تأثیر گرانول‌های پلی‌استایرن منبسط‌شده بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی

صابر جعفرنژاد ثانی[۱]
علی شالبافان[۲*]
یان لوتکه[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران

[۲] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران

[۳] استادیار موسسه پژوهش¬های چوب تونن، هامبورگ، آلمان

مسئول مکاتبات:
ali.shalbafan@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۴

چکیده

هدف از تحقیق حاضر تولید تخته‌های سبک‌وزن ترکیبی با استفاده از گرانول‌های پلی‌استایرن منبسط‌شده با قطر و درصدهای مختلف بوده است. گرانول‌های پلی-استایرن منبسط‌شده در ۳ قطر ریز، متوسط و درشت به ترتیب با میانگین قطرهای ۰/۵۵، ۲ و ۷ میلی‌متر و به میزان ۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌های لایه مرکزی استفاده گردید. همچنین از گرانول‌های با میانگین قطر ۷ میلی‌متر در ۳ سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌های لایه مرکزی استفاده گردید. نتایج نشان دادند که ویژگی‌های مکانیکی (مدول الاستیسیته خمشی، چسبندگی داخلی، مقاومت به پیچ سطح و لبه) با افزایش قطر گرانول‌ها افزایش قابل‌توجهی یافته است، اما قطر گرانول‌ها تأثیر معنی‌داری بر مقاومت خمشی، درصد واکشیدگی ضخامت و جذب آب نمونه‌ها نداشته است. همچنین افزایش درصد گرانول‌های پلی‌استایرنی در لایه میانی باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی و بهبود خصوصیات فیزیکی نسبت به نمونه شاهد گردید و بیشترین اثرگذاری آن بر چسبندگی داخلی نمونه‌ها مشاهده شد.

واژگان کلیدی: پانل ترکیبی، سبک‌وزن، گرانول پلی‌استایرن، منبسط‌شده.

مقدمه

در سال‌های اخیر صنعت تولید اوراق فشرده چوبی در جهان و همچنین در ایران رشد چشمگیری داشته است. ازاین‌رو توسعه کیفی این صنعت علاوه بر توسعه کمی آن امری ضروری به نظر می‌رسد. ازجمله پارامترهای اساسی توسعه کیفی موردتوجه برای صاحبان صنایع اوراق فشرده چوبی، افزایش کیفیت محصول و کاهش هزینه‌های تولید از طریق نوآوری در فرآیند تولید و تولید محصولات جدید است. کاهش دانسیته اوراق فشرده چوبی ازنقطه‌نظر نوآوری در تولید محصولات جدید می‌تواند در توسعه کیفی و مدیریت بهینه مواد اولیه در صنعت اوراق فشرده چوبی نقش اساسی ایفا نماید [۱]. دانسیته نقش مهمی را در ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی پانل‌های چوبی دارد. محققین مختلف نشان دادند که با افزایش دانسیته پانل‌ها، مقاومت‌های مکانیکی به‌خصوص چسبندگی داخلی افزایش می‌یابد [۲-۳]. البته باید توجه داشت که افزایش دانسیته اوراق فشرده چوبی چالش‌هایی را در برش‌کاری، حمل‌ونقل، جدا شدن اتصالات حاصل از آن (به دلیل وزن بالا) و بالا بودن مصرف چوب برای ساخت پانل‌ها را به همراه دارد [۴]. اخیراً افزایش علاقه‌مندی بازار به‌ویژه در کشورهای اروپایی برای محصولات و مبلمان با عناصر حجمی و ضخیم‌تر اما بدون افزایش وزن و قیمت نهایی

محصول باعث تشویق بیشتر تولیدکنندگان اوراق فشرده چوبی به تولید محصولات با دانسیته کمتر گردیده است [۵]. همچنین باید توجه داشت که تولید و استفاده از محصولات با دانسیته پایین، افزایش بهره‌وری منابع چوبی را به همراه دارد [۱]. امروزه تولید فرآورده‌های مرکب چوبی مانند تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر با دانسیته کمتر نیز از مرحله تئوری و آزمایشگاه به مرحله تولید صنعتی رسیده است.

برای کاهش دانسیته چندسازه‌های چوبی استراتژی‌های مختلفی وجود دارد که بسیار وابسته به کاربرد نهایی پانل‌ها است. به‌طورکلی هر استراتژی باید قابلیت کاهش حداقل حدود ۲۰ درصدی دانسیته پانل‌ها را نسبت به پانل‌های معمولی داشته باشد [۶]. یکی از استراتژی‌های متداول برای کاهش دانسیته پانل‌ها استفاده از مواد اولیه با دانسیته پایین (سبک) مانند مواد لیگنوسلولزی یا گونه‌های چوبی سبک‌وزن و یا سایر مواد پرحجم اما سبک است [۷]. در این راستا محققین مختلفی از ضایعات کشاورزی برای تولید تخته‌هایی با دانسیته حدود ۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده نمودند [۸-۹]. آن‌ها نتیجه گرفتند که اگرچه ضایعات کشاورزی به دلیل حجم بالا و وزن کم می‌توانند ماده مناسبی برای کاهش دانسیته اوراق فشرده چوبی باشد، اما استفاده از آن‌ها تأثیر منفی بر ویژگی‌های خمشی، چسبندگی داخلی و واکشیدگی ضخامت دارد [۸-۹].

استفاده از گرانول‌های پلیمری حجیم با وزن بسیار پایین در ترکیب با خرده‌چوب‌های لایه میانی به‌عنوان پرکننده نیز می‌تواند کاهش دانسیته اوراق فشرده چوبی را به همراه داشته باشد. در سال‌های گذشته نیز تحقیقات مختلفی در ارتباط با مواد پلیمری حجیم و فوق سبک به‌منظور کاهش دانسیته پانل‌های چوبی صورت گرفته است. محققین مختلفی با استفاده از موادی همچون مواد منبسط‌شده اسفنجی، نشاسته و پلی‌استایرن تخته‌خرده-چوب‌های سبک‌وزن با خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب و نزدیک به حد استاندارد تولید نمودند [۱۰-۱۱-۱۲]. اکثر پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون سعی بر این داشته‌اند که از مواد پلیمری منبسط‌شده به مقدار ۱۰ درصد و به‌صورت مخلوط با مواد چوبی استفاده نمایند و تخته‌هایی با دانسیته نهایی بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ kg/m^3 تولید نمایند. لازم به ذکر است که در هیچ‌یک از تحقیقات صورت پذیرفته در این زمینه تاکنون در مورد تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری بررسی نشده است.

