Archive of SID

تأثیر اصلاح بخار گرمایی- مکانیکی بر خواص کاربردی گلولام ساخته‌شده از چوب صنوبر

رضا حاجی‌حسنی[۱*]
بهبود محبی[۲]
سعید کاظمی نجفی[۳]

[۱] استادیار بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

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

[۳] استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

مسئول مکاتبات:
Reza.Hajihassani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۵

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی گلولام ساخته‌شده از چوب صنوبر (*Populus deltoides*) فشرده‌شده با فرایند ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی (ترکیبی از دو تکنیک تیمار بخار گرمایی و عملیات فشرده‌سازی) بود. در این بررسی تیمار بخار گرمایی چوب صنوبر در دماهای ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان‌های ماندگاری ۲۰ و ۴۰ دقیقه انجام شد. سپس تیمار فشرده‌سازی چوب صنوبر در دمای پرس ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پرس ۲۰ دقیقه و با دو ضریب فشردگی ۴۰ و ۶۰ درصد (جهت شعاعی) صورت پذیرفت. برای ساخت گلولام، از اتصال انگشتی و چسب پلی اورتان استفاده گردید. خواص فیزیکی و مکانیکی گلولام ساخته‌شده ازجمله جذب آب، واکشیدگی شعاعی و مماسی، جدا شدن لایه‌ها، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت برشی خط چسب موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خواص فیزیکی و مکانیکی گلولام ساخته‌شده از چوب صنوبر تیمار شده با فرایند بخار گرمایی- مکانیکی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج میزان جذب آب و واکشیدگی شعاعی گلولام ساخته‌شده از چوب‌های تیمار شده با فرایند ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی افزایش می‌یابد. همچنین فرایند ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی سبب کاهش میزان جدا شدن لایه‌های گلولام پس از چرخه‌های غوطه‌وری- خشکاندن می‌گردد. ویژگی‌های مکانیکی گلولام‌های ساخته‌شده ازجمله مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی در اثر تیمار ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی افزایش‌یافته؛ اما مقاومت برشی خط چسب گلولام‌ها در اثر این تیمار کاهش می‌یابد. لذا نتایج بیانگر بهبود برخی خواص فیزیکی و مکانیکی گلولام در اثر فرایند ترکیبی بخار گرمایی می‌باشد.

واژگان کلیدی: گلولام، تیمار ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، ضریب فشردگی.

مقدمه

یکی از فرآورده‌های چوبی مهم و مهندسی‌شده که در اوایل قرن بیستم در اروپا توسط Otto Hetzer آلمانی ابداع گردید گلولام می‌باشد [۱]. این محصول از لایه‌های چوبی بریده‌شده که در جهات افقی، با استفاده از اتصالات انگشتی و یا نیم - نیم برای تأمین طول موردنظر به یکدیگر چسبانده شده‌اند ساخته‌شده است [۲]. گلولام می‌تواند زیبایی طبیعی چوب را در ساختمان‌ها و سازه‌های چوبی به نمایش گذاشته و به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار گیرد؛ لذا خواص منحصربه‌فرد آن از قبیل قابلیت

www.SID.ir

Archive of SID

طراحی بالا و اشکال مختلف کاربرد، تولید آسان، مقاومت بالا و عملکرد فوق‌العاده، گلولام را به‌عنوان یک انتخاب برتر برای سازه‌های مسکونی و پروژه‌های ساختمانی و دیگر سازه‌های تجاری سبک ساخته است [۳]. بااین‌حال گلولام دارای برخی از معایب و محدودیت‌های چوب ماسیو ازجمله جذب و دفع رطوبت، تغییرات ابعادی، تخریب توسط عوامل مخرب زیستی، اشعه ماورای بنفش و هوازدگی و برخی ضعف‌های مکانیکی و ... را نیز به همراه دارد، لذا در سال‌های اخیر سعی شده است که با استفاده از روش‌های متعدد اصلاحی، ویژگی‌های این مواد را اصلاح نموده و آن‌ها را برای کاربردهایی با قابلیت‌هایی فراتر ازآنچه تاکنون به کار می‌روند مورداستفاده قرارداد.

یکی از روش‌های اصلاح، تیمار گرمابی می‌باشد. در فرآیند گرمابی، اتصالات لیگنوسلولزی به‌وسیله یون‌های هیدرونیوم به وجود آمده از هیدرولیز آب موردحمله قرار می‌گیرند. به عبارتی، آب در درجه حرارت بالا به یون‌های هیدرونیوم تبدیل می‌شود و با حمله به بسپارهای قندی؛ مانند همی سلولزها و تجزیه آن‌ها و تشکیل اسیدهای آلی و حمله این اسیدها به ساختارهای بسپاری دیواره‌های سلولی؛ پلی‌ساکاریدها را هیدرولیز می‌نماید. پروتون تشکیل‌شده از آب (یون‌های هیدرونیوم)، واکنش‌های استیل زدایی و هیدرولیز را افزایش می‌دهد [۴]. در این روش، ترکیبات مضر، مشکلات مربوط به خوردگی و بازیابی مواد شیمیایی و انهدام آن‌ها وجود ندارد [۵]. تیمار بخار، با حذف گروه‌های استیل همی‌سلولز و تولید اسید استیک سبب هیدرولیز همی سلولزها و کاهش گروه‌های هیدروکسیل می‌گردد. هیدرولیز اسیدی پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی، مونوساکاریدهای قابل‌حل در آب (آرابینوز، گالاکتوز، گلوکز، زایلوز و مانوز) را تولید می‌نماید [۶]. حضور اسید استیک مشتق شده از همی‌سلولز هم‌چنین عاملی برای افزایش تخریب لیگنین می‌باشد. تخریب اتصالات ß-O-4 در لیگنین سوزنی‌برگان در طول فرآیند گرمابی دلیل اصلی کاهش سفتی چوب می‌باشد [۷]. لیگنین نوساختار شده (بازسازی‌شده) موجب افزایش مقاومت به شکست در نمونه‌های تیمار شده می‌گردد. هم‌چنین لیگنین اصلاح‌شده مقاومت چوب تیمار شده به جذب آب را افزایش می‌دهد [۸]. بنابراین تیمار گرمابی، تغییرات مطلوبی را در ساختار فیزیکی چوب و گلولام از قبیل کاهش هم کشیدگی و واکشیدگی، رطوبت تعادل کم، افزایش مقاومت به هوازدگی و افزایش زیبایی چوب، رنگ تیره و مقاومت به تخریب بالاتر به همراه دارد؛ ولی متأسفانه ویژگی‌های مکانیکی؛ مانند مقاومت، سختی و سفتی کاهش می‌یابد و این کاهش مقاومت بستگی به روش اصلاح، گونه چوبی و ویژگی‌های آن، میزان رطوبت اولیه چوب، اتمسفر، زمان و درجه حرارت تیمار دارد [۹]. لذا برای برطرف نمودن این مشکل می‌توان از دیگر روش‌های اصلاحی ازجمله اصلاح مکانیکی به‌تنهایی یا در ترکیب با آن‌ها استفاده نمود.

