

تأثیر قطر گرانول‌های قابل انبساط و منبسط‌شده بر ویژگی‌های پانل‌های سبک‌وزن هیبریدی

صابر جعفرنژاد ثانی^۱، علی شالبافان^{۲*}، یان لوتکه^۳

۱. کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. استادیار مؤسسه پژوهش‌های چوب تونن، هامبورگ، آلمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۰۳

چکیده

این تحقیق با هدف تولید تخته‌های هیبریدی سبک‌وزن متشکل از لایه‌های سطحی الیاف و لایه مرکزی از مخلوط خرده‌چوب و گرانول‌های پلی‌استایرنی و بررسی شاخص‌های اثرگذار بر ویژگی‌های نهایی تخته‌ها انجام گرفت. پانل‌های سبک‌وزن هیبریدی با چگالی نهایی ۵۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب تولید شدند. از گرانول‌های پلی‌استایرنی به‌عنوان پرکننده در لایه مرکزی تخته‌ها استفاده شد. نوع گرانول‌های پلی‌استایرنی (قابل انبساط و پیش‌منبسط‌شده) و قطر گرانول‌های (ریز، متوسط و درشت) به‌کاررفته در لایه مرکزی پانل‌ها از شاخص‌های اثرگذار بر ویژگی‌های نهایی تخته‌هاست که در تحقیق حاضر ارزیابی شد. نتایج نشان داد که نوع گرانول به‌کاررفته برای ساخت تخته‌ها تأثیر مهمی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌ها دارد. افزایش مدول الاستیسیته و مقاومت به پیچ در سطح نمونه‌ها در صورت استفاده از گرانول‌های از پیش منبسط‌شده و افزایش چسبندگی داخلی در صورت استفاده از گرانول‌های قابل انبساط مشاهده شد. افزایش قطر در هر دو نوع گرانول، بیشترین تأثیر را بر افزایش مقاومت‌های مکانیکی تخته‌ها داشت. درصد واکنش‌دهی ضخامت در صورت استفاده از گرانول‌های ریزتر کمتر بود، اما افزایش قطر گرانول‌ها تأثیر معنی‌داری بر درصد جذب آب نمونه‌ها نداشت. با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از گرانول‌های پلی‌استایرنی قابل انبساط و درشت (با قطر ۲/۵ میلی‌متر) به‌عنوان پرکننده در ساخت پانل‌های سبک‌وزن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اوراق فشرده چوبی، تخته‌خرده‌چوب، پرکننده، پلی‌استایرن، سبک‌وزن.

مقدمه

برش‌کاری، حمل‌ونقل، جدا شدن اتصالات حاصل از آن (به‌دلیل وزن زیاد) و افزایش قیمت نهایی محصول به‌همراه خواهد داشت [۲]. کاهش چگالی اوراق فشرده چوبی از نظر نوآوری در فرایند تولید می‌تواند در مدیریت بهینه مواد اولیه در صنعت اوراق فشرده چوبی تأثیر اساسی داشته باشد [۳]. همچنین افزایش علاقه‌مندی بازار برای تولید محصولات و مبلمان با عناصر حجمی و ضخیم‌تر اما بدون افزایش وزن و قیمت نهایی محصول، موجب تشویق بیشتر تولیدکنندگان اوراق فشرده چوبی به تولید محصولات با چگالی کمتر می‌شود [۴].

چگالی یکی از مشخصات اصلی اوراق فشرده چوبی است که بسیاری از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پانل‌ها به آن بستگی مستقیم دارد. بررسی اثر چگالی بر مقاومت‌های مکانیکی پانل‌های چوبی نشان داد که با افزایش چگالی پانل‌ها، مقاومت‌های مکانیکی به‌خصوص چسبندگی داخلی افزایش می‌یابد [۱]. افزایش چگالی تخته به‌معنای استفاده از مواد و انرژی بیشتر است که چالش‌هایی را در

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۵۳۸۷۶۴

کرد [۱۰-۱۲]. استفاده از ماده منبسط‌شده پلیمری بر پایه نشاسته برای تولید تخته‌خرده‌چوب سبک‌وزن نیز نشان داد که وزن تخته‌ها را می‌توان ۲۰ درصد کاهش داد، درحالی که تخته‌ها همچنان حداقل ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی را دارا باشند [۱۲، ۱۳]. Shalbfan و همکاران (۲۰۱۶) به‌تازگی نشان دادند که استفاده از گرانول‌های پلیمری قابل انبساط به‌جای گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده برای تولید تخته‌خرده‌چوب‌های سه‌لایه سبک‌وزن امکان‌پذیر است و تخته‌های حاصل، مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی مطلوبی دارند [۱۴]. مرور منابع نشان می‌دهد که تا کنون هیچ پژوهش تطبیقی‌ای برای بررسی تأثیر نوع گرانول‌های پلیمری قابل انبساط و ازپیش منبسط‌شده بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌ها صورت نگرفته است.