تولید فرآورده‌های ترکیبی یا ترکیبی نیز که اخیراً بسیار موردتوجه صنایع قرار گرفته است، می‌تواند در کاهش دانسیته محصولات چوبی اثرگذار باشد [۱۳]. شرکت Finsa پرتغال (تولیدکننده اوراق فشرده چوبی) اخیراً فرآورده‌ی چندسازه ترکیبی را به تولید تجاری رسانده است که در لایه‌های سطحی آن از الیاف چوب و لایه مرکزی از خرده‌چوب‌های به‌کاررفته در تخته‌خرده-چوب استفاده نموده‌اند. آن‌ها توانستند با این محصول مزایای MDF (سطوح صاف و متراکم) و تخته‌خرده‌چوب (استفاده از چوب‌های کم‌ارزش در لایه مرکزی) را به‌طور هم‌زمان به دست آورند. پرواضح است که قیمت تمام‌شده این محصول حداقل ۳۰ درصد کمتر از MDFمعمولی است، زیرا اولاً در یک مقدار مساوی، تبدیل چوب به خرده‌چوب ارزان‌تر از تبدیل چوب به الیاف است و ثانیاً استفاده از چوب‌های ضایعاتی و کم‌ارزش برای تولید خرده‌چوب نیز امکان‌پذیر است. از سوی دیگر وزن تخته-های ترکیبی تولیدشده نیز حدود ۱۰ درصد کمتر از MDF معمولی است. البته باید توجه داشت که این‌گونه پانل‌ها همچنان به دلیل دانسیته بالا مناسب برای استفاده در ساخت مبلمان‌های سبک‌وزن نیست. ازاین‌روی سبک‌سازی این‌گونه پانل‌ها برای توسعه بیشتر آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

هدف از این تحقیق، تولید تخته‌های ترکیبی سبک‌وزن (دانسیته نهایی ۵۲۰kg/m^3) متشکل از لایه‌های سطحی الیاف و لایه مرکزی از مخلوط خرده‌چوب و گرانول‌های پلی‌استایرنی منبسط‌شده است. به نظر می‌رسد که قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده و همچنین درصد استفاده از آن‌ها در لایه مرکزی از پارامترهای اثرگذار بر ویژگی‌های نهایی تخته‌ها است که در تحقیق حاضر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد

برای لایه‌های سطحی و زیرین تخته از الیاف مخلوط گونه‌های پهن‌برگ و برای لایه میانی از مخلوط خرده‌چوب مخلوط گونه‌های پهن‌برگ تهیه‌شده از شرکت کیمیا چوب استان گلستان به همراه گرانول‌های پلی‌استایرنی منبسط‌شده استفاده گردید. برای استفاده از گرانول‌های منبسط‌شده، گرانول‌های قابل انبساط با قطرهای اولیه ۰/۴، ۱/۱۴ و ۲/۵ میلی‌متر تهیه‌شده از شرکت پتروشیمی سهند بابل (با گریدهای F50، F150 و F450) ابتدا در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند تا به حداکثر حجم خود برسند. میانگین قطر گرانول‌های منبسط‌شده پس‌ازاین مرحله به ترتیب به ۰/۵۵، ۲ و ۷ میلی‌متر رسید. درجه حرارت شیشه‌ای شدن گرانول‌ها ۸۵ درجه سانتی‌گراد است. چسب مورداستفاده در این تحقیق اوره فرمالدهید (تهیه‌شده از شرکت آمل رزین) با درصد جامدات ۶۲ درصد، دانسیته gr/cm^3 ۱/۲۶۸ و pH برابر ۷/۷۲ است. مقدار مصرف رزین برابر ۱۲ درصد وزن خشک الیاف (برای لایه‌های سطحی) و ۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها (برای لایه‌های مرکزی) بوده است. همچنین از کاتالیزور کلرید آمونیوم (NH_4CL) تهیه‌شده از شرکت آریا شیمی آمل به مقدار ۱ درصد وزن خشک چسب برای هر لایه مورداستفاده قرار گرفت.

برای ارزیابی تأثیر قطر گرانول‌ها بر ویژگی‌های تخته‌ها، گرانول‌های پلی‌استایرنی منبسط‌شده با میانگین قطرهای ۰/۵۵، ۲ و ۷ میلی‌متر مورداستفاده قرار گرفت. با توجه به یکسان بودن دانسیته تخته‌ها در همه تیمارها ($۵۲۰kg/m^3$) و همچنین یکسان بودن نسبت وزنی لایه مرکزی، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌های لایه میانی از گرانول‌های پلی‌استایرنی منبسط‌شده استفاده شد. لازم به ذکر است که این میزان گرانول‌های پلیمری جایگزین خرده‌چوب‌های لایه مرکزی شده است تا دانسیته نهایی پانل‌های تولیدی ثابت بماند. به هنگام ارزیابی تأثیر قطر گرانول‌های مختلف، درصد مصرف گرانول ثابت و برابر ۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌های لایه میانی در نظر گرفته شد. مجموع تیمارهای ساخته‌شده در این تحقیق به همراه دانسیته نهایی تخته‌های ساخته‌شده در جدول ۱ نشان داده شده است. برای ارزیابی تأثیر استفاده از گرانول‌های پلیمری، نمونه‌های شاهد (بدون هرگونه گرانول پلیمری) نیز تولید گردیدند.

جدول ۱- مشخصات مربوط به تیمارهای مختلف و دانسیته نهایی تخته‌های تولیدی

تیمار	لایه سطحی	لایه مرکزی	مقدار گرانول (٪)	میانگین قطرگرانول (mm)	دانسیته (kg/m^3)
A	الیاف	خرده‌چوب + گرانول	۱۰	۰/۵۵	۵۲۸ (۱۹)*
B	الیاف	خرده‌چوب + گرانول	۱۰	۲	۵۲۰ (۲۴)
C	الیاف	خرده‌چوب + گرانول	۱۰	۷	۵۲۶ (۲۰)
D	الیاف	خرده‌چوب + گرانول	۵	۷	۵۲۵ (۲۲)
E	الیاف	خرده‌چوب + گرانول	۱۵	۷	۵۲۶ (۱۳)
R	الیاف	خرده‌چوب	۰	-	۵۱۸ (۲۳)

* **اعداد داخل پرانتز بیانگر انحراف معیار داده‌ها است**

فرآیند تولید

در این تحقیق تخته‌های سبک‌وزن ترکیبی با ضخامت نهایی ۱۶ میلی‌متر تولید شد. برای این منظور کیک ۳ لایه مواد با ابعاد ۴۰۰ ×۵۰۰ میلی‌متر شامل الیاف چسب خورده برای لایه‌های سطحی و زیری و مخلوط خرده‌چوب و گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده چسب خورده برای لایه میانی تشکیل شد. درصد رطوبت مواد لایه‌های سطحی و میانی قبل از پرس به ترتیب برابر ۱۲ و ۱۰ درصد وزن خشک مواد در نظر گرفته شده بود. کیک تشکیل‌شده پس از پیش پرس سرد، درون پرس گرم با دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۸ ثانیه به ازای هر میلی‌متر ضخامت تخته قرار گرفت. در این تحقیق برای افزایش کیفیت و دانسیته لایه‌های سطحی و زیری از گام ویژه پرس (فشرده‌سازی اولیه) استفاده گردید. برای فشرده‌سازی اولیه، کیک در فشار ویژه ۳ مگاپاسکال و به مدت یک ثانیه به ازای هر میلی‌متر ضخامت تخته قرار