می‌دانیم که افزایش دانسیته چوب اغلب خواص مکانیکی چوب را بهبود می‌بخشد. فرآیند فشرده‌سازی چوب یک روش اصلاحی بسیار مؤثر برای افزایش دانسیته چوب می‌باشد [۱۰]. فشرده‌سازی چوب خواص چوب سبک و حجیم و نیز خصوصیات سطح را تغییر می‌دهد، لذا برای گونه‌هایی با دانسیته کم؛ مانند صنوبر لرزان و صنوبر هیبرید بسیار مناسب می‌باشد [۱۱]. لذا یکی دیگر از روش‌های دوستدار محیط‌زیست نوین و تکوین یافته که گرایش تازه‌ای در تولید مواد چوبی متراکم شده مقاوم می‌باشد تحت تأثیر قرار دادن چوب توسط ترکیبی از حرارت، رطوبت و عمل مکانیکی می‌باشد که به نام تیمار گرمابی- مکانیکی شناخته‌شده است [۱۲، ۱۳]؛ به‌طوری‌که چوب در اثر اصلاح گرمابی، آب‌گریز [۱۲، ۱۴] و نیز مقاوم به عوامل مخرب بیولوژیکی می‌شود [۱۵] و از طرف دیگر با به‌کارگیری نیروهای فشاری، ویژگی‌های مکانیکی چوب متراکم شده افزایش می‌یابد [۱۲]؛ لذا متراکم‌سازی به روش گرمابی- مکانیکی، مقاومت و سختی چوب را افزایش داده و به‌ویژه برای گونه‌های سبک و با دانسیته کم مانند صنوبرها مناسب می‌باشد [۱۱، ۱۲].

به‌طورکلی، ضرورت استفاده از تیمار بخار گرمایی- مکانیکی در تولید گلولام به دلیل حذف معایب و محدودیت‌های چوب ماسیو است؛ بنابراین، به دست آوردن شرایط بهینه در این روش جدید می‌تواند خواص عملکردی برتر محصول را به همراه داشته باشد. به‌عبارت‌دیگر، در تیمار بخار گرمایی- مکانیکی، نه‌تنها شرایط مناسب بخاردهی و گرما می‌تواند خواص فیزیکی

www.SID.ir

Archive of SID

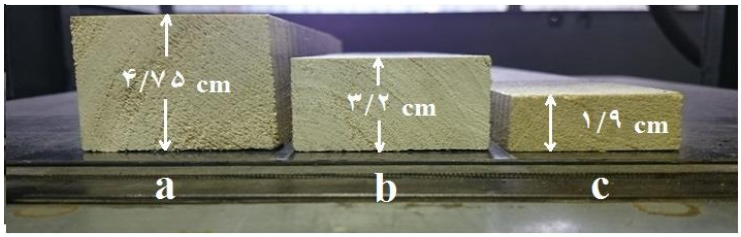
مناسب را فراهم کند، بلکه فرایند فشرده‌سازی، برخی از ضعف‌های مکانیکی ناشی از تیمار بخار گرمایی مانند کاهش وزن و کاهش مقاومت را برطرف می‌نماید. لذا هدف از این پژوهش بررسی تیمار و فشرده‌سازی چوب صنوبر به روش تیمار اصلاح ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی و بررسی امکان ساخت تیر لایه‌ای از آن، ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تیرهای ساخته‌شده و بررسی ویژگی‌های خط چسب در تیرهای ساخته‌شده از چوب‌های تیمار شده به روش اصلاح ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در ابتدا نمونه‌های چوبی با ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰۰ میلی‌متر از چوب صنوبر (*Populus deltoides*) تهیه و به مدت ۲۴ ساعت قبل از تیمار در آب غوطه‌ور گردیدند. سپس قطعات تهیه‌شده در درون رآکتور بخارزنی قرار داده‌شده و در دماهای ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان‌های ماندگاری ۲۰ و ۴۰ دقیقه تیمار شدند (شکل ۱).

شکل ۱- راکتور بخارزنی برای تیمار بخار گرمایی چوب صنوبر

در این مرحله با توجه به این‌که برای ساخت هر گلولام تعداد ۶ بلوک موردنیاز بود و با توجه به متغیرهای در نظر گرفته‌شده برای ساخت گلولام و نیز با در نظر گرفتن تعداد ۵ تکرار برای هر تیمار؛ درمجموع تعداد ۴۵۰ بلوک چوب صنوبر تهیه و تحت تیمار بخار گرمایی قرار گرفتند. پیش از فرآیند فشرده‌سازی و به دلیل رطوبت بالای نمونه‌ها، ابتدا آن‌ها را در هوای آزاد قرار داده تا از رطوبت آن‌ها کاسته شود و در مرحله بعد در داخل آون و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به رطوبت کاربردی موردنظر (حدود ۱۵٪) برسند. در گام بعدی نمونه‌های شاهد و تیمار شده با استفاده از پرس گرم آزمایشگاهی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه با دو سطح فشردگی ۴۰ و ۶۰ درصد نسبت به ضخامت اولیه (شکل ۲) و در راستای شعاعی تحت‌فشار پرس $55 kg/cm^2$ فشرده شدند [۱۲].