هدف تحقیق حاضر تولید تخته‌های هیبریدی سبک‌وزن (چگالی نهایی ۵۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) متشکل از لایه‌های سطحی الیاف و لایه مرکزی از مخلوط خرده‌چوب و گرانول‌های پلی‌استایرنی است. به‌نظر می‌رسد نوع (قابل انبساط و ازپیش منبسط‌شده) و قطر گرانول‌های پلیمری مورد استفاده در لایه مرکزی از شاخص‌های اثرگذار بر ویژگی‌های نهایی تخته‌ها خواهد بود که در تحقیق حاضر به ارزیابی همین موضوع پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مواد

برای لایه‌های سطحی و زیرین تخته از الیاف (مخلوط گونه‌های پهن‌برگ) تهیه‌شده از کارخانه کیمیاچوب استان گلستان استفاده شد. در لایه مرکزی هم از مخلوط خرده‌چوب (تهیه‌شده از شرکت کیمیاچوب استان گلستان) به‌همراه گرانول‌های پلی‌استایرنی استفاده شد. گرانول‌های پلی‌استایرنی به دو صورت قابل انبساط و ازپیش منبسط‌شده در لایه مرکزی تخته‌ها استفاده شد. در این تحقیق از چسب شرکت آمل رزین با درصد جامدات ۶۲ درصد و به مقدار

چگالی پانل‌های چوبی به‌طور معمول براساس نوع ماده اولیه چوبی و فناوری فرایند تولید تعیین می‌شود؛ بنابراین با استفاده از گونه‌های چوبی با چگالی کم می‌توان پانل‌هایی با چگالی کم نیز تولید کرد. در این زمینه، محققان مختلف [۵، ۶] با استفاده از گونه‌های سبک‌وزن مانند پالونیا و صنوبر، تخته‌هایی با چگالی کم تولید کردند. آنها بیان داشتند که با افزایش چگالی تخته‌ها، واکنشیدگی ضخامت کاهش و مقاومت‌های مکانیکی افزایش می‌یابد. به‌دلیل چگالی حجمی بسیار کم ضایعات کشاورزی، استفاده از آنها برای تولید پانل‌های سبک‌وزن نیز امکان‌پذیر است. تحقیقات مختلف در این زمینه نیز نشان داد که نوع و درصد استفاده از ضایعات کشاورزی بر ویژگی‌های نهایی پانل‌ها اثرگذار است [۷، ۸]. البته باید توجه داشت که استفاده از ضایعات کشاورزی، علی‌رغم ارزان بودن و مقدار زیاد، با مشکلاتی از قبیل فصلی بودن، انبارداری و نگهداری طولانی‌مدت، دوره زمانی طولانی تا برداشت بعدی و تغییر کیفیت مواد در دوره انبارداری روبه‌روست که استفاده و کاربرد بیشتر این مواد را با چالش همراه کرده است.

کاهش چگالی تخته‌خرده‌چوب معمولی با خلل‌و‌فرج زیاد به‌ویژه در لایه میانی تخته‌ها همراه خواهد بود و تخته‌های حاصل، مقاومت‌های مکانیکی بسیار کمتر از حد معمول خواهند داشت. از این‌رو استفاده از مواد غیرچوبی سبک اما پر حجم به‌عنوان پرکننده، یکی از راه‌های حل مشکل است [۹]. این پرکننده‌ها باید دارای ویژگی‌هایی از قبیل دسترسی آسان، فصلی نبودن، سبک بودن، حجیم بودن و قیمت مناسب باشند. گرانول‌های پلی‌استایرنی منبسط‌شده از مناسب‌ترین مواد غیرچوبی برای استفاده در ساخت تخته‌های سبک‌وزن به‌شمار می‌روند. بررسی‌ها نشان داده است که با ترکیب ۱۰ درصد از گرانول‌های منبسط‌شده با خرده‌چوب در لایه میانی، می‌توان پانل‌های سبک‌وزن (چگالی در محدوده ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) با مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی مطلوب تولید

فرایند تولید تخته‌ها

تخته سبک‌وزن با ضخامت نهایی ۱۶ میلی‌متر از یک سه‌لایه مواد متشکل از لایه‌های سطحی الیاف و لایه مرکزی مخلوط خرده‌چوب و پلی‌استایرن‌های قابل انبساط یا ازپیش منبسط‌شده ساخته شد. ابتدا الیاف بعد از عمل چسب‌زنی برای تشکیل لایه زیرین یک به صورت دستی درون قالب با ابعاد 400×500 میلی‌متر ریخته شد. برای تشکیل لایه میانی، چسب بعد از توزین با استفاده از سیستم باد و پیستوله روی مخلوط خرده‌چوب و پلی‌استایرن‌های قابل انبساط افشاندند شد و سپس مخلوط حاصل برای تشکیل لایه مرکزی تخته درون قالب ریخته شد. در نهایت برای تکمیل یک تخته، الیاف چسب‌زنی شده برای لایه رویی درون قالب ریخته شد. یک تشکیل شده ابتدا پیش پرس سرد شد و سپس درون پرس گرم با دمای 200 درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸ ثانیه به‌ازای هر میلی‌متر ضخامت تخته قرار گرفت. در این تحقیق برای افزایش کیفیت و چگالی لایه‌های سطحی و زیرین از گام ویژه پرس (فشرده‌سازی اولیه) استفاده شد. برای فشرده‌سازی اولیه، یک در فشار ویژه ۳ مگاپاسکال و به مدت یک ثانیه به‌ازای هر میلی‌متر ضخامت تخته قرار می‌گیرد. در مرحله بعد، فشار ویژه پرس از ۳ مگاپاسکال به ۱ مگاپاسکال تا انتهای فرایند تولید کاهش داده شد. چگالی نهایی تخته در شرایط مصرف 520 کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد.