گرفت. در مرحله بعد، فشار ویژه پرس از ۳ مگاپاسکال به ۱ مگاپاسکال تا انتهای فرآیند تولید کاهش داده شد. نسبت وزنی لایه‌های سطحی به میانی در همه تیمارها ثابت و برابر ۴۵ به ۵۵ درصد در نظر گرفته شد. دانسیته نهایی تخته در شرایط مصرف نیز برای همه تیمارها ثابت و برابر ۵۲۰kg/m^3 محاسبه گردید. تخته‌های ساخته‌شده پس از پرس به مدت چند روز در شرایط آزمایشگاه قرار گرفتند. سپس تخته‌ها طبق آیین‌نامه EN 326-1 برای انجام آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی برش داده شدند. نمونه‌های آزمونی برای مشروط‌سازی رطوبت به مدت یک هفته در شرایط رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دمای ۳ ±۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بررسی‌های متوالی وزنی بروی نمونه‌ها مشروط‌سازی شده پس از یک هفته بیانگر رسیدن نمونه‌ها به حد تعادل رطوبتی بوده است. درنهایت نمونه‌های تهیه‌شده مطابق جدول ۲ و با توجه به استانداردهای اروپایی مورد آزمون قرار گرفتند.

جدول ۲- آزمایش‌های مربوط به ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های تولیدشده

خصوصیت	شماره استاندارد	ابعاد نمونه (mm)	تعداد تکرار هر تیمار	تعداد کل آزمایش
ویژگی‌های خمشی	EN 310	۳۷۰ × ۵۰ × ۱۶	۹	۵۴
چسبندگی داخلی	EN 319	۵۰ × ۵۰ × ۱۶	۹	۵۴
مقاومت به پیچ (سطح و لبه)	EN 320	۵۰ × ۵۰ × ۱۶	۹	۱۰۸
واکشیدگی ضخامت	EN 317	۵۰ × ۵۰ × ۱۶	۹	۵۴
جذب آب	EN 317	۵۰ × ۵۰ × ۱۶	۹	۵۴

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. قبل از انجام آزمون تجزیه واریانس، نرمالیته داده‌ها و همگنی واریانس به ترتیب با استفاده از باکس پلات، آزمون Shapiro-Wilk و آزمون Levene کنترل گردیدند. سپس آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه صورت پذیرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این تحقیق دو تیمار برای ساخت تخته‌ها و بررسی اثر آن‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی پانل‌ها در نظر گرفته شده بود؛ تأثیر قطر و درصدهای مختلف گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده. تأثیر هرکدام از این پارامترها بر ویژگی‌های تخته‌ها به‌طور مجزا مورد ارزیابی و بحث قرار گرفته است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی اندازه‌گیری شده پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس آزمون تجزیه واریانس اندازه قطر گرانول‌ها بر مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، مقاومت به پیچ (سطح و لبه) و واکشیدگی ضخامت (۲۴ ساعت) معنی‌دار است. همچنین درصد گرانول‌ها نیز بر همه ویژگی‌ها اثر معنی‌دار داشته است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (سطح معنی‌داری) تیمارهای مورداستفاده در تحقیق و مقدار P

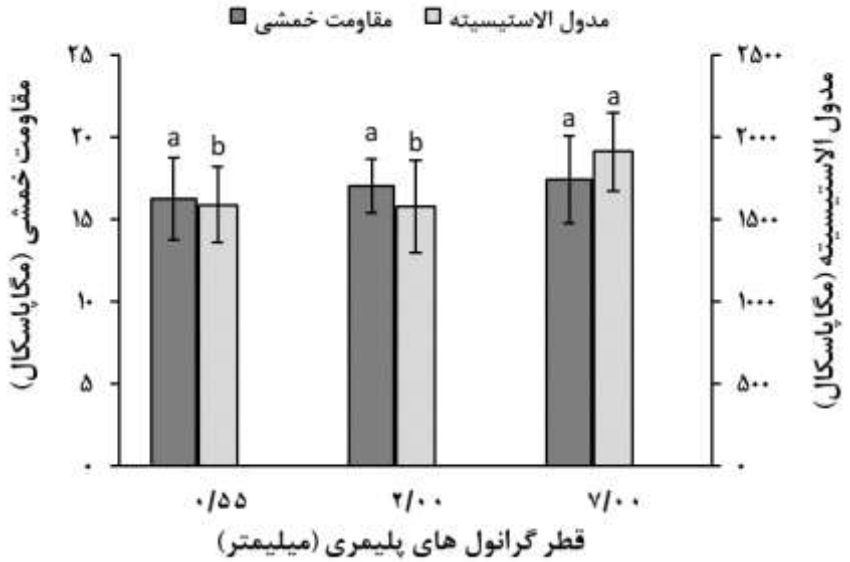
عوامل متغیر	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	چسبندگی داخلی	مقاومت به پیچ در سطح	مقاومت به پیچ در لبه	واکشیدگی ضخامت ۲h	واکشیدگی ضخامت ۲۴h	جذب آب ۲h	جذب آب ۲۴h
	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N	N	%	%	%	%
قطر گرانول	ns ۰/۴۹۹	* ۰/۰۰۹	** ۰/۰۰۰	* ۰/۰۳۴	* ۰/۰۰۷	ns ۰/۹۲۶	** ۰/۰۰۵	ns ۰/۵۵۵	ns ۰/۶۵۷
درصد گرانول	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰	** ۰/۰۰۰

**معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹٪، * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪، ns عدم معنی‌داری

تأثیر میانگین قطرهای مختلف گرانول‌ها بر ویژگی‌های پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی

ویژگی‌های مکانیکی

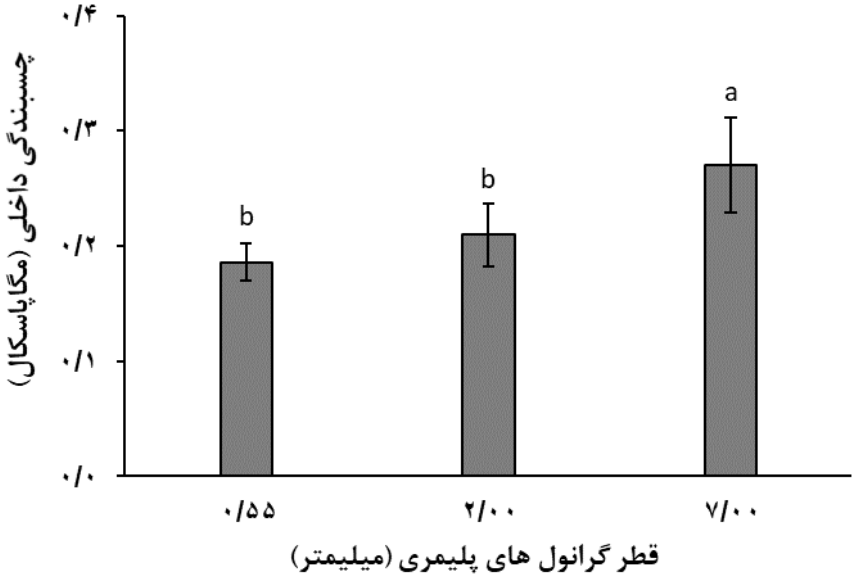
نتایج مربوط به مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته پانل‌های سبک‌وزن تولیدشده در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش قطر گرانول‌های پلیمری استفاده‌شده در لایه میانی مقاومت خمشی نمونه‌ها افزایش اندکی یافته است که این افزایش ازلحاظ آماری معنی‌داری نیست. مقاومت خمشی از ۱۶/۲۵ مگاپاسکال در نمونه با قطر گرانول ۰/۵۵ میلی‌متر به ۱۷/۴۵ مگاپاسکال در نمونه با قطر گرانول ۷ میلی‌متر رسیده است؛ اما افزایش قطر گرانول‌ها باعث افزایش معنی‌دار مدول الاستیسیته نمونه‌ها گردیده است. مدول الاستیسیته نمونه با قطر گرانول ۰/۵۵ میلی‌متر برابر ۱۵۹۰ مگاپاسکال و در نمونه‌های با قطر گرانول ۷ میلی‌متر برابر ۱۹۳۰ مگاپاسکال است. هدف اصلی استفاده از گرانول‌های پلیمری در لایه مرکزی پانل‌های سبک‌وزن پر کردن خلل و فرج ناشی از کاهش دانسیته تخته‌ها است. لازم به ذکر است که وجود گرانول‌های پلیمری می‌تواند تا حدودی مانع اتصال بین خرده‌چوب‌ها درلایه مرکزی شود. به نظر می‌رسد که گرانول‌های قطورتر به دلیل تعداد کمتر در مقدار مساوی (۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب) بهتر توانسته‌اند خلل و فرج موجود در لایه مرکزی را پر کرده و کمتر مانع اتصال خرده‌چوب‌ها با یکدیگر نیز شوند. در این حالت توزیع تنش در نمونه‌های حاوی گرانول‌های قطورتر به‌طور بهتری صورت پذیرفته است که تأثیر مثبتی بر افزایش ویژگی‌های خمشی به‌ویژه مدول الاستیسیته نمونه‌ها نیز داشته است [۱۴].



شکل ۱- تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده بر ویژگی‌های خمشی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده بر میزان چسبندگی داخلی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که استفاده از گرانول با قطر درشت‌تر باعث افزایش معنی‌دار چسبندگی داخلی گردیده است. اتصالات موجود در لایه مرکزی می‌تواند شامل اتصال خرده‌چوب-خرده‌چوب، خرده‌چوب-پلیمر و پلیمر-پلیمر باشد که دراین‌بین نوع خرده‌چوب-خرده‌چوب محکم‌ترین اتصال خواهد بود. به دلیل ماهیت غیرقطبی گرانول‌های پلیمری و ماهیت قطبی خرده‌چوب‌ها، پیوند شیمیایی مستقیم بین آن‌ها متصور نیست. پیوندهای ایجادشده بین گرانول‌های پلیمری و خرده‌چوب‌ها بیشتر از نوع مکانیکی (درهم‌رفتگی) خواهد بود. گرانول‌ها قطورتر توانایی ایجاد درهم‌رفتگی‌های مکانیکی بیشتری را نسبت به گرانول‌های ریزتر دارند. البته چسب اسپری شده موجود بر روی گرانول‌ها و خرده‌چوب‌ها نیز می‌توانند پیوند شیمیایی برقرار نمایند. باید توجه داشت که سطح ویژه گرانول‌های قطورتر بسیار کمتر از گرانول‌های ریزتر است و

ازاین‌روی بهره‌وری چسب مورداستفاده در نمونه‌های با گرانول قطورتر بالاتر است. همچنین لازم به ذکر است که در یک وزن مساوی، پلی‌استایرن‌های با قطر کوچک‌تر دارای تعداد بیشتری نسبت به گرانول‌های درشت‌تر هستند. پراکندگی و توزیع گرانول‌ها با قطر کوچک‌تر در لایه میانی تخته بیشتر بوده و سطح بیشتری از خرده-چوب‌های لایه میانی را پوشانده که اتصال خرده‌چوب با خرده‌چوب را تا حدودی محدود می‌کند و درنهایت اتصالات نسبتاً ضعیفی‌تری در لایه مرکزی نمونه‌ها ایجاد شده است. اتصالات ضعیف‌تر مواد در لایه مرکزی باعث کاهش چسبندگی داخلی نمونه‌ها گردیده است.

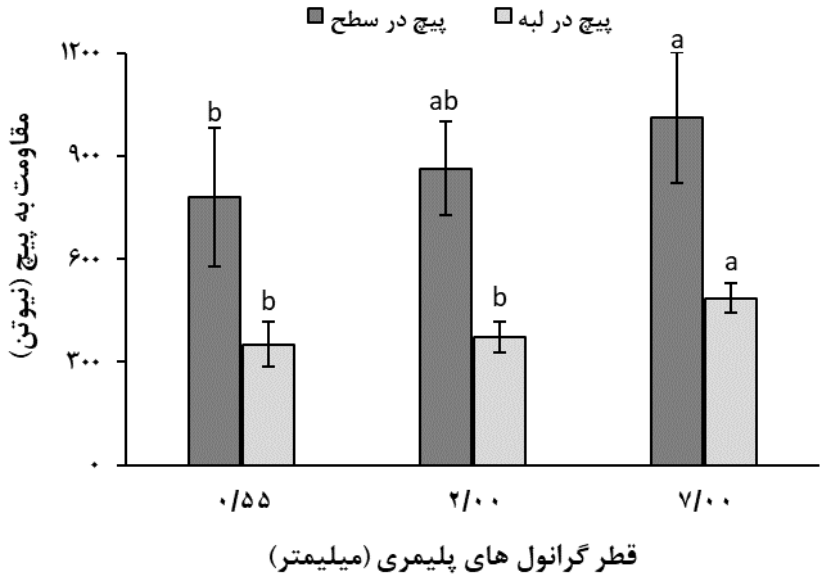


شکل ۲- تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده بر چسبندگی داخلی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