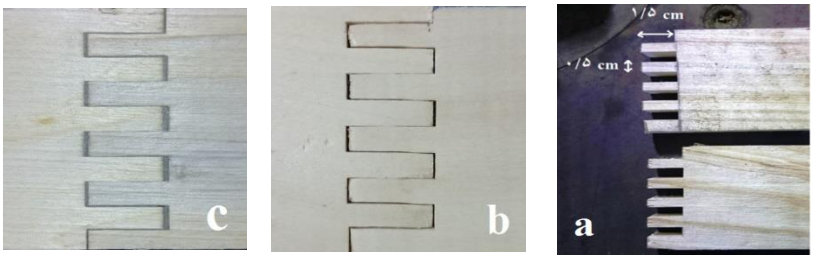


شکل ۲- ضخامت نمونه پیش از پرس برای ضرایب فشردگی ۶۰٪ (a) و ۴۰٪ (b)، ضخامت بعد از پرس برای هر دو ضریب فشردگی (c)

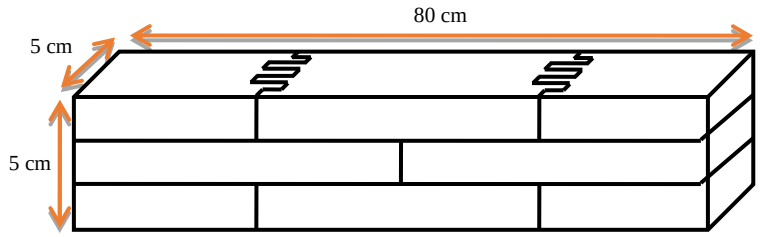
قطعات فشرده‌شده ابتدا پرداخت شدند و در ابعاد طولی موردنظر برای ساخت گلولام برش خوردند. در مرحله بعد با استفاده از تیغه‌های شیارزن ۶ تیغه اقدام به ایجاد اتصالات انگشتی از نوع عمودی بر روی قطعات برش خورده گردید (شکل ۳). سپس قبل از عملیات چسب‌زنی و ساخت گلولام، با توجه به نحوه قرار گرفتن اتصالات در گلولام، قطعات مختلف هر تیر بر اساس شکل ۴ بر روی‌هم مونتاژ و آماده‌سازی شدند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- ابعاد و تعداد اتصالات انگشتی (a)، اتصال انگشتی قبل (b) و بعد از چسب‌زنی (c)



شکل ۴- نحوه برش و چینش لایه‌ها در تیر لایه‌ای

چسب مورداستفاده برای ساخت گلولام، چسب دوبخشی پلی‌اورتان (بخش چسب با کد ML-518 و بخش هاردنر با کد HA-418) و مقدار مصرف آن ۲۰۰ g/m^2 بود. لایه‌های چسب‌زنی و مونتاژ شده گلولام تحت پرس سرد هیدرولیک کارگاهی با فشار ۰/۸ N/mm^2، مدت‌زمان ۸ ساعت و دمای محیط قرار داده شدند [۱۶]. درنهایت با توجه به ویژگی‌های فیزیکی چسب، برای پلیمر شدن بهتر و کامل‌تر آن و نیز انجام مراحل بعدی به مدت یک ماه در شرایط آزمایشگاهی (دمای ۲۵±۲°C و رطوبت نسبی ۵±۶۵٪) قرار داده شدند تا ضمن متعادل‌سازی، گیرایی چسب (Post curring) نیز کامل گردد. درمجموع، ۷۵ گلولام با توجه به عوامل متغیر (سه سطح دمای بخارزنی، دو سطح زمان ماندگاری و دو سطح ضریب فشرده‌سازی) و ۵ تکرار و همچنین شاهد (شاهد و شاهد با ضرایب فشردگی ۴۰ و ۶۰ درصد) ساخته شد (شکل ۵). در پایان ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های تهیه‌شده بر اساس استاندارد ASTM D 143-09، ASTM D 905-03 و ISO 8375 مورد ارزیابی قرار گرفتند [۱۷، ۱۸، ۱۹]. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی نیز با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمایش فاکتوریل مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند.

شکل۵- نمونه‌هایی از گلولام‌های ساخته‌شده از چوب صنوبر تیمار شده با فرایند بخار گرمایی مکانیکی

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

جدول شماره ۱ خلاصه تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مکانیکی و اثرات مستقل و متقابل دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی را در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد نشان می‌دهد.

جدول ۱- تجزیه واریانس (مقادیر محاسبه‌شده F) برای اثر مستقل و متقابل متغیرها بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گلولام

منبع تغییرات	درجه آزادی	جذب آب	واکشیدگی شعاعی	واکشیدگی مماسی	جدا شدن لایه‌ها	مقاومت خمشی	مدول الاستیسیته	مقاومت برشی خط چسب
دمای تیمار بخار گرمایی (°C)	۲	۴۵/۳۷۲**	۴۴/۵۵۴**	۱۴/۴۷۵**	۳/۸۸۵*	۹/۳۵۸**	۱۲/۹۷۳**	۴/۹۲۵**
زمان ماندگاری (دقیقه)	۱	۱۹/۷۸۶**	۱۸/۹۶۷**	۱۰/۶۱۸**	۵/۱۸۹*	۸/۲۸۹**	۰/۰۱۷ ns	۰/۲۲۸ ns
ضریب فشردگی (درصد)	۱	۲۴/۳۳۵**	۱۷۴/۶۴۸**	۴/۳۶۸*	۴/۷۷۰*	۱۲/۳۶۶**	۸/۴۸۲**	۰/۱۶۲ ns
دمای تیمار بخار گرمایی * زمان ماندگاری	۲	۵/۹۰۰**	۳/۲۱۴*	۶/۵۷۴**	۳/۶۶۹*	۰/۵۰۶ ns	۰/۱۹۴ ns	۳/۳۴۲*
دمای تیمار بخار گرمایی * ضریب فشردگی	۲	۰/۸۲۳ns	۲/۱۸۲ ns	۰/۰۳۸ ns	۰/۳۹۶ ns	۲/۰۹۳ ns	۰/۶۶۱ ns	۰/۵۳۰ ns
زمان ماندگاری * ضریب فشردگی	۱	۰/۷۸۵ns	۰/۱۰۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۲/۲۸۰ ns	۰/۳۰۶ ns	۰/۰۴۱ ns	۶/۹۱۴**
دمای تیمار بخار گرمایی * زمان ماندگاری * ضریب فشردگی	۲	۰/۲۳۰ns	۰/۱۵۳ ns	۰/۱۴۵ ns	۰/۱۶۴ ns	۲/۶۸۲ ns	۲/۷۲۴ ns	۳/۳۶۲*