تخته‌های ساخته‌شده براساس آیین‌نامه ۱-۳۲۶ EN برای اجرای آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی برش داده شدند. در نهایت نمونه‌های ساخته‌شده برای متعادل‌سازی رطوبت به مدت یک هفته در شرایط رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دمای 2 ± 20 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی نمونه‌ها مانند مدول الاستیسیته و مدول خمشی (310 EN)، چسبندگی داخلی (319 EN)، مقاومت به پیچ در لبه و سطح نمونه (320 EN)، درصد واکشیدگی ضخامت و جذب آب بعد از ۲ و ۲۴

۱۲ درصد وزن خشک الیاف برای لایه‌های سطحی و ۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها برای لایه مرکزی استفاده شد. همچنین از کاتالیزور کلرید آمونیوم (NH_4Cl) تهیه‌شده از شرکت آریا شیمی آمل به مقدار ۱ درصد وزن خشک چسب برای هر لایه استفاده شد.

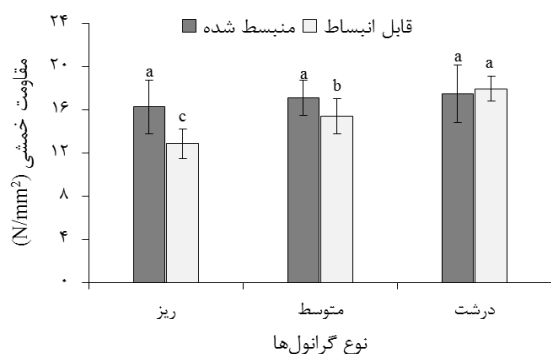
مقدار مصرف گرانول‌های پلی‌استایرنی قابل انبساط و منبسط‌شده در همه تیمارها ثابت و برابر ۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌های لایه میانی بود. شایان ذکر است که این مقدار گرانول‌های پلیمری جایگزین خرده‌چوب‌های لایه مرکزی شد. مقدار رطوبت گرانول‌های مصرفی مطابق با اطلاعات کارخانه سازنده کمتر از $1/0$ درصد بود. برای ارزیابی تأثیر قطر گرانول‌های پلی‌استایرنی بر ویژگی‌های تخته‌ها، از گرانول‌های پلیمری قابل انبساط با قطرهای اولیه $0/4$ ، $1/14$ و $2/5$ میلی‌متر استفاده شد. منبسط شدن گرانول‌های قابل انبساط برای پر کردن خلل و فرج موجود در لایه مرکزی تخته‌ها داخل تخته و در طی فرایند پرس گرم تخته صورت پذیرفت. همچنین برای حالت استفاده از گرانول‌های ازپیش منبسط‌شده، گرانول‌های قابل انبساط با قطرهای اولیه $0/4$ ، $1/14$ و $2/5$ میلی‌متر ابتدا در آون با دمای 110 درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد تا به حداکثر حجم خود برسند. پس از این مرحله، میانگین قطر گرانول‌های منبسط‌شده به ترتیب به $0/54$ ، $2/02$ و $7/05$ میلی‌متر رسید. جدول ۱ تیمارهای استفاده‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱. تیمارهای استفاده‌شده در تحقیق

مشخصات گرانول*	نوع گرانول	قطر گرانول‌ها هنگام مصرف (میلی‌متر)
ریز	قابل انبساط	۰/۴
	منبسط‌شده	۰/۵۴
متوسط	قابل انبساط	۱/۱۴
	منبسط‌شده	۲/۰۲
درشت	قابل انبساط	۲/۵
	منبسط‌شده	۷/۰۵

*درصد وزنی گرانول‌ها در همه تیمارها ثابت در نظر گرفته شد.

است. این موضوع بیانگر تأثیر و اهمیت زیاد قطر گرانول‌های پلیمری قابل انبساط در ساخت تخته‌هاست. منبسط شدن گرانول‌های پلیمری در حین پرس کردن تخته می‌تواند سبب افزایش درهم‌رفتگی خرده‌چوب‌ها و گرانول‌های پلیمری شود [۹]. این افزایش درهم‌رفتگی با افزایش قطر گرانول‌های قابل انبساط نیز افزایش یافت. همچنین قابلیت امتزاج‌پذیری گرانول‌های پلیمری در هنگام منبسط شدن در حین فرایند تولید تخته افزایش می‌یابد [۳]. بیشتر بودن شدت امتزاج‌پذیری گرانول‌های پلیمری تأثیر بسزایی بر افزایش مقاومت‌های مکانیکی آنها دارد [۱۴].