مشاهده سطح شکست نمونه‌های آزمایش‌شده همچنین نشان دادند که در نمونه‌های حاوی گرانول با قطر بالا (۷ میلی‌متر) شکست تقریباً در وسط گرانول‌ها مشاهده شد، درحالی‌که در نمونه‌های حاوی گرانول با قطر ریزتر (۰/۵۵ میلی‌متر)، گرانول‌ها اکثراً به‌صورت سالم و کروی شکل مشاهده شد (شکل ۳). این موضوع بیانگر ایجاد اتصال قوی‌تر بین گرانول‌های پلیمری درشت‌تر با خرده‌چوب‌های لایه مرکزی است که خود افزایش میزان چسبندگی داخلی را به همراه داشته است. باید توجه داشت که سطح ویژه گرانول‌های درشت در یک مقدار مساوی کمتر از سطح ویژه گرانول‌های ریزتر است. این موضوع باعث می‌شود تا چسب بیشتری توسط سطح یک گرانول درشت جذب شده و درنهایت علاوه بر اتصال مکانیکی بهتر، اتصال بهتری از ناحیه چسب با خرده‌چوب نیز ایجاد کند.

شکل ۳- سطح شکست و وضعیت گرانول‌های پلیمری در نمونه‌های آزمونی با قطر ریز سمت راست و درشت سمت چپ

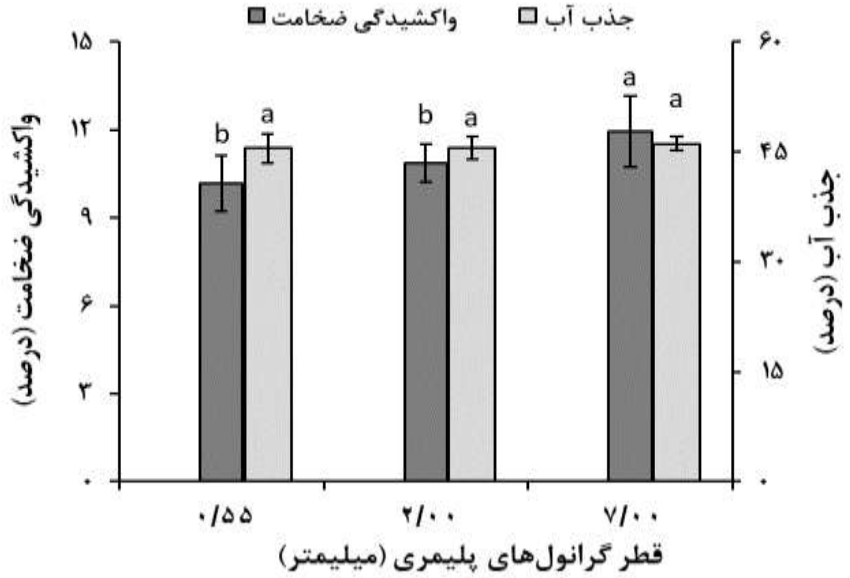
اثر قطر گرانول‌های منبسط‌شده بر مقاومت به پیچ در سطح و لبه نمونه‌های سبک‌وزن ترکیبی در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش قطر گرانول-ها از ۰/۵۵ به ۷ میلی‌متر مقاومت به پیچ هم در سطح و هم در لبه نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. همان‌گونه که پیش‌تر ذکر گردید به نظر با افزایش قطر گرانول‌ها کیفیت چسبندگی مواد در لایه مرکزی بهبود یافته است که باعث افزایش مقاومت به پیچ هم در سطح و هم در لبه نمونه‌ها نیز شده است. از طرف دیگر باید توجه داشت که با ریزتر شدن قطر گرانول‌ها توزیع و پراکندگی گرانول‌ها بیشتر شده و فضای بیشتری از لایه میانی را اشغال می‌کنند. درنتیجه احتمال درگیری رزوه‌های پیچ با گرانول‌های پلی‌استایرنی بیشتر می‌شود. ازآنجایی‌که مقاومت ذاتی گرانول‌های پلی‌استایرنی نسبت به چوب کمتر است، درنتیجه در این حالت مقاومت پیچ هم در سطح و هم در لبه کمتر است.



شکل ۴- تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده بر مقاومت به پیچ در سطح و لبه پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده بر واکشیدگی ضخامت و جذب آب (۲۴ ساعت غوطه‌وری) پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر قطر گرانول‌های

پلیمری از ۰/۵۵ به ۷ میلی‌متر واکشیدگی ضخامت به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است، اما درصد جذب آب تغییر معنی‌داری نداشته است. پلی‌استایرن از مشتقات نفتی بوده و خاصیت آب‌دوستی ندارد. ازاین‌روی دسترسی آب به خرده‌چوب‌های لایه مرکزی را تا حدودی محدود می‌کند و مانع از افزایش زیادتر واکشیدگی ضخامت می‌شود [۱۵]. استفاده از گرانول با قطر کوچک‌تر نسبت به قطر درشت‌تر دارای تعداد بیشتری از مقدار خود در یک وزن مساوی (۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب) هستند. ازاین‌روی به نظر دسترسی مولکول‌های آب به خرده‌چوب‌های نمونه‌های حاوی گرانول‌های درشت بیشتر است و واکشیدگی ضخامت افزایش یافته است. همچنین به دلیل یکسان بودن میزان مصرف گرانول‌های پلیمری (۱۰ درصد) در همه تیمارها و با توجه مقدار ثابت ماده چوبی در نمونه‌ها (دانسیته تقریباً برابر)، درصد جذب آب تقریباً ثابت و حدود ۴۵ درصد بوده است.



شکل ۵- تأثیر قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده بر واکشیدگی ضخامت و جذب آب (۲۴ غوطه‌وری) پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

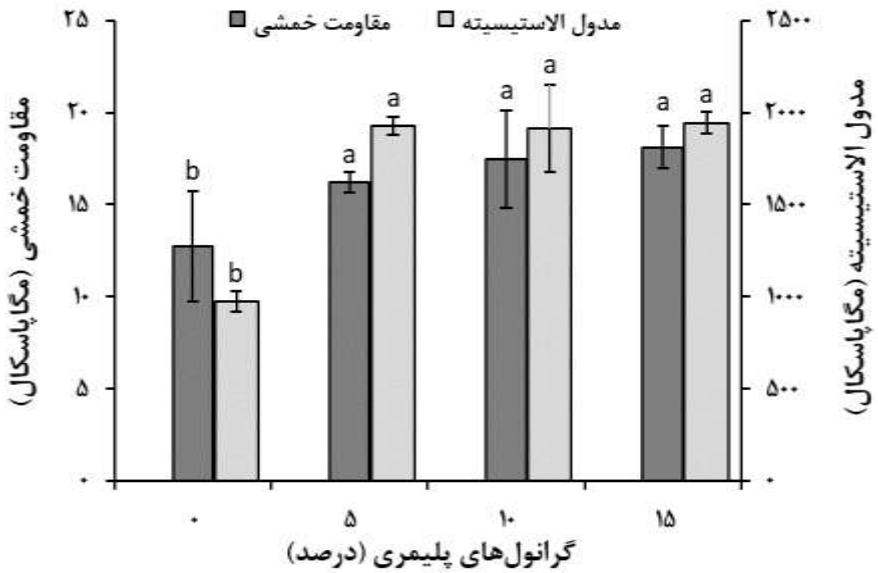
تأثیر درصدهای مختلف گرانول‌ها بر ویژگی‌های پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی

ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی

تأثیر استفاده از درصدهای مختلف گرانول بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که افزودن گرانول‌های پلیمری باعث افزایش معنی‌دار مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها گردیده است. به‌طوری‌که مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در نمونه شاهد به ترتیب از حدود ۱۲/۷ و ۹۷۰ مگاپاسگال به حدود ۱۸ و ۱۹۴۰ مگاپاسگال در نمونه‌های حاوی ۱۵ درصد گرانول پلیمری منبسط‌شده رسیده است. این افزایش حدود ۵۰ و ۱۰۰ درصدی در مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مربوط به پرکردن خلل و فرج موجود در لایه مرکزی تخته‌های سبک‌وزن است که خود توزیع یکنواخت‌تر تنش‌های وارده به نمونه در هنگام آزمایش و بهبود ویژگی‌های خمشی را به همراه داشته است [۱۴]. علاوه بر این، جایگزینی مقادیری از خرده‌چوب با گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده و حجیم باعث افزایش قابل‌توجه ضخامت کیک نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. افزایش ضخامت کیک با افزایش ضریب فشردگی کیک مواد در هنگام پرس گرم همراه بوده است که تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های خمشی تخته‌ها نیز داشته است. نتایج همچنین نشان می‌دهند که با افزایش درصد گرانول‌ها در لایه مرکزی از ۵ به ۱۵ درصد، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها نیز افزایش جزئی یافته است که ازلحاظ آماری این افزایش معنی‌دار نیست.

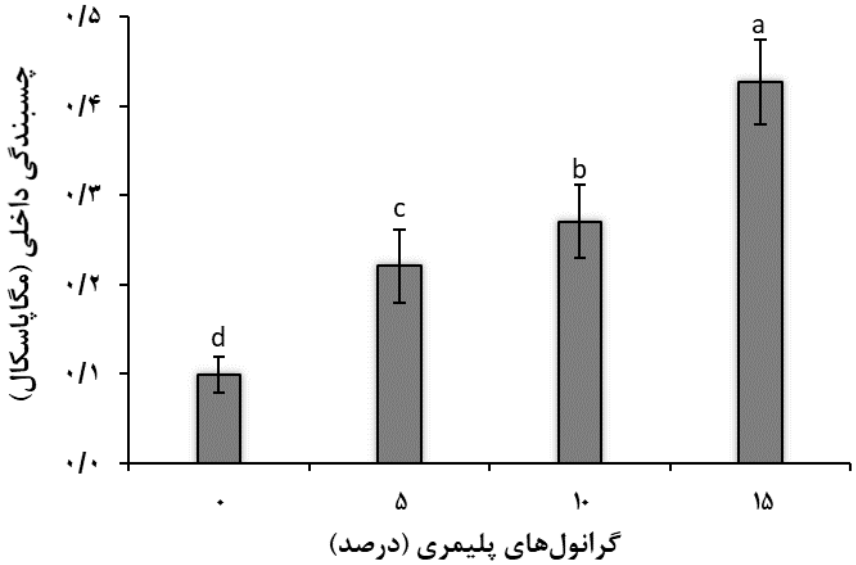
این افزایش جزئی ویژگی‌های خمشی مربوط به افزایش ضخامت کیک ناشی از بیشتر بودن گرانول‌های پلیمری و درنتیجه افزایش جزئی ضریب فشردگی کیک مواد در هنگام پرس گرم بوده است. لازم به ذکر است که گرانول-های پلیمری در این‌گونه پانل‌ها ذوب نمی‌شوند و فقط به حد درجه حرارت شیشه‌ای شدن خود می‌رسند. با افزایش درصد گرانول‌های پلیمری احتمال جوش جزئی گرانول‌ها (bead fusion) با یکدیگر افزایش یافته که تأثیر مثبتی بر بهبود اتصالات درون تخته و ویژگی‌های خمشی تخته‌ها نیز می‌تواند داشته باشد. باید توجه داشت که ازنقطه‌نظر اقتصادی استفاده از میزان کمتر گرانول برای کاهش هزینه‌های تولید بسیار بااهمیت است.

به‌طورکلی می‌توان بیان نمود استفاده از گرانول‌های منبسط‌شده پلیمری قابلیت ارتقاء ویژگی‌های خمشی (مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته) پانل‌های ترکیبی سبک‌وزن را به همراه داشته است.



شکل ۶-تأثیر درصد گرانول‌های پلی‌استایرن بر ویژگی‌های خمشی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

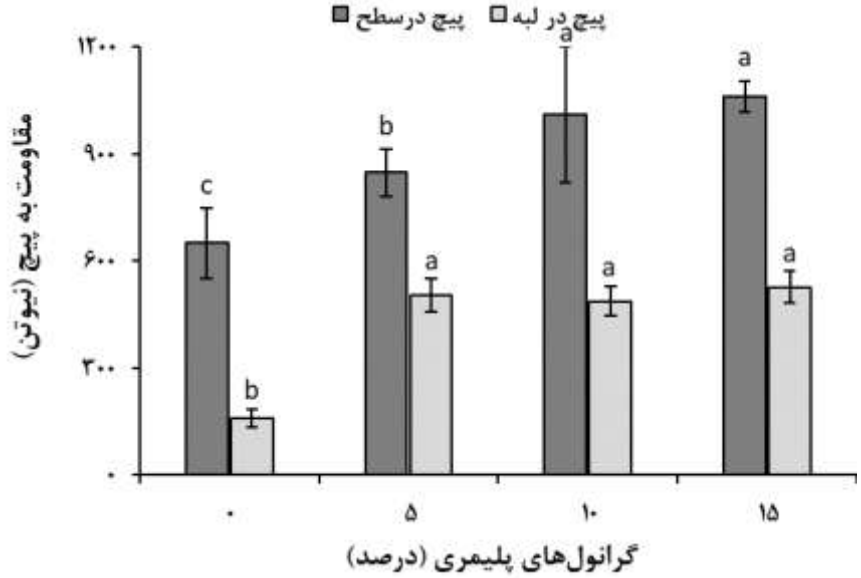
تأثیر استفاده از درصدهای مختلف گرانول بر چسبندگی داخلی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج حاصل از شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش درصد گرانول از ۰ به ۱۵ درصد میزان چسبندگی داخلی به‌طور معنی‌دار و قابل‌توجهی افزایش یافته است. به‌طوری‌که میزان چسبندگی داخلی در نمونه-های شاهد (صفر درصد گرانول) از حدود ۰/۱۰ مگاپاسکال به حدود ۰/۴۳ مگاپاسکال در نمونه با ۱۵ درصد گرانول رسیده است که افزایش قابل‌توجه ۳۰۰ درصدی را نشان می‌دهد. جایگزینی مقادیر متفاوت از خرده چوب‌های لایه مرکزی با گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده که حجم بسیار بالایی دارند، باعث افزایش توده مواد در لایه مرکزی و درنتیجه افزایش درهم‌رفتگی مکانیکی خرده‌چوب و گرانول‌های پلیمری می‌شود. این موضوع باعث بهبود پیوندهای موجود درون تخته‌ها گردیده و میزان چسبندگی داخلی را به‌طور بسیار زیادی افزایش داده است [۱۴]. علاوه بر این‌ها افزایش جوش بین گرانول‌ها (bead fusion) با افزایش درصد مصرف گرانول‌ها با یکدیگر افزایش یافته که بهبود اتصالات درون تخته را نیز به همراه داشته است.