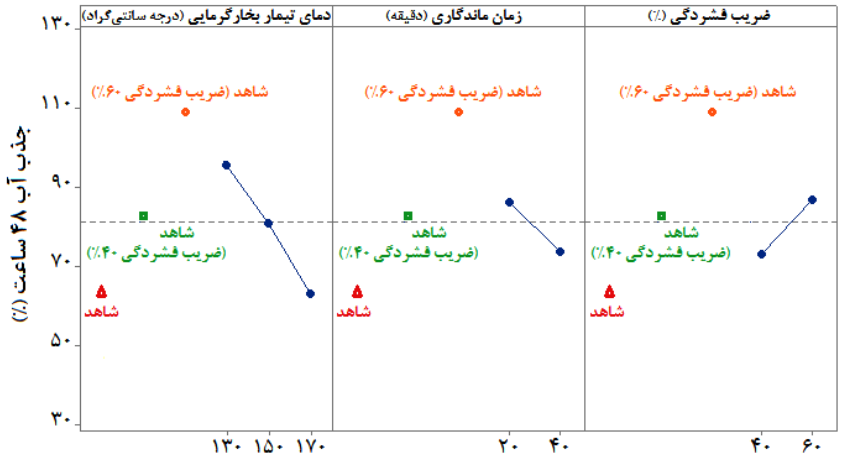
**: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، *: معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns: معنی‌دار نشده

۱-۳. جذب آب گلولام

بررسی میزان جذب آب گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد و تیمار شده نشان داد که افزایش دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری سبب کاهش میزان جذب آب و افزایش ضریب فشردگی سبب افزایش میزان جذب آب گلولام‌ها گردیده است (شکل ۶). شکل ۶ به‌خوبی بیانگر تأثیر چشمگیر افزایش دمای تیمار بر کاهش میزان جذب آب می‌باشد، به‌طوری‌که میزان جذب آب گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های تیمار شده در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد حتی با توجه به فشرده شدن آن‌ها، کمتر از گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهدی می‌باشد که هیچ‌گونه تیماری بر روی آن‌ها اعمال نشده است. هم‌چنین با نگاهی به تأثیر زمان ماندگاری بر میزان جذب آب گلولام در شکل ۶ مشخص می‌گردد که زمان ماندگاری نیز در کاهش میزان جذب آب تأثیر بسزایی داشته است. حذف یا بلوکه شدن گروه‌های هیدروکسیل و نیز لیگنین اصلاح‌شده (نوساختار شده) سبب کاهش خاصیت هیگروسکوپی چوب می‌گردد [۸، ۱۲]. هم‌چنین به‌کارگیری چسب ضد آب پلی اورتان نیز می‌تواند عاملی مؤثر در کاهش جذب آب گلولام باشد. مهم‌ترین عامل در افزایش جذب آب گلولام، تیمار فشرده‌سازی و افزایش ضریب فشردگی می‌باشد که مقدار دانسیته در نمونه‌های تیمار شده با فرایند ترکیبی بخار گرمایی کمتر از $0/8 g/cm^3$ به دست آمد. افزایش میزان فشردگی لایه‌ها از ۴۰ به ۶۰ درصد سبب افزایش میزان جذب آب گلولام گردیده است (شکل ۶)؛ در حقیقت افزایش ماده چوبی در حجم برابر سبب افزایش جذب آب می‌گردد و مهم‌تر این‌که در اثر واکشیدگی، میزان خلل و فرج ایجادشده در نمونه‌های با ضریب فشردگی ۶۰٪ بیشتر از نمونه‌های با ضریب فشردگی ۴۰٪ می‌باشد و درنتیجه ظرفیت جذب آب افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

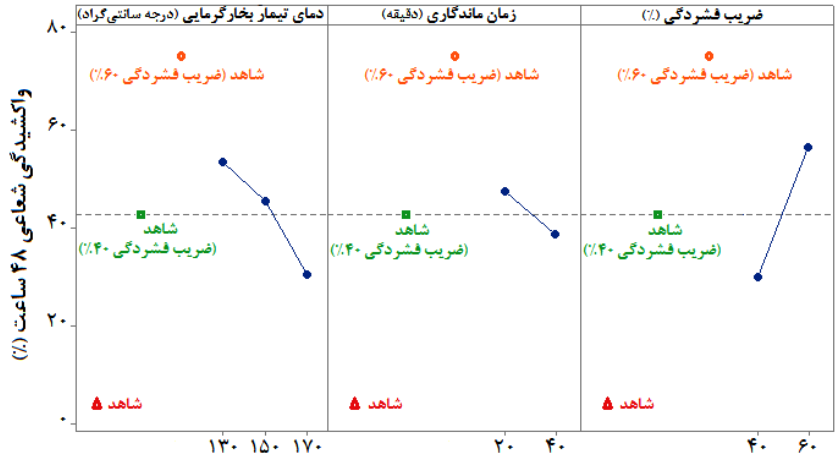
Archive of SID



شکل ۶- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی برجذب آب ۴۸ ساعت گلولام