شکل ۱. تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر مقاومت خمشی پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر مدول الاستیسیته نمونه‌ها در شکل ۲ ارائه شد. نتایج نشان می‌دهند که مدول الاستیسیته در نمونه‌های ساخته‌شده با گرانول‌های منبسط‌شده به‌طور چشمگیری (حدود ۵۰ درصد) بیشتر از نمونه‌های ساخته‌شده با گرانول‌های قابل انبساط است. گرانول‌های ازپیش منبسط‌شده حجم بسیار بیشتری از گرانول‌های متناظر خود در حالت قابل انبساط دارند. این موضوع سبب بیشتر بودن ضخامت یک‌ماده در مرحله فرمینگ می‌شود. پرواضح است که بیشتر بودن ضخامت یک‌ماده سبب افزایش تراکم مواد در تخته می‌شود که تأثیر مستقیمی بر مدول الاستیسیته آن نیز دارد [۱۵]. همچنین به‌نظر می‌رسد که توزیع تنش در نمونه‌های حاوی گرانول‌های منبسط‌شده

ساعت غوطه‌وری در آب (EN ۳۱۷) آزمون شدند. شایان ذکر است که تمام آزمایش‌های یادشده در کارگاه صنایع چوب دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز در نرم‌افزار SPSS انجام پذیرفت. قبل از آزمون تجزیه واریانس، نرمالیت داده‌ها و همگنی واریانس به ترتیب با استفاده از باکس پلات، آزمون شاپیرو-ویلک و آزمون لون کنترل شد. سپس آزمون تجزیه واریانس یکطرفه صورت پذیرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

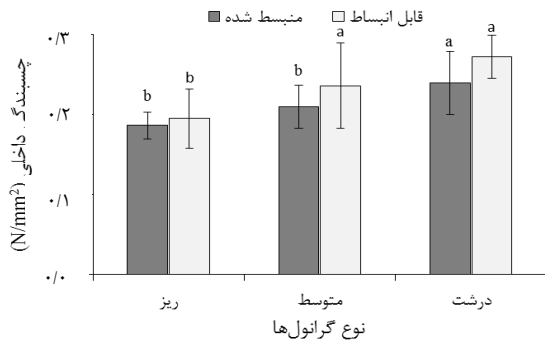
ویژگی‌های خمشی

تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلی‌استایرنی بر مقاومت خمشی نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش قطر گرانول‌های پلیمری در هر دو حالت قابل انبساط و ازپیش منبسط‌شده سبب افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها شد. مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته‌شده با گرانول‌های قابل انبساط از ۱۲/۸۳ مگاپاسگال (گرانول با قطر ۰/۴ میلی‌متر) به حدود ۱۷/۹ مگاپاسگال (گرانول با قطر ۲/۵ میلی‌متر) رسید که افزایش حدود ۴۰ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین مقاومت خمشی برای نمونه‌ها با گرانول‌های ازپیش منبسط‌شده از ۱۶/۲۵ مگاپاسگال (گرانول با قطر ۰/۵۴ میلی‌متر) به حدود ۱۷/۴۵ مگاپاسگال (گرانول با قطر ۷/۰۲ میلی‌متر) رسید که افزایش حدود ۸ درصدی را نشان می‌دهد. البته این افزایش در مقاومت خمشی از نظر آماری فقط برای گرانول‌های قابل انبساط معنی‌دار است.

شکل ۱ همچنین نشان می‌دهد که مقاومت خمشی در حالت استفاده از گرانول‌های ازپیش منبسط‌شده با میانگین قطر ۰/۵۴ و ۲ میلی‌متر به‌طور معنی‌داری بیشتر از حالت قابل انبساط است؛ اما مقدار مقاومت خمشی در نمونه‌های دارای گرانول‌های قابل انبساط با قطر ۲/۵ میلی‌متر حتی اندکی بیشتر از نمونه متناظر خود در حالت ازپیش منبسط‌شده

حجم زیاد گرانول‌های منبسط‌شده در مرحله چسب‌زنی مواد سبب جذب درصد بیشتری از رزین مصرفی می‌شود. جذب بیشتر رزین توسط گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده سبب کاهش قدرت چسبندگی خرده‌چوب‌ها با یکدیگر شد و تأثیر منفی بر چسبندگی داخلی نمونه‌ها داشت [۹].

با افزایش قطر گرانول‌ها در هر دو حالت قابل انبساط و ازپیش منبسط‌شده، چسبندگی داخلی تا حد چشمگیری افزایش یافت. در حالت استفاده از گرانول‌های قابل انبساط، چسبندگی داخلی از ۰/۱۹ مگاپاسکال (گرانول با قطر ۰/۴ میلی‌متر) به حدود ۰/۲۷ مگاپاسکال (گرانول با قطر ۲/۵ میلی‌متر) رسید که افزایش حدود ۴۰ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین چسبندگی داخلی از حدود ۰/۱۸ مگاپاسکال (گرانول با قطر ۰/۵۴ میلی‌متر) به حدود ۰/۲۴ مگاپاسکال (گرانول با قطر ۷/۰۲ میلی‌متر) در صورت استفاده از گرانول‌های از پیش منبسط‌شده رسید که افزایش حدود ۲۵ درصدی را نشان می‌دهد.

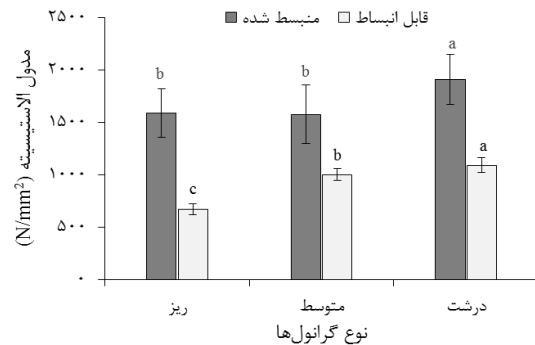


شکل ۳. تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر چسبندگی داخلی پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

با افزایش قطر گرانول‌های پلی‌استایرن در یک وزن مساوی (۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها)، گرانول‌های با قطر کوچک‌تر دارای تعداد بیشتری هستند؛ بنابراین پراکندگی و توزیع آنها در لایه میانی تخته و بین خرده‌چوب‌ها بیشتر است و به نظر می‌رسد اتصال خرده‌چوب با خرده‌چوب کاهش یافته است. از طرف دیگر، به دلیل

به‌طور یکنواخت‌تری صورت پذیرفته است که تأثیر مثبتی بر افزایش مدول الاستیسیته نمونه‌ها دارد.

