.com

Archive of SID
www.SID.ir