۲-۳. واکشیدگی شعاعی (واکشیدگی در راستای فشردگی) و مماسی گلولام

نتایج اثرگذاری فرآیند بخار گرمایی- مکانیکی بر واکشیدگی شعاعی (واکشیدگی در راستای فشردگی) ۴۸ ساعت غوطه‌وری در آب گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه-های شاهد و تیمار شده نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری میزان واکشیدگی شعاعی گلولام کاهش و با افزایش ضریب فشردگی میزان واکشیدگی شعاعی گلولام افزایش می‌یابد (شکل ۷). تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری بر واکشیدگی شعاعی ۴۸ ساعت گلولام بیانگر آن است که میزان واکشیدگی شعاعی گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های تیمار شده با فرآیند تیمار ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی در سطوحی پایین‌تر از گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد با همان ضرایب فشردگی می‌باشد که این موضوع تأثیر چشمگیر تیمار بخار گرمایی در کاهش جذب رطوبت و واکشیدگی شعاعی را نشان می‌دهد (شکل۷). هم‌چنین تأثیر ضریب فشردگی بر واکشیدگی شعاعی گلولام در شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش ضریب فشردگی لایه-ها، میزان واکشیدگی شعاعی گلولام افزایش‌یافته است که به دلیل بیشتر شدن ماده چوبی در حجم برابر و درنتیجه افزایش برگشت‌پذیری می‌باشد. در حقیقت تیمار فشرده-سازی و افزایش ضریب فشردگی مهم‌ترین عامل در افزایش برگشت‌پذیری و درنتیجه افزایش واکشیدگی در راستای فشردگی می‌باشد.

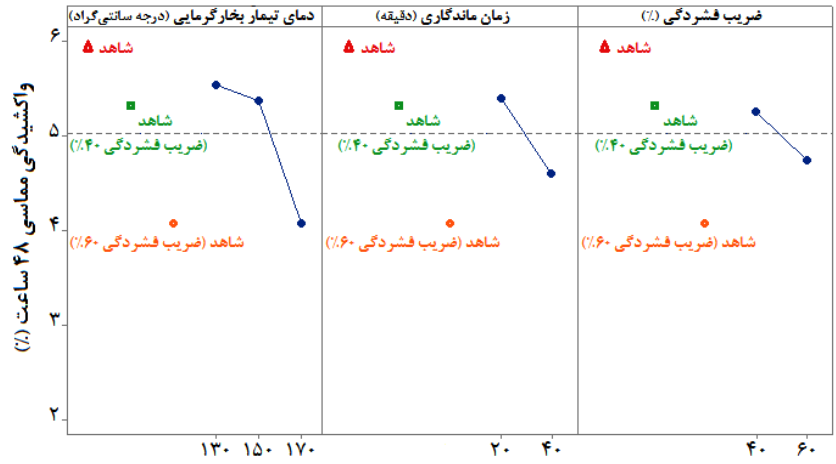


شکل ۷- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی بر واکشیدگی شعاعی (واکشیدگی در راستای فشردگی) ۴۸ ساعت گلولام

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج بررسی تأثیر تیمار بخار گرمایی- مکانیکی بر واکشیدگی مماسی ۴۸ ساعت غوطه‌وری در آب گلولام‌ها نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی میزان واکشیدگی مماسی گلولام کاهش می‌یابد (شکل ۸). کاهش واکشیدگی مماسی گلولام با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری به دلیل هیدرولیز همی سلولزها و حذف و یا بلوکه شدن گروه‌های هیدروکسیل می‌باشد [۱۲]؛ اما کاهش واکشیدگی مماسی گلولام با افزایش میزان فشردگی لایه‌ها از ۴۰ به ۶۰ درصد به‌این‌علت می‌باشد که با توجه به این‌که در اثر فشرده‌سازی لبه خارجی نمونه‌ها حالت کمانی یا نیم دایره‌ای به سمت بیرون پیدا کرد، لذا در هنگام کناره‌بری گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های فشرده‌شده با ضریب فشردگی ۶۰٪ میزان ماده بیشتری نسبت به گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های فشرده‌شده با ضریب فشردگی ۴۰٪ برداشته یا حذف گردید؛ بنابراین پس از غوطه‌وری نمونه‌ها و وقوع واکشیدگی در راستای فشردگی، کناره‌های (ضخامت) نمونه‌ها نیز به‌صورت مقعر درآمده و میزان واکشیدگی مماسی گلولام کاهش یافت.



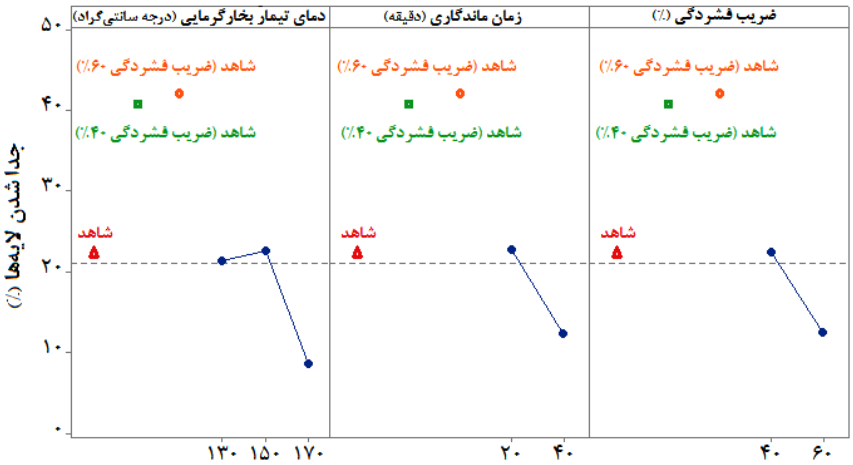
شکل ۸- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی بر واکشیدگی مماسی ۴۸ ساعت گلولام ۳-۳. جدا شدن لایه-های گلولام (Delamination) پس از چرخه‌های غوطه‌وری- خشکاندن