همچنین با افزایش قطر گرانول‌های پلیمری در هر دو حالت قابل انبساط و منبسط‌شده مدول الاستیسیته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش قطر گرانول‌های منبسط‌شده از ۰/۵۴ میلی‌متر به ۷/۰۲ میلی‌متر افزایش حدود ۲۰ درصدی مدول الاستیسیته را به‌همراه داشت. همچنین افزایش قطر گرانول‌های قابل انبساط از ۰/۴ میلی‌متر به ۲/۵ میلی‌متر، افزایش حدود ۶۰ درصدی مدول الاستیسیته را به‌همراه داشت. دلیل این موضوع ممکن است سفتی بیشتر گرانول‌های پلیمری قطورتر نسبت به گرانول‌های ریزتر، به‌ویژه در حالت گرانول‌های قابل انبساط باشد [۱۴].



شکل ۲. تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر مدول الاستیسیته پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

چسبندگی داخلی

تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر مقدار چسبندگی داخلی نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. چسبندگی داخلی در نمونه‌های ساخته‌شده با گرانول‌های قابل انبساط بیشتر از نمونه‌های متناظر خود با استفاده از گرانول‌های از پیش منبسط‌شده است که دلایل متعددی برای این موضوع می‌توان متصور بود. منبسط شدن گرانول‌ها در هنگام تولید تخته سبب افزایش درهم‌رفتگی خرده‌چوب‌ها و گرانول‌های پلیمری شد که تأثیر بسیار مثبتی بر مقدار چسبندگی داخلی داشت [۱۰]. همچنین

که گرانول‌های با قطر کمتر در نمونه‌ها به صورت سالم و کروی از بین خرده‌چوب‌ها جدا می‌شوند، درحالی که شکست در نمونه‌های دارای گرانول‌های قطورتر از وسط گرانول‌های پلیمری بوده و پیوندهای ایجادشده پلی‌استایرن با خرده‌چوب‌ها مشخص است (شکل ۴). این موضوع بیانگر ایجاد اتصالات قوی‌تر بین گرانول‌های پلیمری قطورتر با خرده‌چوب‌های لایه مرکزی است.



ماهیت غیرقطبی گرانول‌های پلیمری و ماهیت قطبی خرده‌چوب‌ها، پیوند شیمیایی مستقیم بین آنها برقرار نمی‌شود [۳]. پیوندهای ایجادشده بین گرانول‌های پلیمری و خرده‌چوب بیشتر از نوع مکانیکی (درهم‌رفتگی) خواهد بود؛ البته چسب افشاندن شده روی گرانول‌ها و خرده‌چوب‌ها نیز می‌تواند تا حدودی پیوند شیمیایی برقرار کند. بررسی مقاطع شکست نمونه‌ها پس از آزمون چسبندگی داخلی نشان داد



شکل ۴. سطح شکست نمونه‌های چسبندگی داخلی حاوی گرانول با میانگین بیشتر (سمت راست) و قطر کمتر (سمت چپ)

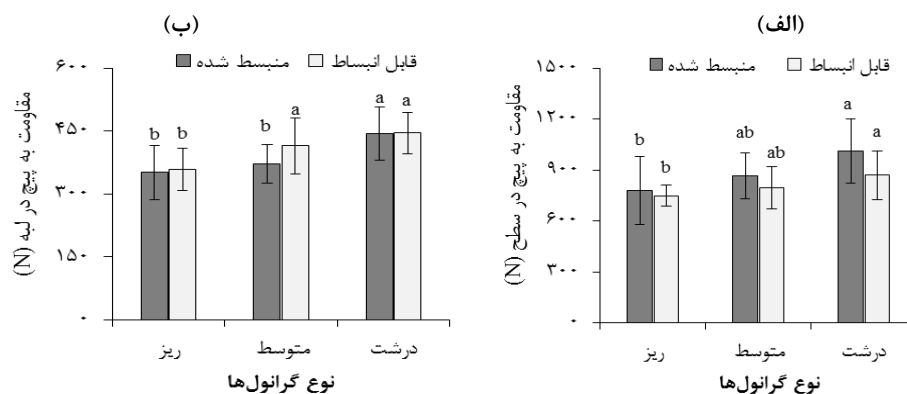
در سطح در حالت گرانول‌های قابل انبساط حدود ۱۶ درصد افزایش (از گرانول با قطر $0/4$ میلی‌متر به گرانول با قطر $2/5$ میلی‌متر) و برای گرانول‌های ازپیش منبسطشده حدود ۳۰ درصد افزایش (از گرانول با قطر $0/54$ میلی‌متر به گرانول با قطر $7/02$ میلی‌متر) یافت. گرانول‌های پلیمری با قطر بیشتر استحکام و مقاومت بیشتری نسبت به گرانول‌های ریزتر دارند و در صورت نفوذ پیچ در آنها مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند [۱۶]. همچنین می‌توان اذعان داشت که با ریزتر شدن قطر گرانول‌ها توزیع و پراکندگی گرانول‌ها در لایه مرکزی بیشتر می‌شود و فضای بیشتری از لایه میانی را اشغال می‌کنند. در نتیجه احتمال اتصال خرده‌چوب با خرده‌چوب کمتر شده که سبب کاهش مقاومت به پیچ نیز شده است.