شکل ۷- تأثیر درصد گرانول‌های پلی‌استایرن بر چسبندگی داخلی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

تأثیر استفاده از درصدهای مختلف گرانول بر مقاومت به پیچ در سطح و لبه پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که مقاومت به پیچ هم در سطح و هم در لبه نمونه‌ها با افزودن گرانول‌های پلیمری به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. مقاومت به پیچ در سطح و لبه نمونه شاهد به ترتیب حدود ۶۵۰ و ۱۶۰ نیوتن است که با افزایش حدود ۵ درصدی گرانول پلیمری به حدود ۸۵۰ و ۵۰۰ نیوتن رسیده است. می‌توان بیان داشت که تأثیر استفاده از گرانول‌های پلیمری بر بهبود مقاومت به پیچ در لبه نمونه‌ها بسیار بیشتر از سطح است. مقاومت به پیچ در سطح نمونه‌ها بیشتر متأثر از کیفیت لایه‌های سطحی نمونه‌ها است اما مقاومت به پیچ در لبه متأثر از کیفیت و تراکم مواد لایه مرکزی است. افزایش تراکم مواد و بهبود اتصال مواد در لایه مرکزی ازجمله دلایل بهبود مقاومت به پیچ به‌ویژه در لبه نمونه‌ها است [۱۵].

افزایش درصد مصرف گرانول‌ها از ۵ به ۱۵ درصد باعث افزایش مقاومت به پیچ سطح شده است. این افزایش متأثر از افزایش ضخامت کیک مواد و درنتیجه افزایش ضریب فشردگی مواد در هنگام پرس گرم بوده است که باعث بهبود کیفیت لایه‌های سطحی و ویژگی‌ها مربوط به آن نیز شده است. نتایج همچنین نشان دادند که مقاومت به پیچ در لبه نمونه‌ها با افزایش درصد گرانول‌های مصرفی تغییری نداشته است که ازنقطه‌نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.

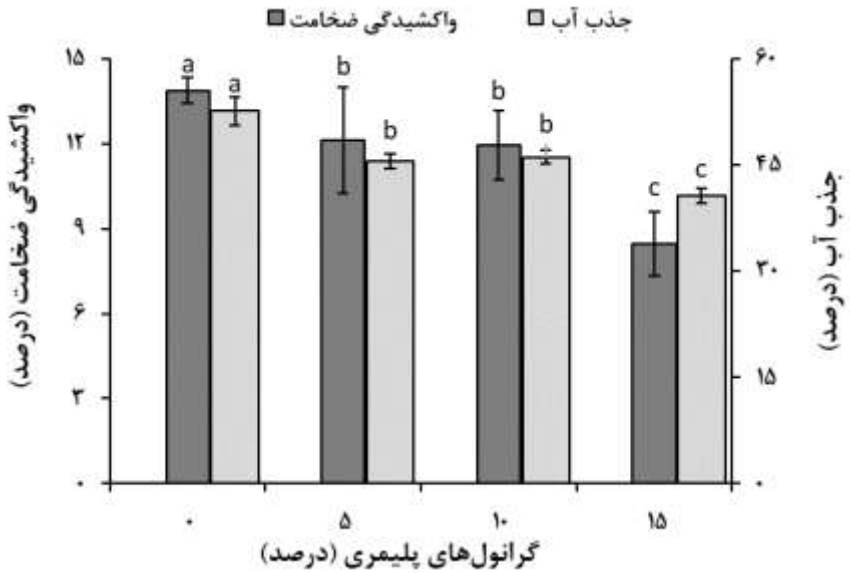


شکل ۸- تأثیر درصد گرانول‌های پلی‌استایرن بر مقاومت به پیچ پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی

تأثیر جایگزینی درصدهای مختلف گرانول‌های پلیمری با خرده‌چوب در لایه مرکزی پانل‌ها بر واکشیدگی ضخامت و جذب آب نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل ۹ ارائه گردیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود واکشیدگی ضخامت با افزایش درصد گرانول‌ها از ۰ تا ۱۵ درصد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. البته این تفاوت در تیمارهای ۵ و ۱۰ درصد معنی‌دار نیست و روند بخصوصی در آن مشاهده نمی‌گردد. بیشترین میزان واکشیدگی ضخامت مربوط به نمونه شاهد با ۱۳/۵ درصد و کمترین آن در تیمار ۱۵ درصد گرانول با ۸/۵ درصد مشاهده می‌شود. به‌طورکلی واکشیدگی ضخامت در نمونه‌ها بستگی به مقدار ماده چوبی بکار رفته دارد، به‌طوری‌که استفاده از ماده چوبی بیشتر باعث افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت در نمونه‌ها می‌شود [۱۴، ۱۶]. با کاهش خرده‌چوب در لایه میانی تخته و جایگزینی آن با گرانول‌های پلی‌استایرنی، هم ماده چوبی که عامل اصلی در واکشیدگی ضخامت است از لایه میانی کاهش یافته است و هم مقدار قابل‌توجهی از گرانول‌های پلی‌استایرنی در لایه میانی جایگزین می‌شود که دسترسی آب و رطوبت را به خرده‌چوب‌ها محدود می‌کند. گرانول‌های پلی‌استایرنی آب‌گریز بوده و درنتیجه واکشیدگی ضخامت را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند [۱۶-۱۷].