نتایج بررسی تأثیر فرآیند بخار گرمایی- مکانیکی بر جدا شدن لایه‌های گلولام پس از دو چرخه غوطه‌وری- خشکاندن (هر چرخه شامل ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و ۲۴ ساعت خشکانیدن در آون با دمای $۱۰۳\pm ^{o}۲^{C}$) نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی لایه‌ها از ۱۳۰ به ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد میزان جدا شدن لایه‌های گلولام اندکی افزایش‌یافته و مجدداً از دمای تیمار بخار گرمایی ۱۵۰ به ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد کاهش‌یافته است (شکل ۹). از طرفی افزایش زمان ماندگاری نیز باعث کاهش میزان جدا شدن لایه‌های گلولام گردیده است؛ لذا به‌طورکلی تیمار بخار گرمایی دارای اثر مثبت بر جلوگیری از جدا شدن لایه‌های گلولام بوده است (شکل ۹). نکته قابل‌توجه در شکل ۹ آن است که در گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد با افزایش ضریب فشردگی لایه‌ها، میزان جدا شدن لایه‌ها افزایش‌یافته است؛ ولی در گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های تیمار شده با فرآیند بخار گرمایی با افزایش ضریب فشردگی لایه‌ها میزان جدا شدن لایه‌ها کاهش‌یافته است. به نظر می‌رسد که انجام عمل فشرده‌سازی با ضریب فشردگی ۶۰٪ سبب ایجاد ترک‌ها و شکست‌های ریز و افزایش خلل و فرج و درنتیجه نفوذ بهتر چسب و ایجاد اتصالات مکانیکی توسط چسب می‌گردد. به‌طوری کلی مقدار جدا شدن لایه‌ها در گلولام-های ساخته‌شده از نمونه‌های تیمار بخار گرمایی شده با ضرایب فشردگی ۴۰ و ۶۰ درصد در سطوحی پایین‌تر از گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد با ضرایب فشردگی مشابه می‌باشد (شکل ۹). افزایش دمای تیمار بخار گرمایی و زمان ماندگاری به دلیل تغییر ساختار شیمیایی پلی‌ساکاریدها سبب کاهش جذب رطوبت و

www.SID.ir

Archive of SID

واکشیدگی و درنتیجه کاهش تنش‌های برشی ناشی از پدیده واکشیدگی می‌گردد [۱۲]؛ لذا جدا شدن لایه‌های گلولام در چرخه‌های غوطه‌وری- خشکاندن در نمونه‌های تیمار شده با فرآیند بخار گرمایی- مکانیکی کاهش می‌یابد.



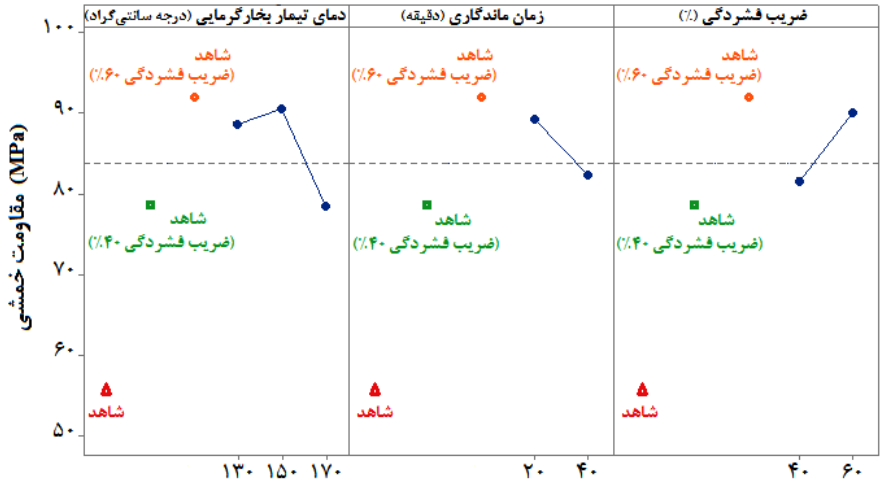
شکل ۹- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی بر جدا شدن لایه‌های گلولام پس از چرخه دوم غوطه‌وری- خشکاندن

۴-۳. مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی گلولام

نتایج تأثیر فرآیند تیمار ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی بر مقاومت خمشی گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد و تیمار شده نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی از ۱۳۰ به ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت خمشی اندکی افزایش‌یافته و در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (شکل ۱۰). هم‌چنین تأثیر زمان ماندگاری بر مقاومت خمشی گلولام در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که با افزایش زمان ماندگاری میزان مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. تشدید شرایط تیمار بخار گرمایی سبب تخریب بیشتر ساختار پلی ساکاریدها، ترد و شکننده شدن لیگنین و نیز کاهش طول زنجیره سلولز و درنتیجه کاهش مقاومت خمشی می‌گردد [۱۲]. تأثیر عملیات فشرده‌سازی و افزایش ضریب فشردگی بر مقاومت خمشی گلولام‌ها در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های تیمار شده با فرآیند بخار گرمایی و شاهد، افزایش ضریب فشردگی لایه‌ها سبب بالا رفتن مقاومت خمشی گلولام می‌گردد که به دلیل بالا رفتن میزان دانسیته می‌باشد [۲۰].

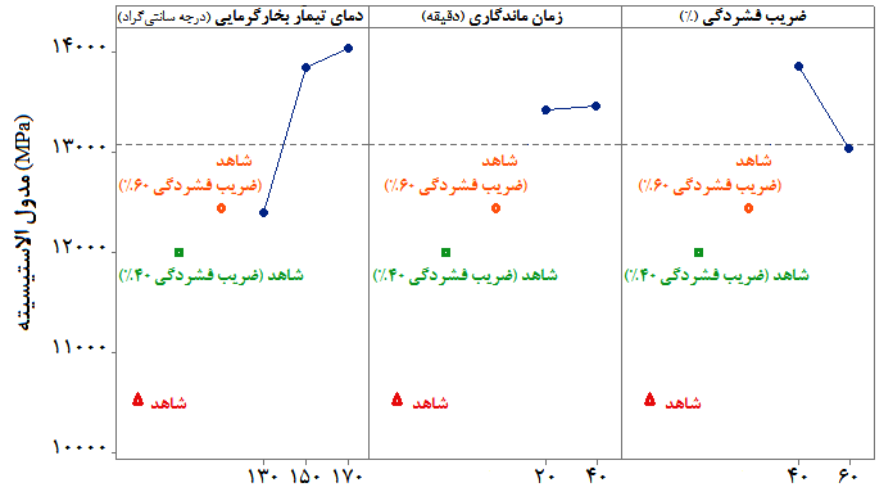
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی بر مقاومت خمشی گلولام