نتایج مربوط به مقاومت به پیچ در لایه نمونه‌ها در شکل ۵ ب نشان داد که مقاومت به پیچ در لایه نمونه‌ها در هر دو حالت استفاده از گرانول‌های قابل انبساط و منبسطشده به‌طور تقریبی برابر است. مقاومت به پیچ در لایه نمونه‌ها متأثر از کیفیت لایه مرکزی است که به نظر در هر دو حالت

مقاومت به پیچ (سطح و لبه)

تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر مقاومت به پیچ در سطح (بخش الف) و لبه نمونه‌ها (بخش ب) در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که مقاومت به پیچ در سطح نمونه‌های تولیدشده با گرانول‌های پلیمری از پیش منبسطشده تا حدودی بیشتر از حالت گرانول‌های قابل انبساط است، هرچند این اختلاف از لحاظ آماری معنی دار نیست. مقاومت به پیچ در سطح نمونه‌ها بیشتر متأثر از کیفیت و چگالی لایه‌های سطحی است [۷]. همان‌طور که پیشتر ملاحظه شد، مدول الاستیسیته در نمونه‌های تولیدشده با گرانول‌های از پیش منبسطشده به دلیل تراکم بیشتر لایه‌های سطحی نسبت به نمونه‌های تولیدشده با گرانول‌های قابل انبساط نیز بیشتر بوده است. این موضوع تا حدودی در مقادیر مقاومت به پیچ در سطح نمونه‌ها نیز مشاهده شده است.

با افزایش قطر گرانول‌ها در هر دو نوع گرانول (قابل انبساط و منبسطشده) استفاده‌شده، مقدار مقاومت به پیچ در سطح نمونه‌ها تا حدودی افزایش یافت. مقدار مقاومت به پیچ



شکل ۵. تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر مقاومت به پیچ پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن؛ (الف) در سطح نمونه‌ها، (ب) در لبه نمونه‌ها (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

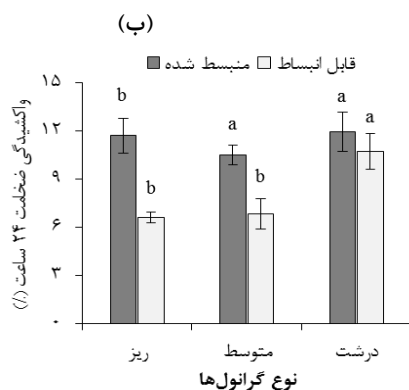
منبسط‌شده به دلیل حجم زیاد آنها در مرحله فرمینگ کاهش یافت که افزایش معنی‌دار درصد واکنشیدگی ضخامت نسبت به حالت استفاده از گرانول‌های قابل انبساط را به همراه داشت. افزایش قطر گرانول‌های قابل انبساط سبب افزایش درصد واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب شد. در وزن مساوی از گرانول‌ها (۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها)، گرانول‌های قابل انبساط با قطر ریزتر تعداد بیشتری را شامل می‌شوند. در نتیجه گرانول‌های ریزتر توزیع بیشتر و یکنواخت‌تری بین خرده‌چوب‌های لایه میانی داشتند و به مقدار بیشتری خلل و فرج و حفره‌های بین خرده‌چوب‌ها را پوشش دادند و دسترسی آب و رطوبت را به خرده‌چوب‌ها محدود کردند. کاهش دسترسی مولکول‌های آب به خرده‌چوب‌ها سبب کاهش معنی‌دار درصد واکنشیدگی ضخامت در نمونه‌های حاوی گرانول‌های قابل انبساط شد [۱۶، ۱۴]. نکته شایان توجه، معنی‌دار نبودن درصد واکنشیدگی ضخامت در نمونه‌های حاوی گرانول‌های ازپیش منبسط‌شده با تغییر قطر گرانول‌هاست. با توجه به حجم زیاد همه گرانول‌های منبسط‌شده در مرحله فرمینگ می‌توان اذعان داشت که کارکرد پرکنندگی فضاهای خالی بین خرده‌چوب‌های لایه مرکزی برای همه انواع گرانول‌های منبسط‌شده به‌طور تقریبی یکسان بود. بیشترین مقدار واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مربوط به

به‌طور تقریبی یکسان است. افزایش قطر گرانول‌ها در هر دو حالت قابل انبساط و ازپیش منبسط‌شده سبب افزایش معنی‌دار مقاومت به پیچ در لبه نمونه‌ها شد. امتزاج‌پذیری بیشتر گرانول‌های قطور با یکدیگر و همچنین ایجاد اتصالات قوی‌تر با خرده‌چوب‌های لایه مرکزی از جمله دلایل بیشتر بودن مقاومت به پیچ در لبه آنهاست. بیشترین مقدار مقاومت به پیچ در لبه، مربوط به قطورترین گرانول‌ها در هر دو نوع پلی‌استایرن قابل انبساط (۲/۵ میلی‌متر) و ازپیش منبسط‌شده (۷/۰۲ میلی‌متر) به مقدار تقریبی ۴۴۵ نیوتن است.