همچنین نتایج حاصل از شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزایش درصد گرانول‌های پلیمری مقدار درصد جذب آب کاهش معنی‌داری یافته است و روند آن همانند روند مربوط به واکشیدگی ضخامت است. حذف خرده‌چوب از لایه میانی و جایگزینی آن با گرانول‌های آب‌گریز پلی‌استایرنی باعث شده است که گرانول‌ها خلل و فرج و حفرات موجود در لایه مرکزی را پر کرده و نفوذ آب به درون تخته را کاهش دهند. با توجه به ماهیت آب‌گریزی گرانول‌ها، افزایش درصد گرانول‌ها باعث کاهش بیشتر جذب آب گردیده است [۱۴، ۱۶]. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان جذب آب مربوط به نمونه شاهد (صفر درصد گرانول) به مقدار ۵۲ درصد و کمترین میزان جذب آب مربوط به تیمار ۱۵ درصد به مقدار ۴۰ درصد مشاهده می‌شود.



شکل ۹ - تأثیر درصد گرانول‌های پلی‌استایرن بر واکشیدگی ضخامت و جذب آب بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

نتیجه‌گیری

تخته‌های ترکیبی سبک‌وزن با دانسیته ۵۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و با ضخامت نهایی ۱۶ میلی‌متر با استفاده از گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده (پلی‌استایرن) تولید شدند. نتایج بیانگر تأثیر مثبت استفاده از گرانول‌های پلیمری بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌های سبک‌وزن ترکیبی تولید شده بوده است. با افزایش قطر گرانول‌های پلیمری منبسط‌شده ویژگی‌های مکانیکی به‌ویژه چسبندگی داخلی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته‌اند. با افزایش قطر گرانول‌ها درصد جذب آب نمونه‌ها تغییر محسوسی نداشته‌اند ولی واکشیدگی ضخامت به‌طور اندکی افزایش یافته است. افزایش درصد استفاده از گرانول‌های پلیمری نیز اثر چندانی بروی ویژگی‌های خمشی و مقاومت به پیچ (سطح و لبه) نمونه‌ها نداشته است؛ اما میزان چسبندگی داخلی و ویژگی‌های فیزیکی (درصد واکشیدگی ضخامت و جذب آب) به‌طور معنی‌داری بهبود یافته است. به‌طورکلی می‌توان بیان نمود که گرانول‌های پلی‌استایرن با قطر بالا و درصدهای پایین ۵ و ۱۰ درصد ماده‌ی مناسبی برای تولید پانل‌های سبک‌وزن می‌باشند و تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های آن‌ها دارد.

منابع

[1] Shalbafan, A., Luedtke, J., Welling, J. and Fruehwald, A., 2013. Physiomechanical properties of ultralightweight foam core particleboards: different core densities. Holzforschung, 67(2):169-175.

[2] 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.

[3] Hiziroglu, S., Jarusombuti, S., Fuengrivat, V., Bauchongkol, P., Soontonbura, W. and Darapak, T., 2005. Properties of bamboo- rice straw- eucalyptus composite panels. Forest Products Journal, 55(12): 221-225.

[4] Doosthoseini, K., 2005. Wood Composite Materials; Manufacturing, Applications. University of Tehran Press. Vol. 3. (In Persian).

[5] Pepke, E., 2013. Forest Products Annual Market Review. UNECE: United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry and Timber Section, Geneva, Switzerland, 155 pp.

[6] Youngquist, J.A., 1999. Wood-based Composites and Panel Products. in Wood Handbook—Wood as an Engineering Material, 50(22):10–31.

[7] Méausoone, P.J. and Aguilera, A., 2013. Inventory of Experimental Works on Cutting Tools' Life for the Wood Industry. Research Developments in Wood Engineering and Technology, 1:320-342.

[8] Dukarska, D., Dziurka, D., Łęcka, J. and Mirski, R., 2006. The Effect of Amounts of Rape Straw Added to Chips on Properties of Particle Boards Depending on the Type of Bonding Agent. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 9(3):166-177.

[9] Dziurka, D., Mirski, R. and Łęcka, J., 2010. Rape Straw as a Substitute of Chips in Core Layers of Particleboards Resinated With PMDI. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 13(4): 1-16.

[10] Schulz, T. and Hanel, W., 2010. Leichtezutaten (Light ingredients) (In German) HK, Holz- Kunstst.verarb, 45(6):75–77.

[11] Seemann, C., 2011. New Generation of Wood-based Materials it Does not Always Have to be Wood, In GreCon Woodsymposium, German Hannover, 15–16 September.

[12] Weinkoetz, S., 2012. Kaurit_ Light for Lightweight Wood-based Panels, In: Second Symposium on Lightweight Furniture, German Lemgo, 23–24.

[13] Sackey, E.K., Semple, K.E., Oh, S.W. and Smith, G.D., 2008. Improving core bond strength of particleboard through particle size redistribution. Wood and Fiber Science, 40(2):214-224.

[14] Shalbafan, 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.

[15] Eckelman, C. A., 1975. Screw holding performance in hard woods and particleboard. Forest Product Journal, 25(6):30-35.

[16] Horvath, J.S., 1994. Expanded polystyrene (EPS) geofoam: an introduction to material behavior. Geotext Geomembr, 13(4):263-280.

[17] Talavera, F.F., Guzmán, J.S., Richter, H.G., Dueñas, R.S. and Quirarte, J.R., 2007. Effect of production variables on bending properties, water absorption and thickness swelling of bagasse/plastic composite boards. Industrial Crops and Products, 26(1):1-7.

Effect of the expanded polystyrene granules on the physical and mechanical properties of hybrid lightweight panels

Abstract

The aim of the present study was to produce low density hybrid panels using expanded polystyrene granules (EPS) with different diameter and percentage. Expanded polystyrene granules used in 3 forms of fine, medium and large granules with an average diameters of 0.55, 2 and 7 mm, respectively. The amount of EPS substituted in the core layer was 5, 10 and 15% based on oven dry mass of wood coarse particles. The results showed that the mechanical properties (modulus of elasticity, internal bond, face and edge screw withdrawal resistance) were significantly enhanced with increasing the EPS diameters. Increasing the amount of EPS from 5 to 15% also significantly improved the internal bond and physical properties. The bending properties and screw withdrawal resistance (both face and edge) were not significantly influenced with increasing the EPS content. The most important finding was that the improvement of all properties in core layer using polystyrene granules was higher in comparison with reference panels.

Keywords: hybrid panel, lightweight, polystyrene granule, expanded.

S. Jafarnezhad[1]
A. Shalbafan[2*]
J. Luedtke[3]

[1] M.Sc., Wood and paper science division, Faculty of natural resources, Tarbiat Modares university, Noor, Iran

[2] Assistant Prof., Wood and paper science division, Faculty of natural resources, Tarbiat Modares university, Noor, Iran

[3] Dr. Thünen-Institute of wood research, Bio-based resources and materials, Hamburg, Germany

Corresponding author:
ali.shalbafan@modares.ac.ir

Received: 2017/09/27
Accepted: 2018/03/05