نتایج بررسی تأثیر فرآیند بخار گرمایی- مکانیکی بر مدول الاستیسیته گلولام‌های ساخته‌شده نیز نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی میزان مدول الاستیسیته گلولام افزایش می‌یابد (شکل ۱۱). در حقیقت در دمای بخار گرمایی بالا ساختار پلی‌ساکاریدها و ازجمله لیگنین ترد و شکننده می‌گردد [۱۲]، یعنی خاصیت ارتجاعی چوب کاهش و یا به‌عبارتی‌دیگر مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در نمونه‌های شاهد با انجام عمل فشرده‌سازی و نیز افزایش ضریب فشردگی لایه‌ها از ۴۰ به ۶۰ درصد، مدول الاستیسیته گلولام‌ها افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش دانسیته می‌باشد؛ اما در گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه-های تیمار شده با فرآیند بخار گرمایی، افزایش ضریب فشردگی باعث کاهش مدول الاستیسیته گردید که به نظر می‌رسد به دلیل ایجاد ترک‌ها، شکاف‌ها و شکست‌های کوچک در ساختار چوب و درنتیجه کاهش صلبیت می-باشد.



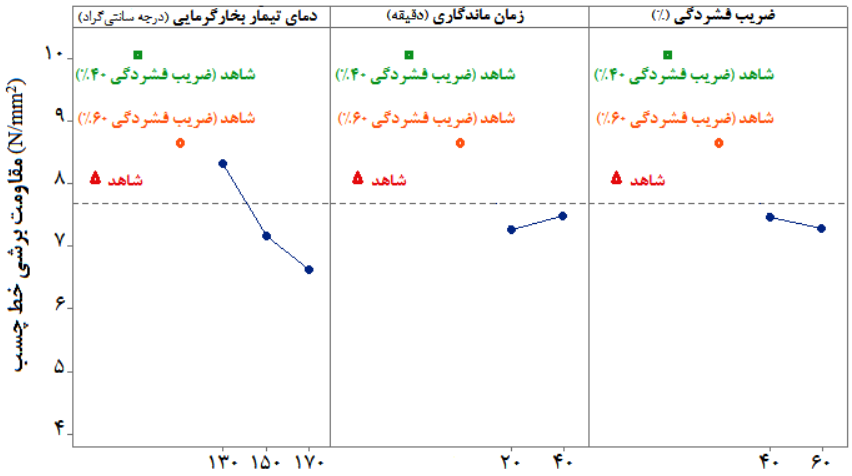
شکل ۱۱- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی بر مدول الاستیسیته گلولام

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۳. مقاومت برشی خط چسب گلولام

نتایج تأثیر فرآیند تیمار ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی بر مقاومت برشی خط چسب گلولام نشان دادند که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی میزان مقاومت برشی خط چسب کاهش می‌یابد (شکل ۱۲). نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های آزمون مقاومت برشی خط چسب نشان دادند که تمامی شکست‌ها در قسمت چوب اتفاق افتاده است و نه در ناحیه چسب؛ که این نکته مؤید آن است که با افزایش دمای تیمار بخار گرمایی به دلیل هیدرولیز پلی‌ساکاریدها، طول زنجیره سلولزی کاهش‌یافته و مهم‌تر این‌که لیگنین و ساختار چوب ترد و شکننده می‌شود، لذا انجام عمل فشرده‌سازی سبب ایجاد ترک‌ها و شکست‌های کوچک در ساختار فیزیکی چوب و درنتیجه کاهش مقاومت برشی چوب و درنهایت منجر به کم شدن مقاومت برشی خط چسب می‌گردد. هم‌چنین در گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد به‌طورکلی انجام عمل فشرده‌سازی لایه‌ها سبب افزایش مقاومت برشی خط چسب گلولام به دلیل بالا رفتن دانسیته می‌گردد، اما با افزایش ضریب فشردگی لایه‌ها از ۴۰ به ۶۰ درصد میزان این ویژگی مکانیکی کاهش می‌یابد (شکل ۱۲). در این خصوص نیز نتایج نشان می‌دهند که بازهم غالب شکست‌ها در آزمون مقاومت برشی خط چسب در بخش چوبی اتفاق افتاده است؛ و این بدان مفهوم است که افزایش ضریب فشردگی سبب ایجاد شکست‌های کوچک در ساختار فیزیکی چوب و افزایش تنش‌های برشی در اثر وارد شدن نیروی برشی و درنهایت کاهش مقاومت برشی خط چسب می‌گردد. به‌طورکلی مقاومت برشی خط چسب گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های تیمار شده با فرآیند بخار گرمایی کمتر از گلولام‌های ساخته‌شده از نمونه‌های شاهد می‌باشند.



شکل ۱۲- تأثیر دمای تیمار بخار گرمایی، زمان ماندگاری و ضریب فشردگی بر مقاومت برشی خط چسب گلولام

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان دادند که در ساخت گلولام، به‌کارگیری تیمار ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی می‌تواند سبب افزایش میزان جذب آب و واکشیدگی شعاعی، کاهش واکشیدگی مماسی، کاهش میزان جداشدن لایه‌ها در چرخه‌های غوطه‌وری- خشکاندن، افزایش مقاومت خمشی، افزایش مدول خمشی و کاهش مقاومت برشی خط چسب گردد. نتایج این پژوهش نشان دادند که شرایط اپتیمم فرآیند ترکیبی بخار گرمایی- مکانیکی برای به دست آوردن محصولی با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برتر، دمای بخار گرمایی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ماندگاری ۲۰ دقیقه و ضریب فشردگی ۴۰٪ می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] Andre, A., 2006. Fibres for Strengthening of Timber Structures, Research Report, Forest and Wood Product Research and Development Corporation, Australia, 3: 1–91.