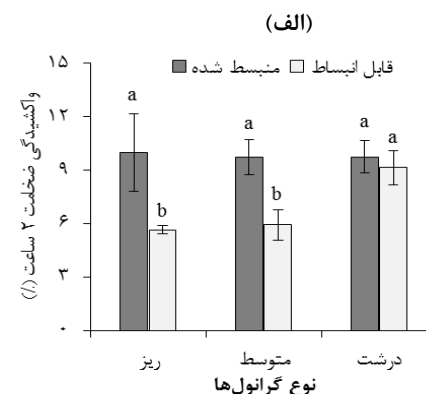
ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی

تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل ۶ ارائه شده است. درصد واکنشیدگی ضخامت در نمونه‌ها با پلی‌استایرن‌های قابل انبساط به‌خصوص در گرانول‌های با میانگین قطر کمتر (۰/۴ و ۱/۱۴ میلی‌متر) بسیار کمتر از درصد واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها با پلی‌استایرن‌های ازپیش منبسط‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمترین مقدار واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب به ترتیب در حدود ۵/۶ و ۶/۶ درصد و مربوط به نمونه‌های حاوی گرانول‌های قابل انبساط با قطر ۰/۴ میلی‌متر است. همان‌طور که پیشتر ذکر شد، اتصال خرده‌چوب با خرده‌چوب در لایه مرکزی با استفاده از گرانول‌های ازپیش

۲۴ ساعت غوطه‌وری حداکثر حدود ۱ تا ۲ درصد واکشیدگی ضخامت در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. این موضوع بیانگر اهمیت ارزیابی‌های بیشتر ویژگی‌های فیزیکی پانل‌های سبک‌وزن در کوتاه‌مدت است.

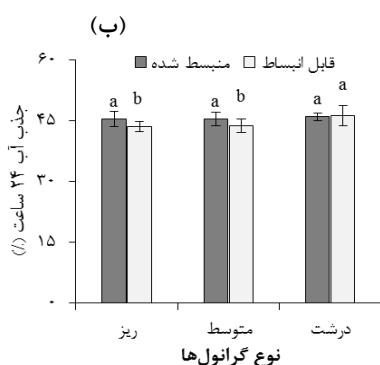


پلی‌استایرن‌های منبسط‌شده با میانگین قطر ۷/۰۵ میلی‌متر و به ترتیب ۹/۷ و ۱۱/۹ درصد است. مقایسه بخش‌های الف و ب در شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشترین درصد واکشیدگی ضخامت در ۲ ساعت اولیه غوطه‌وری اتفاق افتاد. از ۲ تا

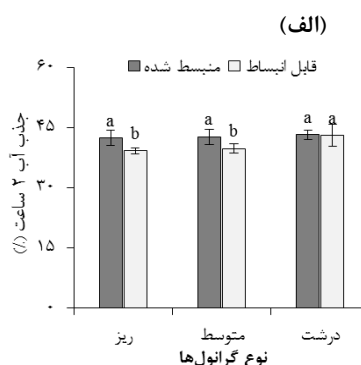


شکل ۶. تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر واکشیدگی ضخامت پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن؛ (الف) بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، (ب) بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

افزایش درصد جذب آب شد. کیفیت اتصالات خرده‌چوب‌های لایه مرکزی با هم و نیز توزیع بیشتر و یکنواخت‌تر گرانول‌های ریزتر در لایه مرکزی از جمله دلایل روند درصد جذب آب در نمونه‌هاست [۹]. مقایسه درصد جذب آب کوتاه‌مدت (۲ ساعت) و بلندمدت (۲۴ ساعت) نیز بیانگر حداکثر جذب آب صورت‌گرفته در کوتاه‌مدت (۲ ساعت اولیه) است. با افزایش زمان غوطه‌وری از ۲ به ۲۴ ساعت، درصد جذب آب نمونه‌ها حدود ۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد.



تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر درصد جذب آب نمونه‌ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل ۷ نشان داده شده است. روند درصد جذب آب نمونه‌ها به‌طور تقریبی مشابه روند مشاهده‌شده برای واکشیدگی ضخامت نمونه‌هاست. درصد جذب آب برای نمونه‌های حاوی گرانول‌های قابل انبساط به‌ویژه در قطرهای کمتر (۴/۰ و ۱۴/۱ میلی‌متر) کمتر از نمونه‌های حاوی گرانول‌های ازپیش منبسط‌شده است. همچنین افزایش قطر گرانول‌های قابل انبساط تا حدودی سبب



شکل ۷. تأثیر نوع و قطر گرانول‌های پلیمری بر جذب آب پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن؛ (الف) بعد از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب، (ب) بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب (حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست)

نتیجه‌گیری

مرحله تولید، کاهش هزینه‌های تولید در نتیجه حذف مرحله پیش‌منبسط کردن مواد پلیمری و افزایش اثربخشی چسب مصرفی به‌علت کاهش سطح ویژه پلی‌استایرن‌های قابل انبساط نسبت به منبسط‌شده. از این‌رو به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان استفاده از گرانول‌های پلیمری قابل انبساط با ابعاد درشت را به‌جای گرانول‌های پلیمری از پیش منبسط‌شده برای تولید پانل‌های سبک‌وزن توصیه کرد.