[2] Yang, T.H., Wang, S.Y., Tsai, M.J., and Lin, C.Y., 2009. The Charring Depth and Charring rate of Glued Laminated Timber After a Standard Fire Exposure Test. Building and Environment, 44: 231–236.

[3] Smith, I., Foliente, G., Nguyen, M., and Syme, M., 2005. Capacities of Dowel-Type Fastener Joints in Australian Pine. Journal of Materials in Civil Engineering**.** ASCE, 17(6): 664–75.

[4] Liu, S., 2008. A kinetic Model on Autocatalytic Reactions in Woody Biomass Hydrolysis. Journal of Biobased Materials and Bioenergy., 2: 135–147.

[5] Garrote, G., Domínguez, H., and Parajó, J.C., 1999. Hydrothermal Processing of Lignocellulosic Materials, *Holz* als *Roh*- und Werkstoff, 57: 191–202.

[6] Lam, P.S., 2011. Steam Explosion of Biomass to Produce Durable Pellet, Ph.D. Dissertation, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

[7] Assor, C., Placet, V., Chabbert, B., Habrant, A., Lapierre, C., Pollet, B., and Perre, P., 2009. Concomitant Changes in Viscoelasticity Properties and Amorphous Polymers During the Hydrothermal Treatment of Hardwood and Softwood. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57: 6830–6837.

[8] Biswas, A.K., Yang, W., and Blasiak, W., 2011. Steam Pretreatment of Salix to Upgrade Biomass Fuel for Wood Pellet Production. Fuel Processing Technology., 92: 1711– 1717.

[9] Mitchell, P.H., 1988. Irreversible Property Changes of Small Loblolly Pine Specimens Heated in Air, Nitrogen, or Oxygen. Wood and Fiber Science, 20(3): 320–55.

[10] Stamm, A.J., 1964. Wood and Cellulose Science, New York: Ronald Press, p. 549.

[11] Gong, M., Lamason, C., and Li, L., 2010. Interactive Effect of Surface Densification and Post-Heat-Treatment on Aspen Wood, Journal of Materials Processing Technology., 210: 293–296.

[12] Mohebby, B., Sharifnia-Dizboni, H., and Kazemi-Najafi, S., 2009. Combined Hydro-Thermo-Mechanical Modification (CHTM) as an Innovation in Mechanical Wood Modification, In: Proceeding of 4th European Conference on Wood Modification (ECWM4), Stockholm, Sweden, 353-360.

[13] Navi, P., and Heger, F., 2004. Combined Densification and Thermo-Hydro-Mechanical Processing of Wood, MRS Bull, 29: 332–336.

[14] Tjeerdsma, B.F., and Militz H., 2005. Chemical Changes in Hydrothermal Treated Wood. FTIR Analysis of Combined Hydro Thermal and Dry Heat-Treated Wood. Holz als Roh- und Werkstoff, 63 (2): 102-111.

www.SID.ir

Archive of SID

[15] Khademi, L., and Mohebby B., 2011. Bioresistance of Poplar Wood Compressed by Combined Hydro-Thermo-Mechanical Wood Modification (CHTM): Soft-Rot and Brown-Rot. International Biodeterioration & Biodegradation , 65: 866-870.

[16] Ohnesorge, D., Richter, K., and Becker, G., 2010. Influence of Wood Properties and Bonding Parameters on Bond Durability of European Beech Glulams, Annals of Forest Science, 67 (6): 601.

[17] Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. American Society for Testing of Materials, ASTM D 143-09, 2014.

[18] Standard Test Methods for Strength Properties of Adhesives Bond in Shear by Compression Loading. American Society for Testing of Materials, ASTM D 905-03, 2003.

[19] Timber Structures- Glued Laminated Timber -Test Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties, 2: 15. ISO 8375. 2009.

[20] Blomberg, J., 2005. Elastic Strain at Semi-Isostatic Compression of Scots Pine (*Pinus sylvestris*). Journal of Wood Science., 51: 401–404.

www.SID.ir

Archive of SID

The effect of hygro-thermo-mechanical modification on the applied properties of glulam made from poplar

Abstract

The objective of this study was to investigate the physical and mechanical properties of glulam made from compressed poplar wood (*Populus deltoides*) by technique of Combined Hygro-Thermo-Mechanical Treatment (CHTMT) which is combination of two techniques of hygrothermal treatment and densification of wood. The poplar wood blocks were initially treated hygrothermally at temperatures of 130, 150, and 170°C for holding times of 20 and 40 minutes. Afterwards, the densification process was carried out under a hot press (at 160°C for 20 minutes) at two levels of compression set, i.e. 40 and 60 percent based on the blocks thickness (radial direction). For production of glulam, the blocks were jointed together by finger joint and polyurethane resin. The produced glulam were physically and mechanically tested for its water absorption, radial and tangential swelling, delamination, bending strength, modulus of elasticity and shear strength. Results revealed that physical and mechanical properties of glulam were enhanced due to the CHTMT treatment. According to the results, water absorption and radial swelling of glulam were increased due to the CHTMT, significantly. Moreover, this treatment reduced the delamination of samples after soaking- drying cycles. It was also found that the CHTMT could significantly enhance mechanical properties of glulam such as bending strength and bending modulus of the elasticity; but decreases shear strength of glue line. Generally, results showed positive effects of CHTMT in glulam production.

Keywords: Glulam, Combined Hygro-Thermo-Mechanical Treatment (CHTMT), Physical and Mechanical Properties, Compression set.

R. Hajihassani[1*]
B. Mohebby[2]
S. Kazemi Najafi[3]

[1] Assistant Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

[2] Associate Prof., Department of Wood and Paper Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

[3] Prof., Department of Wood and Paper Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Corresponding author:
Reza.Hajihassani@gmail.com

Received: 2019/09/15
Accepted: 2019/12/26

www.SID.ir