تخته‌های هیبریدی سبک‌وزن (۱۶ میلی‌متر) متشکل از لایه‌های سطحی الیاف و لایه مرکزی از مخلوط خردده‌چوب و گرانول‌های پلی‌استایرنی با شکل و قطرهای مختلف تولید شد. شایان ذکر است که استفاده از گرانول‌های قابل انبساط دارای مزیت‌های بیشتری در طی فرایند تولید است که عبارت‌اند از بهبود کیفیت نهایی تخته در نتیجه منبسط شدن مواد پلیمری در

References

- [1]. Wong, E. D., Zhang, M., Wang, Q., and Kawai, S. (1999). Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. *Wood Science and Technology*, 33(4): 327-340.
- [2]. Wang, D., and Sun, X. S. (2002). Low density particleboard from wheat straw and corn pith. *Industrial Crops and Products*, 15(1):43-50.
- [3]. Shalbahfan, A., Welling, J., and Luedtke, J. (2013). Effect of processing parameters on physical and structural properties of lightweight foam core sandwich panels. *Wood Material Science and Engineering*, 8(1): 1-12.
- [4]. Pepke, E. (2013). Forest products annual market review. UNECE: United Nations Economic Commission for Europe, Forestry and Timber Section, Geneva, Switzerland, 155 pp.
- [5]. Kalaycioglu, H., Deniz, I., and Hiziroglu, S. (2005). Some of the properties of particleboard made from paulownia. *Journal of Wood Science*, 51(4): 410-414.
- [6]. Nourbakhsh, A., and Kargarfard, A. (2006). The effects of density and press time on poplar insulation particleboard properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 21(2): 115-122.
- [7]. Kawai, S., and Sasaki, H. (2013). Low density particleboard. *Recent Research on Wood and Wood-based Materials. Current Japanese Materials Research*, 11(4): 33-41.
- [8]. Ghasemi, H., Jahan Latibari, A., Kargarfard, A., and Lashgari, A. (2013). Investigation on the influence of the density reduction of the particleboard by canola residues on the properties of particleboard. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(3): 463-475.
- [9]. Shalbahfan, A., Tackmann, O., and Welling, J. (2016). Using of expandable fillers to produce low density particleboard. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(1):15-22.
- [10]. Dziurka, D., Mirski, R., Dukarska, D., and Derkowski, A. (2015). Possibility of using the expanded polystyrene and rape straw to the manufacture of lightweight particleboards. *Ciencia y Tecnologia*, 17(3): 647-656.
- [11]. Schulz, T., and Hanel, W. (2010). Leichtzutaten (Light ingredients) (In German) *HK, Holz- Kunstst. verarb*, 45(6): 75-77.
- [12]. Weinkoetz, S. (2012). Kaurit-light for lightweight wood-based panels, In: 2nd Symposium on lightweight furniture. May 23-24, Lemgo, Germany.
- [13]. Seemann, C. (2011). New generation of wood-based materials; it does not always have to be wood. In *GreCon Wood symposium*, September 15-16, Hannover, Germany.
- [14]. Raps, D., Hosseiny, N., Park, C. B., and Altsadt, V. (2015). Past and present developments in polymer bead foams and bead foaming technology. *Polymer*, 56(2): 5-19.
- [15]. Dosthoseini, k. (2012). *Wood composite materials, manufacturing and applications*, University of Tehran press, Tehran.
- [16]. Greis, O., Xu, Y., Asano, T., and Petermann, J. (1989). Morphology and structure of syndiotactic polystyrene. *Polymer*, 30(4): 590-594.

Effect of expandable and expanded granules diameter on the properties of hybrid-lightweight panels

S. Jafarnezhad; M.Sc., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Tarbiat Modares University, I.R. Iran

A. Shalbafan*; Assist. Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Tarbiat Modares University, I.R. Iran

J. Luedtke; Assist. Prof., Bio-based Resources and Materials, Thünen-Institute of Wood Research, Hamburg, Germany

(Received: 17 May 2017, Accepted: 25 September 2017)

ABSTRACT

The aim of the present study was to produce hybrid low density panels using wood fiber as surface layers and a mixture of wood particles and polystyrene granules as core layer. The effects of the most important factors on panel properties were investigated. Hybrid lightweight panels were produced with a density of 520 kg/m³ using polystyrene granules as filler in the core layer. The type of polystyrene granules (expandable and pre-expanded shapes) and granules diameter (fine, medium and large) are the most important factors which can influence the panel properties were also investigated in this study. The results showed that the granule type had significant effect on the physical and mechanical properties of panels. The modulus of elasticity and face screw withdrawal resistance were increased in case of pre-expanded granules, while the internal bond values improved in the case of expandable granules. Mechanical properties of lightweight hybrid panels were significantly enhanced by increasing the diameter of both granules forms (pre-expanded and expandable). Thickness swelling was lower in the case of fine granules. But the granules diameter had no significant influence on the water absorption values. It can be concluded that the expandable filler with larger diameter can be used as filler for the production of lightweight panels.

Keywords: Wood-based panels, Particleboard, Lightweight, Polystyrene, Filler.

* Corresponding Author, Email: ali.shalbafan@modares.ac.ir, Tel: +989122538764